



Programa de
Energías Renovables
y Eficiencia Energética
en Chile



INFORME FINAL

ANÁLISIS DE ANTECEDENTES PARA DETERMINAR LAS BRECHAS TECNOLÓGICAS EXISTENTES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS LIMPIAS, EN LOS SECTORES INDUSTRIALES EXPUESTOS AL RIESGO DE UNA TRANSICIÓN BAJA EN CARBONO

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Por encargo de:



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

de la República Federal de Alemania



Edición:

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Friedrich-Ebert-Allee 40
53113 Bonn • Alemania

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

Nombre del proyecto:

Global Carbon Market
Alameda 1449, Piso 13 y 14, Edificio Santiago Downtown II
Santiago • Chile

T +56 22 30 68 600
I www.giz.de / www.4echile.cl

Responsable:

Marlen Görner / Constanza Montes

En coordinación:

Ministerio de Energía de Chile
Alameda 1449, Pisos 13 y 14, Edificio Santiago Downtown II
Santiago de Chile

T +56 22 367 3000
I www.minenergia.cl

Título:

ANÁLISIS DE ANTECEDENTES PARA DETERMINAR LAS BRECHAS TECNOLÓGICAS EXISTENTES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS LIMPIAS, EN LOS SECTORES INDUSTRIALES EXPUESTOS AL RIESGO DE UNA TRANSICIÓN BAJA EN CARBONO

Autor:

IMPLEMENTASUR

Logo



Aclaración:

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

Santiago de Chile, Junio 2018

Contenido del informe

ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
1. RESUMEN EJECUTIVO.....	7
2. INTRODUCCIÓN.....	9
3. APROXIMACIÓN METODOLÓGICA.....	10
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	10
3.2. MAPA DE ACTIVIDADES.....	11
3.3. EL RIESGO DE UNA TRANSICIÓN BAJA EN CARBONO PARA LOS SECTORES INDUSTRIALES CHILENOS, ANTE FUTUROS IPCS.	13
3.4. MARCO CONCEPTUAL DE RIESGO DE UNA TRANSICIÓN BAJA EN CARBONO.	13
3.5. REVISIÓN DE METODOLOGÍAS EXISTENTES EN FUENTES SECUNDARIAS Y CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS.	15
3.6. CONSIDERACIONES RESPECTO A FUENTES DE INFORMACIÓN UTILIZADAS.	19
3.7. RESULTADOS.	23
4. TALLER CON REPRESENTANTES DE LA INDUSTRIA Y ORGANISMOS DEL ESTADO.....	29
5. REFLEXIÓN SOBRE LOS SECTORES PRIORIZADOS EN EL RIESGO DE UNA TRANSICIÓN BAJA EN CARBONO.....	31
6. SISTEMATIZACIÓN, ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LAS FUENTES DE INFORMACIÓN.....	33
6.1. SECTOR CEMENTOS.	34
6.1.1. Análisis de la información disponible y faltante para la realización de un estudio de brechas y necesidades tecnológicas.	37
6.1.1.1. Análisis de la información disponible.	37
6.1.1.2. Análisis de las barreras que se desprenden a partir de la información disponible: 41	
6.1.1.3. Análisis de información faltante.....	42
6.2. SECTOR SIDERURGIA.....	43
6.2.1. Análisis de la información disponible y faltante para la realización de un estudio de brechas (técnicas, institucionales y regulatorias) y necesidades tecnológicas.....	45
6.2.1.1. Análisis de la información disponible.	45
6.2.1.2. Análisis de las barreras que se desprenden a partir de la información disponible: 48	
6.2.1.3. Análisis de la información faltante:.....	48
6.3. SECTOR REFINERÍA DE COMBUSTIBLES.	49
6.3.1. Análisis de la información disponible y faltante para la realización de un estudio de brechas (técnicas, institucionales y regulatorias) y necesidades tecnológicas.....	50
6.3.1.1. Análisis de la información disponible.	50
6.3.1.2. Análisis de las barreras que se desprenden a partir de la información disponible: 53	
6.3.1.3. Análisis de la información faltante:.....	53
7. CONCLUSIONES.....	55
7. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS UTILIZADAS.....	57

8. ANEXOS.....	62
8.1. ANEXO 1: HOJA DE RUTA DE PMR PARA LA INCORPORACIÓN DE IPCs EN CHILE.	62
8.2. ANEXO 2: ANÁLISIS SISTÉMICO PARA SECTORES INDUSTRIALES POTENCIALMENTE EN RIESGO ANTE LA IMPLEMENTACIÓN PROGRESIVA DE IPCs EN CHILE.	63
8.3. ANEXO 3: UMBRALES PARA DEFINIR RIESGO DE FUGA DE CARBONO.	69
8.4. ANEXO 4: REFERENCIAS INTERNACIONALES PARA LA DEFINICIÓN DE RIESGO DE TRANSICIÓN CLIMÁTICA.....	70
8.5. ANEXO 5: CONSIDERACIÓN DE VARIABLES SOCIO-ECONÓMICAS PARA LA PROFUNDIZACIÓN DE UN ANÁLISIS DE RIESGO SECTORIAL.	71
8.6. ANEXO 6: FUENTES DE INFORMACIÓN PARA CARACTERIZACIÓN EMISIONES DE GEI POR CADA SECTOR.....	72
8.7. ANEXO 7: RESULTADOS DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO.....	75

Índice de Figuras.

Figura 1: Mapa de Actividades.	12
Figura 2: Sistema dinámico de factores que inciden en los sectores industriales de Chile en el contexto de la incorporación progresiva de IPCs.	14
Figura 3: Metodología de EEUU para la definición de riesgo de transición climática. ..	16
Figura 4: Sectores expuestos al riesgo de una transición baja en carbono en Canadá, con metodología EEUU.	16
Figura 5: Efectos en precios sectoriales bajo un impuesto de US\$5/ton de CO ₂	17
Figura 6: Análisis sectorial 1 (Score 1): Intensidad Energía vs. Exposición al Comercio, incluyendo el impacto de un futuro IPC en las emisiones indirectas de GEI para cada sector.	24
Figura 7: Análisis sectorial 2 (Score 2): Intensidad Emisiones vs. Exposición al Comercio, incluyendo el impacto de un futuro IPC en las emisiones indirectas de GEI para cada sector.	25
Figura 8: Análisis sectorial 1 (Score 1): Intensidad Energía vs. Exposición al Comercio, sin incluir el impacto de un futuro IPC en las emisiones indirectas de GEI para cada sector.	26
Figura 9: Análisis sectorial 2 (Score 2): Intensidad Emisiones vs. Exposición al Comercio, sin incluir el impacto de un futuro IPC en las emisiones indirectas de GEI para cada sector.	27
Figura 10: Etapas para la identificación de fuentes de información.	31
Figura 11: Categorías de opciones de mitigación.	34
Figura 12: Proceso de producción de cemento.	35
Figura 13: Consumo de combustibles 1984-2012 de la Industria del Cemento (Teracal).	37
Figura 14: Proceso para la identificación de desafíos tecnológicos del sector cementos.	37
Figura 15: Proceso de producción de acero.	44
Figura 16: Distribución del consumo de combustibles 2012 de la industria siderúrgica (Teracalorías).	45
Figura 17: Proceso para la identificación de desafíos tecnológicos del sector siderurgia.	45
Figura 18: Contribución de fuentes de emisión de la refinería del petróleo a las emisiones de GEI (CO ₂ eq) en EEUU.	49
Figura 19: Proceso para la identificación de desafíos tecnológicos del sector refinería de combustibles.	50
Figura 20: Crecimiento sectorial esperado.	64
Figura 21: Sectores chilenos igualmente expuestos al comercio.	65
Figura 22: Mayor productividad sobre pasivos ambientales.	66
Figura 23: Inercia sectorial en producción limpia.	67
Figura 24: Capacidad sectorial de transferir y adoptar tecnología.	68

Índice de Tablas.

Tabla 1: Definición universo sectores industriales chilenos para análisis de riesgo a una transición baja en carbono.	19
Tabla 2: Riesgo de transición sectorial ante introducción de un futuro régimen de IPCs.	28
Tabla 3: Comparación cualitativa entre sectores prioritarios para la evaluación de riesgos de transición baja en carbono.	29
Tabla 4: Fuentes de información para identificar opciones de mitigación categoría eficiencia energética, sector cementos.	38
Tabla 5: Fuentes de información para identificar opciones de mitigación categoría combustibles alternativos, sector cementos.	39
Tabla 6: Fuentes de información para identificar opciones de mitigación categoría modificación de procesos y/o sustitución de insumos, sector cementos.	39
Tabla 7: Fuentes de información para identificar opciones de mitigación categoría captura, utilización y almacenamiento de GEI, sector cementos.	40
Tabla 8: Fuentes de información para identificar opciones de mitigación categoría eficiencia energética, sector siderurgia.	46
Tabla 9: Fuentes de información para identificar opciones de mitigación categoría combustibles alternativos, sector siderurgia.	46
Tabla 10: Fuentes de información para identificar opciones de mitigación categoría modificación de procesos y/o sustitución de insumos, sector siderurgia.	46
Tabla 11: Fuentes de información para identificar opciones de mitigación categoría captura, utilización y almacenamiento de GEI, sector siderurgia.	47
Tabla 12: Fuentes de información para identificar opciones de mitigación categoría eficiencia energética, sector refinería de combustibles.	51
Tabla 13: Fuentes de información para identificar opciones de mitigación categoría combustibles alternativos, sector refinería de combustibles.	52
Tabla 14: Fuentes de información para identificar opciones de mitigación categoría modificación de procesos y/o sustitución de insumos, sector refinería de combustibles.	52
Tabla 15: Opciones de mitigación categoría Captura, utilización y almacenamiento de GEI, Sector refinería de combustibles.	53
Tabla 16: Opciones de Instrumentos de Precio al Carbono en Chile.	62
Tabla 17: Umbrales para definir riesgo de fuga de carbono.	69
Tabla 18: Referencias internacionales para la definición de riesgo de transición climática.	70
Tabla 19: Presencia de MIPYMEs en sectores industriales seleccionados.	71
Tabla 20: Fuentes de información para caracterización emisiones de GEI por cada sector.	72
Tabla 21: Resultados preliminares, Escenario 1.	75
Tabla 22: Resultados preliminares, Escenario 2.	76

1. Resumen ejecutivo.

Uno de los desafíos más relevantes originados por el fenómeno del cambio climático que enfrentará la economía chilena, se relaciona con los efectos de una transición hacia un crecimiento bajo en carbono. Ésta verá alterada sus dinámicas de competitividad frente a la implementación de nuevas regulaciones ambientales¹ que permitan alcanzar los compromisos declarados por Chile en el Acuerdo de París, y frente a las preferencias de los consumidores más sensibles a esta problemática. Debido a esto, los sectores industriales de Chile² deberán migrar en forma progresiva hacia el uso de tecnologías y procesos limpios, sin ver comprometida su competitividad.

El Proyecto “Global Carbon Market” (GCM) de la Sociedad Alemana para la Cooperación Alemana Internacional (GIZ), tiene dentro de sus objetivos apoyar y complementar los esfuerzos del Gobierno de Chile, en el contexto de los compromisos internacionales adquiridos por éste en el Acuerdo de París, para el desarrollo de IPCs y la exploración de alternativas de financiamiento climático que contribuyan a la mitigación de gases de efecto invernadero. Bajo el marco del GCM, GIZ ha encargado a ImplementaSur el presente estudio, para desarrollar una metodología basada principalmente en fuentes secundarias, con el fin de identificar los sectores industriales chilenos que se verán más afectados ante la introducción progresiva de instrumentos de precio al carbono (IPCs) en nuestro país.

Se ha tomado como referencia metodológica principal el modelo estadounidense definido en el American Clean Energy & Security Act de 2009 [1] (Figura 3). Este modelo, al ser comparado con otros disponibles en el ámbito internacional, presenta una serie de ventajas que reducen el riesgo de subjetividad en su adaptación al caso chileno, y permite trabajar en forma directa con las fuentes secundarias de información disponibles en nuestro país a la fecha. Este modelo cuantitativo fue luego combinado con la valorización de criterios cualitativos para el objetivo específico de este estudio. Para robustecer esta metodología escogida, GIZ e ImplementaSur desarrollaron un taller para representantes de la industria y organismos del Estado, con el fin de validar supuestos e incorporar su retroalimentación sobre aspectos críticos.

La metodología presentada por el estudio no pretende ser la oficial para determinar sectores expuestos al riesgo de una transición baja en carbono frente a la aplicación de IPCs, sino que es la primera aproximación factible de hacer con la información disponible, cuidando la consistencia y compatibilidad entre diversas fuentes de información. De esta forma, el estudio pretende aportar a la discusión para continuar evaluando los sectores aquí propuestos u otros que pudieran presentar riesgos a la luz de otra información que no haya sido considerada.

Al estimar los sectores en riesgo ante una transición económica baja en carbono, siguiendo la metodología desarrollada, se obtuvo como sectores prioritarios a la industria de metales básicos (siderurgia), la industria de combustibles y la industria del cemento.

¹ Como los instrumentos de precio al carbono (IPCs).

² En conjunto, los sectores de cementos e industria de los metales básicos (hierro y acero) constituyen cerca de 6% de las emisiones netas nacionales de GEI del año 2013 según INGEI (emisiones y absorciones).

El estudio también revisó la disponibilidad y calidad de información para categorizar y caracterizar las tecnologías de mitigación utilizadas en Chile y a nivel mundial, en los sectores de la economía más expuestos a perder competitividad ante una transición baja en carbono, ya mencionados en el párrafo anterior. Se destaca cómo las empresas chilenas de estos sectores han realizado ambiciosas inversiones que las sitúan cercanas al benchmark internacional en materia de esfuerzos de mitigación de GEI. Por tanto, es fundamental un acompañamiento del sector público para continuar una transición baja en carbono que no perjudique la competitividad global de estos sectores.

2. Introducción.

Los sectores industriales del país deberán migrar en forma progresiva hacia el uso de tecnologías y procesos limpios para mantener o incrementar su competitividad en el contexto de los compromisos declarados por Chile en el Acuerdo de París (reflejados en la NDC de Chile [2]). Este marco abre nuevas posibilidades, retos y oportunidades para el sector privado, lo que implica la realización de inversiones, adaptaciones y en muchos casos cambios estructurales, modificaciones que pueden significar riesgos críticos para ciertos sectores si no existe una planificación adecuada y medidas complementarias por parte del gobierno.

A nivel internacional, existe un aumento en la adopción e implementación de políticas de mitigación basadas en instrumentos de precio al carbono (IPC). Estas políticas son vistas como una vía costo-efectiva para guiar la transición baja en carbono, lograr escalabilidad en la reducción de emisiones, motivar el cumplimiento de otras políticas, aumentar la recaudación fiscal y promover la innovación. En términos generales, éstas se dividen en dos tipos de categorías de instrumentos de precio: los impuestos y los permisos de emisión transables, siendo esta última la más implementada a nivel mundial [3], [4]. Algunos sectores económicos podrían ver afectada su competitividad debido a la evolución de los IPC en Chile.

De modo de facilitar la transición hacia una economía baja en carbono (y reducir el impacto en la competitividad), es importante identificar las brechas tecnológicas para la mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Una evaluación de necesidades tecnológicas en este contexto es esencial, ya que permite [5], [6]:

- Proveer de información crítica a las fuentes de capital para incrementar su competencia, y así mejorar el acceso a financiamiento para acelerar la adopción de opciones de mitigación.
- Posibilidad de generar políticas públicas que apoyen a sectores de la economía que puedan presentar un riesgo en la transición a una economía baja en carbono.
- Evitar el paso por estados tecnológicos intensivos en emisiones contaminantes y tener un efecto de bloqueo tecnológico (*lock-in*), que puede resultar muy costoso reemplazar una vez realizada la inversión.
- Planificar una transferencia tecnológica que asegure la participación de las instituciones adecuadas, tomando en cuenta su interrelación, capacidad de adaptación y de trabajar coordinadamente entre sectores, conjugando los intereses de los distintos grupos de la sociedad y la economía.
- Planificar el desarrollo de capital humano requerido, la creación de redes y alianzas tecnológicas y el desarrollo de I+D tecnológico en colaboración, tanto a nivel nacional como internacional.
- Identificar barreras para la adopción de tecnologías y posibles vías para mitigar estas barreras (generar ambientes habilitantes).

3. Aproximación metodológica.

La metodología aquí presentada no pretende ser una metodología oficial para determinar sectores con riesgo de transición climática frente a la aplicación de IPCs en nuestro país. Es un primer paso, diseñado a partir de la información disponible a la fecha.

La aproximación de este estudio plantea hacer un ranking de los sectores de la economía chilena que podrían ver más afectada su competitividad ante la implementación progresiva de IPCs en nuestro país. Como se verá más adelante, las fuentes de información secundaria a nivel nacional para determinar impactos en la competitividad de un sector en función de su nivel de emisiones de GEI y/o su consumo energético requieren una mayor frecuencia de actualización en sus datos y una mayor granularidad, que permita aislar verdaderamente el efecto en un sector determinado.

En un contexto como el que vive Chile hoy, anterior a la descarbonización de múltiples sectores industriales en nuestro país, la competitividad de estos sectores está relacionada en forma directa a su nivel de emisiones de GEI y/o su consumo energético. Por este motivo, no sería coherente asociar fuentes de información de años distintos para un sector específico, y en esta misma línea, mantener la consistencia del análisis requiere la utilización de un año común para todo el estudio (para todos los sectores), que será el año para el cual se cuente con la información más actualizada (2013).

Los sectores priorizados en el marco de este estudio han sido relevados a partir de una metodología cuantitativa, combinada con la valorización de criterios cualitativos requeridos para el cumplimiento de los objetivos específicos. El fin último es aportar a la discusión a nivel nacional, para continuar evaluando los sectores aquí propuestos, u otros que pudieran presentar riesgos de transición climática a la luz de otra información que no haya sido considerada.

3.1. Objetivo general.

El presente estudio se enmarca dentro de una de las acciones concretas del proyecto Global Carbon Markets (o GCM), y tiene como objetivo principal identificar y recopilar los insumos existentes y necesarios para evaluar las necesidades tecnológicas en mitigación de GEI, para tres sectores seleccionados cuya competitividad puede verse afectada ante un posible régimen futuro de IPCs más exigente (“sectores en riesgo a una transición baja en carbono”).

Los tres objetivos específicos que contiene este trabajo son:

- Identificar y priorizar sectores que vean comprometida su competitividad frente a la transición baja en carbono, motivada específicamente por la implementación de IPCs en Chile³.

³ Es importante recalcar que este objetivo específico se realiza sólo con el propósito de poder escoger algunos sectores económicos con mayor potencial de ver afectada su competitividad ante un IPC, y que el análisis no corresponde a una evaluación de los impactos económicos esperados para cada uno de los sectores evaluados. Del mismo modo, este estudio no se realiza para beneficiar o escoger a sectores exentos de la obligación de un IPC o para la asignación gratuita de permisos emisión, pero puede contribuir a la exploración, planificación y diseño de medidas complementarias a futuro.

- Generar una base de antecedentes para la búsqueda y referenciación de información crítica⁴, relativa a las opciones de tecnologías limpias para la mitigación de GEI, y que estén tanto actualmente disponibles en Chile, como disponibles a nivel mundial o en fases de investigación y desarrollo, con foco en los tres sectores priorizados.
- Análisis de la información disponible y faltante para poder realizar un posterior estudio de brechas completo, incluyendo brechas técnicas, institucionales y regulatorias (fuera del alcance del presente estudio).

Las conclusiones de este estudio permitirán contar con la información suficiente para activar, en forma posterior, un proceso de Evaluación de Necesidades Tecnológicas (TNA⁵, por su sigla en inglés) para los sectores priorizados.

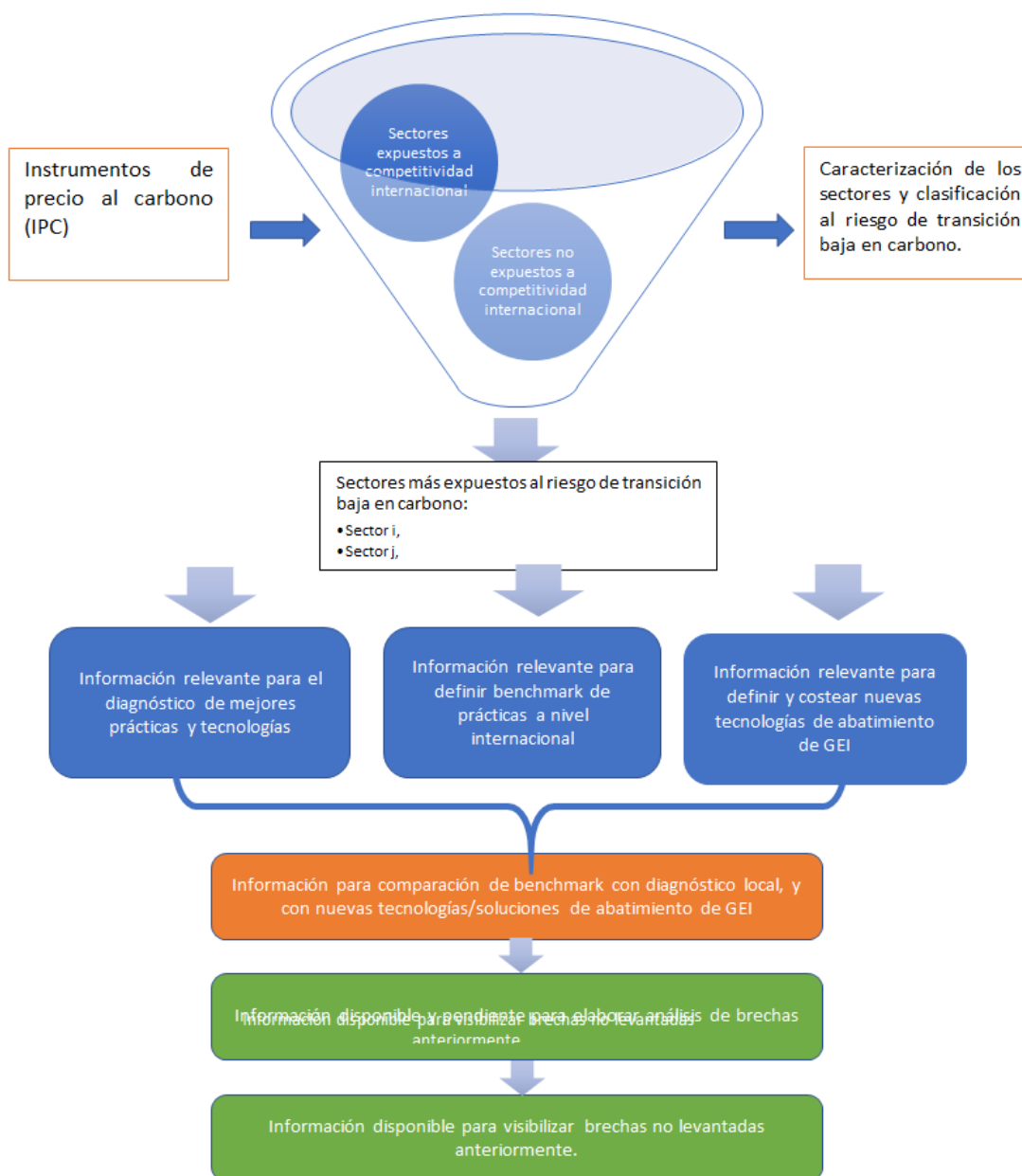
3.2. Mapa de actividades.

El Mapa de Actividades propuesto para el presente estudio, se puede apreciar en la Figura 1, a continuación.

⁴ Utilizando la herramienta electrónica Mendeley, que opera como un administrador de referencias bibliográficas colaborativo, <https://www.mendeley.com/>

⁵ Technology Needs Assessment.

Figura 1: Mapa de Actividades.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Para el cumplimiento de estas actividades, se validaron definiciones mínimas y necesarias, así como un marco conceptual, que permitieron diseñar y construir una metodología para identificar, como primer desafío y a la luz de la información disponible, los tres sectores industriales chilenos cuya competitividad podría verse más afectada por la incorporación progresiva de IPCs (régimen más exigente de IPCs).

3.3. El riesgo de una transición baja en carbono para los sectores industriales chilenos, ante futuros IPCs.

En el proceso de identificación de sectores industriales prioritarios se consideraron, al menos, dos dimensiones de riesgo:

- i. **Riesgo de transición baja en carbono:** Riesgo que refleja los impactos en la competitividad de un sector ante la futura implementación de un nuevo marco de IPC, ya sea por sustitución de productos o servicios locales alternativos, no afectos a un IPC⁶, o menos perjudicados por los mismos; o por sustitución de productos o servicios internacionales de economías que no han incorporado IPC en dichos sectores, o que se encuentran mejor preparados para absorber dichos impactos [7].
- ii. **Riesgo de fugas de carbono:** Riesgo que refleja un incumplimiento en los objetivos mundiales de reducción de emisiones de carbono, debido a aumentos no anticipados en las emisiones de fuentes no afectas a IPCs, por ejemplo de competidores en países no afectos a IPC [6], que compensan las reducciones realizadas por países con políticas estrictas para la mitigación de este gas de efecto invernadero.

Ambos tipos de riesgos están intrínsecamente relacionados, ya que el hecho de que existan sectores que se vean afectados en su competitividad (riesgo de transición) puede ser indicio de que existe un competidor hacia el cual se transfiere un nivel de emisiones (riesgo de fugas de carbono). Para el presente trabajo, se considerará como foco el riesgo (i), ya que se centra específicamente en los impactos a la competitividad de un sector industrial producto de la aplicación de un IPC, considerando sustitutos dentro de Chile^{7 8}.

3.4. Marco conceptual de riesgo de una transición baja en carbono.

La Figura 2 describe de manera teórica un análisis del sistema dinámico⁹ al cual se ven sometidos los sectores industriales de nuestro país, incorporando los principales efectos ante la incorporación progresiva de IPCs. Las trayectorias representadas en este sistema pueden ocurrir todas o parte de ellas en forma simultánea, reforzando (R, *reinforcing*) o neutralizando/debilitando (B, *balancing*) los efectos descritos.

⁶ Ver Anexo 1 para conocer los posibles escenarios de implementación de IPCs en Chile.

⁷ Estos riesgos pueden afectar también a las industrias que demandan insumos cuya producción es muy intensiva en emisiones de GEI. Este es el caso, por ejemplo, de la industria de la construcción, que depende del acero y el cemento, los cuales son sectores intensivos en emisiones de GEI. No obstante, el foco de este estudio es identificar las necesidades tecnológicas sólo para el primer nivel de la cadena de valor.

⁸ En el caso de sectores industriales chilenos que se ven afectados por un IPC, cuyos sustitutos se encuentran fuera de Chile, un riesgo de transición baja en carbono (i) podría activar un riesgo de fuga de carbono (ii).

⁹ Incluso, se podría profundizar el nivel de detalle en las causalidades del diagrama, por ejemplo agregando un vínculo positivo entre "opción de producción limpia" y "aumento de productividad".

3.5. Revisión de metodologías existentes en fuentes secundarias y consideraciones metodológicas.

Se han revisado metodologías nacionales e internacionales utilizadas para la definición de sectores industriales expuestos al riesgo de una transición baja en carbono, con el fin de establecer los criterios más representativos para este estudio, y así diseñar la metodología respectiva.

Un estudio de 2015, elaborado por el Partnership for Market Readiness (PMR), permite comparar diversas metodologías para detectar los sectores que pueden ver afectada su competitividad ante la futura implementación de distintos IPC¹¹. Estas tienen en común el hecho de establecer focos y umbrales en los niveles de exposición al comercio, la intensidad de emisiones y la intensidad de consumo energético a las que está expuesto un sector industrial en particular. Sin embargo, algunas metodologías se enfocan en empresas en lugar de sectores industriales completos (haciendo impracticable el análisis sectorial), implican la utilización y procesamiento de información cualitativa (lo que expone a posible subjetividad), definen diferentes rangos de intensidad de emisiones basados en consideraciones de la economía específica local y/o establecen conclusiones diferentes al analizar sólo las exportaciones a las que está sometido un sector industrial ó su balanza comercial completa.

Otras dos metodologías, informadas por Sustainable Prosperity en el informe “The Competitiveness of a Trading Nation: Carbon Leakage and Canadian Climate Policy” [8], son aquellas utilizadas en Estados Unidos y la Unión Europea, respectivamente, para identificar la exposición a los IPC de sectores industriales [9].

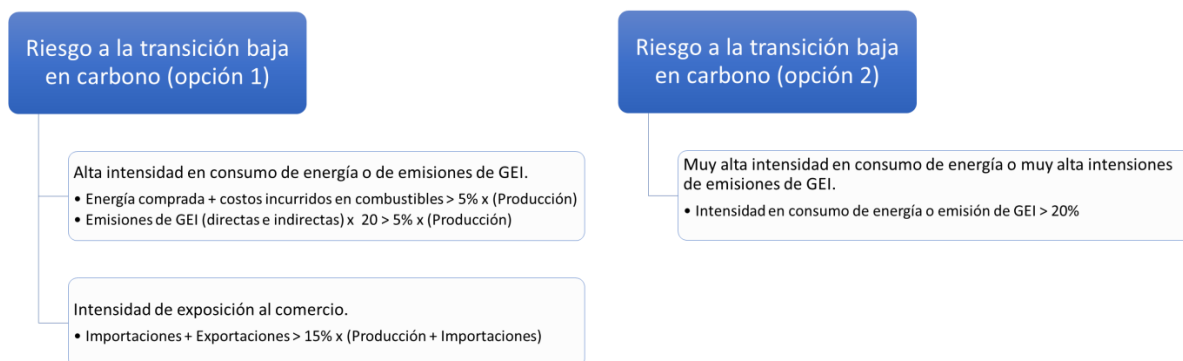
La metodología europea, implementada en el marco del mercado de transacción de emisiones EU-ETS Fase III, representaría desafíos metodológicos inabordables y una alta probabilidad de sesgos, ya que está condicionada a la intensidad de exposición al comercio intra y extra-Unión Europea (UE) (como un bloque), normalizando las diferencias internacionales para cada sector al interior de la UE, imposibilitando el logro de una analogía para este efecto con una metodología para Chile.

Debido a lo anterior, y sumado al desafío de diseñar una metodología con baja subjetividad para el caso de nuestro país, se propone utilizar la metodología de EEUU, definida en el American Clean Energy & Security Act de 2009 [10] (Tabla 1). Esta metodología no establece criterios cualitativos, está aplicada a nivel sectorial dentro de un contexto país, y no define múltiples rangos de emisiones absolutas, siendo más accesible para su adaptación al caso chileno.

Como se puede apreciar, la metodología estadounidense utiliza principalmente tres criterios para identificar la exposición al riesgo de transición baja en carbono para un sector: intensidad de energía, intensidad de emisiones e intensidad de exposición al comercio. Respecto a la intensidad de emisiones, es importante tener presente que en el análisis deben considerarse tanto las emisiones directas (derivadas de la producción), como las emisiones indirectas (derivadas del consumo eléctrico).

¹¹ Este consolidado de metodologías también permite caracterizar los sectores más expuestos a su competitividad ante la futura implementación de IPC [6]. Ver Tabla 18, Anexo 3.

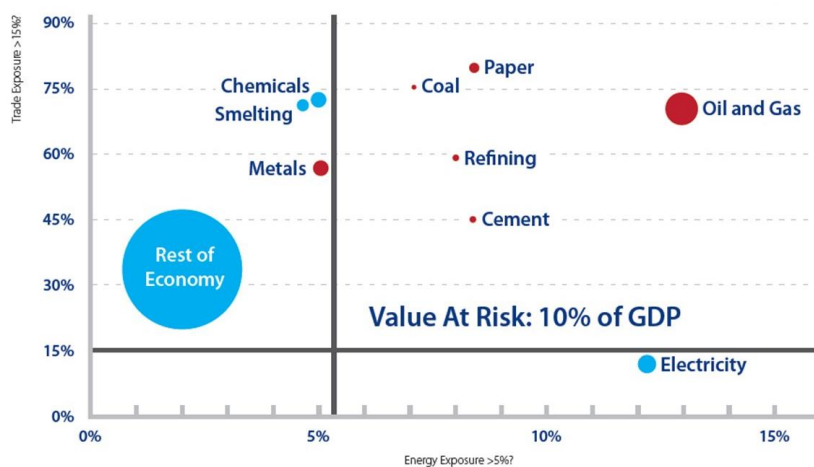
Figura 3: Metodología de EEUU para la definición de riesgo de transición climática.



Fuente: Elaboración propia, 2018, en base a [8]

A modo de referencia, y como un ejemplo de aplicación de la metodología descrita, se presenta a continuación la Figura 4 con los resultados obtenidos para Canadá de acuerdo a [8]. Al adaptar la metodología estadounidense al caso chileno, se identificaron los sectores industriales chilenos más afectados en su competitividad por la futura incorporación de IPCs, y a continuación se priorizaron los tres sectores que requerirán un mayor apoyo para la adopción de tecnologías limpias.

Figura 4: Sectores expuestos al riesgo de una transición baja en carbono en Canadá, con metodología EEUU.

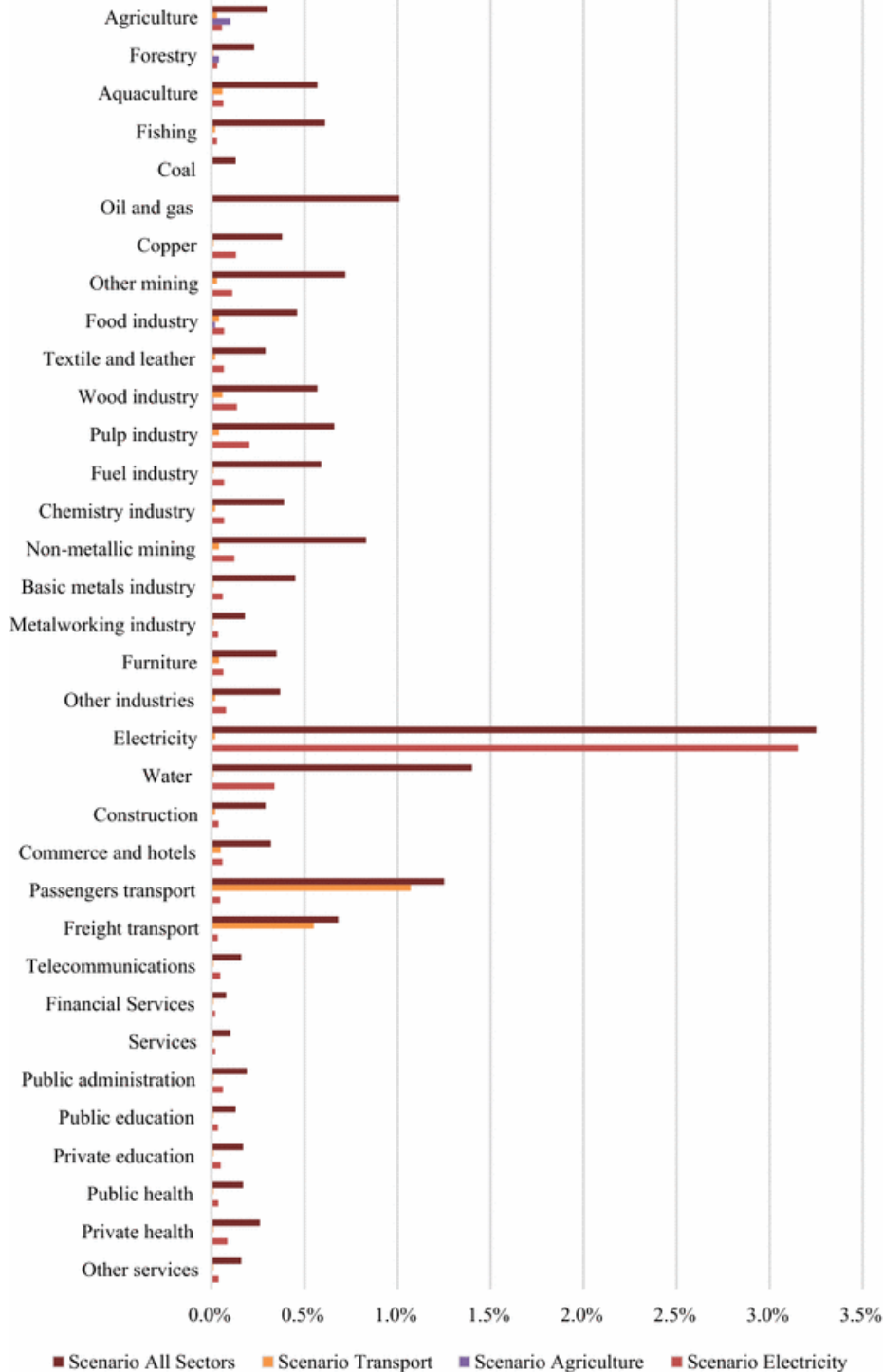


Fuente: [8].

En nuestro país, destaca el trabajo realizado en la publicación *Environmental taxation for reducing greenhouse gases emissions in Chile: an input-output analysis* (Mardones y Muñoz, 2017 [11]), donde los autores logran identificar los sectores con mayor incremento a sus precios ante un IPC sobre la generación eléctrica, además de representar el efecto del alza de un impuesto al carbono de un sector industrial sobre el resto de sectores, utilizando el modelo de Leontief con la matriz insumo producto del Banco Central de Chile (BCCh) como principal insumo [12]¹². Como parte de los resultados de este estudio, además del sector de generación, destacan el sector de agua, industria de pulpa y papel e industria maderera y del cobre (Figura 5).

¹² A Junio 2018, el link de descarga es: https://si3.bcentral.cl/estadisticas/Principal1/Excel/CCNN/cdr/xls/CdeR2013_MIP.xlsx

Figura 5: Efectos en precios sectoriales bajo un impuesto de US\$5/ton de CO₂.



Fuente: [13]

En particular, no se tomó como referencia para el presente estudio la sección del trabajo realizado por Mardones y Muñoz (2017) concerniente a la utilización del modelo de Leontief, modelo que mide el impacto intersectorial de la aplicación futura de IPCs, pero no incorpora otros elementos que sí son relevantes según las metodologías revisadas (como la exposición al comercio, entre otros). Por otra parte, el modelo de Leontief no permite reflejar los cambios en la estrategia de precios que tendría el sector eléctrico ante un IPC, ya que asume que todo el IPC es transferido aguas abajo a los distintos sectores consumidores.

Para realizar un análisis de riesgo de transición hacia una economía baja en carbono y de las consecuentes implicancias sectoriales, es necesaria una investigación que capture las distintas dinámicas de mercado de los sectores cubiertos y no cubiertos por un IPC. El presente análisis, corresponde a una versión simplificada de dicha investigación, de modo de poder enfocar el levantamiento de necesidades tecnológicas en sectores industriales prioritarios.

El análisis en profundidad del riesgo de una transición baja en carbono debiera considerar variables socio económicas críticas para ciertos sectores industriales, como por ejemplo su capacidad de generación de empleo (ver Tabla 20 en Anexo 5), la participación de MIPYMEs o también las variables representadas en la propuesta conceptual de dinámica de sistemas (Figura 2).

Dado lo anterior, se tuvieron en cuenta los siguientes supuestos para definir el alcance de este estudio:

- Se asume un IPC a fuentes fijas sobre 10 MWt, según mapa de opciones propuesto por el PMR (Anexo 1). Se excluyen las fuentes móviles. Se estudia el impacto que tendría un precio a las emisiones sin discriminar respecto del tipo de IPC.
- Se ha decidido no incluir a la industria de generación eléctrica como parte de los sectores a evaluar¹³, pero sí se considera su efecto en los otros sectores (a través de las emisiones indirectas de cada sector).

Se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones para el desarrollo de la metodología, referidas en la bibliografía [14]:

- Se realizará un análisis a nivel de sectores, no de firmas. La exposición ante el comercio internacional tomará relevancia sí y sólo sí un sector es también intensivo en emisiones.
- Se analizarán dos escenarios: el primero de ellos incluyendo el impacto de un futuro IPC en las emisiones directas más emisiones indirectas de GEI para cada sector; y el segundo sin incluir el impacto de las emisiones indirectas (de esta forma representando el caso donde no ocurre el traspaso de sobrecosto por IPC, de la generación eléctrica a los clientes de un sector específico).
- Las referencias de costos de energía por sí solas, pueden ser imprecisas en representar la intensidad de emisiones (ej. procesos químicos disponen de emisiones adicionales a las emisiones por consumo de combustible).
- No hay estudios que demuestren una correlación entre oportunidades de mitigación y riesgo de transición climática y/o fuga de carbono.
- La elasticidad es relevante, porque la mayor parte de la caída en la producción ante un IPC ocurre por una baja en la demanda local producto del traspaso de sobrecostos, y no por un aumento de sustitutos, pero implica un desafío metodológico muy significativo (determinado también por la forma de la demanda), motivo por el cual este criterio no es considerado para la priorización de sectores¹⁴.

¹³ Esto debido a que es un sector que estaría sujeto a una demanda más inelástica que otros sectores y porque además es un sector que tiene la capacidad de adoptar con bastante dinamismo las nuevas tecnologías bajas en carbono.

¹⁴ La Figura 2 y Anexo 2 muestran el rol que juega este factor en el riesgo de transición climática de los sectores industriales.

- Se descartan sectores que no son parte del alcance del estudio y sectores que no disponen de información:
 - Categorías que representan casos aislados, que no constituyen sectores económicos en sí mismas, y que quedan excluidas por algunas de las consideraciones anteriores (p.e. “centros de estudio”, ya que sus emisiones son fundamentalmente indirectas, ó “transporte aéreo”, ya que concentra sus emisiones en fuentes móviles).
 - Categorías no vinculables a sectores en la matriz insumo producto del Banco Central (BCCH): “Industrias varias”, u “Otros servicios”.

3.6. Consideraciones respecto a fuentes de información utilizadas.

En primer lugar, se definió el universo de sectores industriales a analizar, de tal forma que fueran objetivamente representativos de la economía chilena, siendo la principal fuente de información para establecer este universo Mardones y Muñoz (2017) [13]. Sin perjuicio de lo anterior, se expandió este universo para poder incluir algunos sectores adicionales, que no contaban con la desagregación adecuada, o no estaban presentes en el informe de Mardones y Muñoz, pero que dada su significancia en las fuentes afectas al impuesto¹⁵ e importancia para la economía nacional era crítico considerar. Este es el caso de los sectores vidrios, cemento, plásticos y papel y celulosa.

Se debe considerar que las categorías de sectores establecidas por el INGEI no siempre permiten tener granularidad, y no son siempre comparables con la desagregación de fuentes fijas afectas al impuesto. Por ende, no se consideró el INGEI para la categorización de sectores industriales, pero sí para la determinación de las emisiones.

A continuación, en la Tabla 1, se presenta el universo de 28 sectores industriales a ser incorporados en el análisis para determinar su riesgo a una transición baja en carbono, con su respectiva fuente de procedencia:

Tabla 1: Definición universo sectores industriales chilenos para análisis de riesgo a una transición baja en carbono.

Sector industrial chileno	Procedencia de información del sector industrial
Acuicultura	Mardones y Muñoz, 2017
Administración pública	Mardones y Muñoz, 2017
Agua	Mardones y Muñoz, 2017
Cemento	StratCarbon, 2017 ¹⁶
Combustible	Mardones y Muñoz, 2017
Comercio y hoteles	Mardones y Muñoz, 2017
Construcción	Mardones y Muñoz, 2017
Educación privada	Mardones y Muñoz, 2017
Educación pública	Mardones y Muñoz, 2017

¹⁵ En el informe “Análisis de brechas y propuesta sistema MRV para el Partnership for Market Readiness” de Strat-Carbon (2017) [96] y la base de datos elaborada para este trabajo, se definió un umbral de 10 MWt de consumo energético para identificar el universo de fuentes potencialmente afectas a un IPC. Los sectores que no estuvieran incorporados en el trabajo de Mardones y Muñoz, fueron incluidos dentro del conjunto de sectores evaluados.

¹⁶ Disponible en <http://www.precioalcarbonochile.cl/wp-content/uploads/2018/02/Producto-N%C2%B02-An%C3%A1lisis-de-brechas-y-propuesta-sistema-MRV-3.0.pdf> (consultado por última vez en junio de 2018) [97].

Sector industrial chileno	Procedencia de información del sector industrial
Industria alimentaria	Mardones y Muñoz, 2017
Industria de metales básicos	Mardones y Muñoz, 2017
Industria metal mecánica	Mardones y Muñoz, 2017
Industria química	Mardones y Muñoz, 2017
Maderas	Mardones y Muñoz, 2017
Minería del cobre	Mardones y Muñoz, 2017
Minería no metálica	Mardones y Muñoz, 2017
Muebles	Mardones y Muñoz, 2017
Papel y celulosa	StratCarbon, 2017
Pesca	Mardones y Muñoz, 2017
Plástico	StratCarbon, 2017
Salud privada	Mardones y Muñoz, 2017
Salud pública	Mardones y Muñoz, 2017
Servicios financieros	Mardones y Muñoz, 2017
Silvoagropecuario(*)	Mardones y Muñoz, 2017
Telecomunicaciones	Mardones y Muñoz, 2017
Textil y cuero	Mardones y Muñoz, 2017
Vidrios	StratCarbon, 2017
Resto de la minería (Minería metálica)	Mardones y Muñoz, 2017

Fuente: Elaboración propia, 2018.

(*) Combinación de sectores Agropecuario y Silvícola.

Es importante mencionar que dadas las limitaciones propias de las fuentes secundarias base de este estudio, aumentar la profundidad de análisis en ciertas instancias puede implicar el establecimiento de múltiples supuestos, dependientes unos de otros, pudiendo alterar la esencia de las fuentes citadas. En este sentido, se optó por buscar un balance apropiado, que permitiera cumplir en forma robusta el objetivo del estudio, minimizando, siempre que fuera posible, el establecimiento de supuestos.

Respecto a la adaptación de una variación de la metodología de EEUU para el caso chileno, se utilizan las siguientes fuentes de información para establecer la intensidad de energía, intensidad de emisiones e intensidad de exposición al comercio, para cada uno de los sectores industriales a analizar, con año base común 2013. A pesar que hay información más actualizada para ciertos parámetros, se privilegió utilizar un año de referencia común para comparar todas las fuentes de información.

i. Producción por sector:

- Esta se obtiene a partir de la suma de producción por precio básico de la Matriz Insumo Producto (MIP) 2013¹⁷, del Banco Central de Chile (BCCh) [12] (en miles de millones de pesos).

¹⁷ Disponible en <https://si3.bcentral.cl/estadisticas/Principal1/Excel/CCNN/cdr/excel.html> (consultado por última vez en junio de 2018).

- ii. Intensidad de energía:
- La variable “Compras de energía y combustibles” se calcula a partir de la dependencia (o compras) desde cada sector a las industrias de “Generación de electricidad”, “Distribución de electricidad” y “Suministro de gas y vapor”, en base a lo informado por la Matriz Insumo Producto (MIP) 2013, del Banco Central de Chile (BCCh) [12]. La intensidad de energía es resultado del cociente de la “compra de energía y combustible” por la producción por sector.
- iii. Intensidad de emisiones:
- Para emisiones directas, la principal fuente de información es el Inventario de Gases de Efecto Invernadero (INGEI - NAI) [14]. En aquellos casos donde el INGEI no reporta dicha información (dado que la clasificación de sectores productivos del INGEI no calza con la del MIP), se utiliza el Balance Nacional de Energía (BNE) 2013 de la Comisión Nacional de Energía [15]¹⁸ ¹⁹. Si esta última fuente tampoco existe para el sector correspondiente, se acude a utilizar las emisiones consolidadas provenientes del estudio referenciado de Mardones y Muñoz como se explica a continuación.
 - Mardones y Muñoz (2017) [13]²⁰, dispone de mayor desagregación que el BNE, ya que utiliza como respaldo las siguientes fuentes: Balance Nacional de Energía 2010, Gasto en Combustible reportado en la Matriz Insumo Producto 2010 del Banco Central de Chile y la Encuesta Nacional Industrial Anual (ENIA) 2010 del Instituto Nacional de Estadísticas (INE).
 - Las emisiones indirectas (provenientes del suministro eléctrico) son obtenidas a partir de la fracción de emisiones indirectas respecto de las emisiones directas, provenientes de la referencia de Mardones y Muñoz, 2017.
 - La intensidad de emisiones es resultado del cociente de la emisiones directas más las emisiones indirectas, por la producción de cada sector.
- iv. Intensidad de exposición al comercio:
- Las variables “Shipments” (valor de la producción sectorial según descripción del Clean Energy and Security Act 2009), “Imports” y “Exports” se calculan a partir de los datos de importaciones (precio CIF²¹) y exportaciones otorgados por la MIP 2013 del BCCh [12].

Algunas precisiones adicionales:

- No es posible extraer los datos para emisiones directas desde la MIP 2013, ya que implicaría el establecimiento de múltiples supuestos respecto al uso y al precio de combustibles, con el consiguiente riesgo de generar inconsistencias en la información.

¹⁸ Disponible en <http://datos.energiaabierta.cl/datastreams/92599/balance-energetico-2013/> (consultado por última vez en junio de 2018).

¹⁹ Las emisiones son calculadas utilizando los factores de emisión para inventarios de GEI reportados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos, el año 2014.

²⁰ Aun con la falta de datos para cuantificar la intensidad de emisiones de los sectores al 2013, se decidió no cambiar el año de referencia del 2013 al 2010. Primero, porque el Banco Central no tiene publicada la MIP del 2010 y segundo, porque el año 2010 podría dar pie a singularidades (al ser un año en que ocurrió un terremoto, en marzo de 2010 específicamente). Por otro lado, deducir la intensidad de emisiones desde los datos de la MIP 2013 obligaría el uso de supuestos en el tipo de combustible por nivel de consumo.

²¹ Acrónimo del término Coste, seguro y flete, en el puerto de destino convenido.

- Al intentar actualizar algunas de las fuentes emisiones, por ejemplo, actualizar ENIA2010 con ENIA2013, nos encontramos con un valor para cada sector en general menor que la cifra original de Mardones y Muñoz (2017), implicando una menor intensidad en emisiones (y por ende, un menor riesgo a una transición baja en carbono). Sumado a esto, ENIA es menos exhaustivo que BNE, y por estructura incluye menos combustibles que el BNE.
- Si bien INGEI-NAI consolida a la minería del cobre con el resto de la minería metálica, se opta por trabajar estos dos sectores en forma independiente, tal como plantea la MIP 2013, y como puede verse reflejado en el BNE 2013.
- Se decide excluir los subsectores “Extracción de carbón” y “Extracción de petróleo y gas”, por consistir en emisiones de fuentes móviles o fugitivas, como se explica en [16].
- El sector de emisiones “1.A.1.c. Fabricación de combustibles sólidos y otras industrias de la energía” del INGEI-NAI está asociado a las emisiones de consumo de combustible para la fabricación de gas corriente y coque. Por tanto, fue incorporado como una fuente de emisiones del subsector “combustibles” dentro de la MIP [17]. Basado en lo informado por el INGEI-2013²² [18], se opta por también incluir las emisiones de consumo de energía para la refinería de petróleo (1.A.1.b del INGEI) junto a este mismo subsector de “combustibles”.
- Las emisiones descritas en el punto 2.C del INGEI se refieren al sector de industria de metales básicos. Esta fuente (el INGEI) no reporta emisiones para el sector metalmeccánico, por lo que se acudió a la fuente de Mardones y Muñoz (2017) que utiliza el ENIA-2010.
- Es importante considerar que la proporción de emisiones directas, respecto de emisiones indirectas, está sujeta a variaciones en la intensidad de GEI que tiene el sector eléctrico en el tiempo. Dicho sector ha variado su matriz de generación, y se espera que varíe aún más dado las proyecciones en la penetración de energías renovables [19]. Sin perjuicio de lo anterior, la variación en la intensidad de GEI del sector eléctrico en el tiempo queda fuera del alcance de este estudio, al tomarse como año fijo para el análisis a 2013.
- La actividad de pesca²³ dispone, en gran medida, de fuentes de emisión móviles y no tiene una dependencia relevante del consumo eléctrico como se explica en [22] (ver Figura 9 y Anexo 7–Tabla 23 para mayor detalle). Por lo mismo, no se considera como un sector prioritario.

El detalle de las fuentes de información de emisiones de GEI para cada uno de estos sectores, se resume en el Anexo 6²⁴. Es importante establecer que la mejora en la disponibilidad de información de fuentes secundarias como INGEI, BNE, ENIA, entre otras, es de carácter crítico para una sensibilización más profunda de esta metodología, en particular respecto a la coherencia entre fuentes para los sectores industriales que éstas abordan. Adicionalmente, la información disponible se actualiza con baja frecuencia, situación que podría dificultar tanto la actualización de este estudio, como su replicación en el futuro. En este sentido, se sugiere focalizar esfuerzos para el desarrollo de sistemas de monitoreo, reporte y verificación (MRV) de emisiones, que permitan contar con una mayor desagregación entre fuentes de sectores industriales.

²² Página 136 de este informe [18].

²³ Esta no corresponde a la industria de alimentos procesados de la pesca.

²⁴ Como se explica en dicho Anexo, al cual se tuvo que acudir a información particular del gremio, es el caso del sector plástico. Aquí se acudió a la información proveniente de ASIPLA, quienes realizaron una estimación de la huella de carbono en todo el ciclo de vida de sus productos. Se extrajo sólo la emisión de operaciones en Chile (descarándose las emisiones asociadas a la producción de la resina que es importada).

En particular, el año 2013 fue escogido como año de análisis por contar con la información más actualizada para este análisis (último informe de la matriz de insumo producto emitido por el Banco Central de Chile, e información más reciente del INGEI). Si bien se pronostica a futuro el lanzamiento de la base de datos de INGEI para el período 1990-2016, una actualización consistente de este estudio requeriría contar también en forma paralela con la actualización de sus otras fuentes de información.

La metodología presentada por este estudio no pretende ser la oficial para determinar sectores expuestos al riesgo de una transición baja en carbono frente a la aplicación de IPCs, sino que es la primera aproximación factible de hacer con la información disponible, cuidando la consistencia y compatibilidad entre diversas fuentes de información. De esta forma, el estudio pretende aportar a la discusión para continuar evaluando los sectores aquí propuestos u otros que pudieran presentar riesgos a la luz de otra información que no haya sido considerada.

3.7. Resultados.

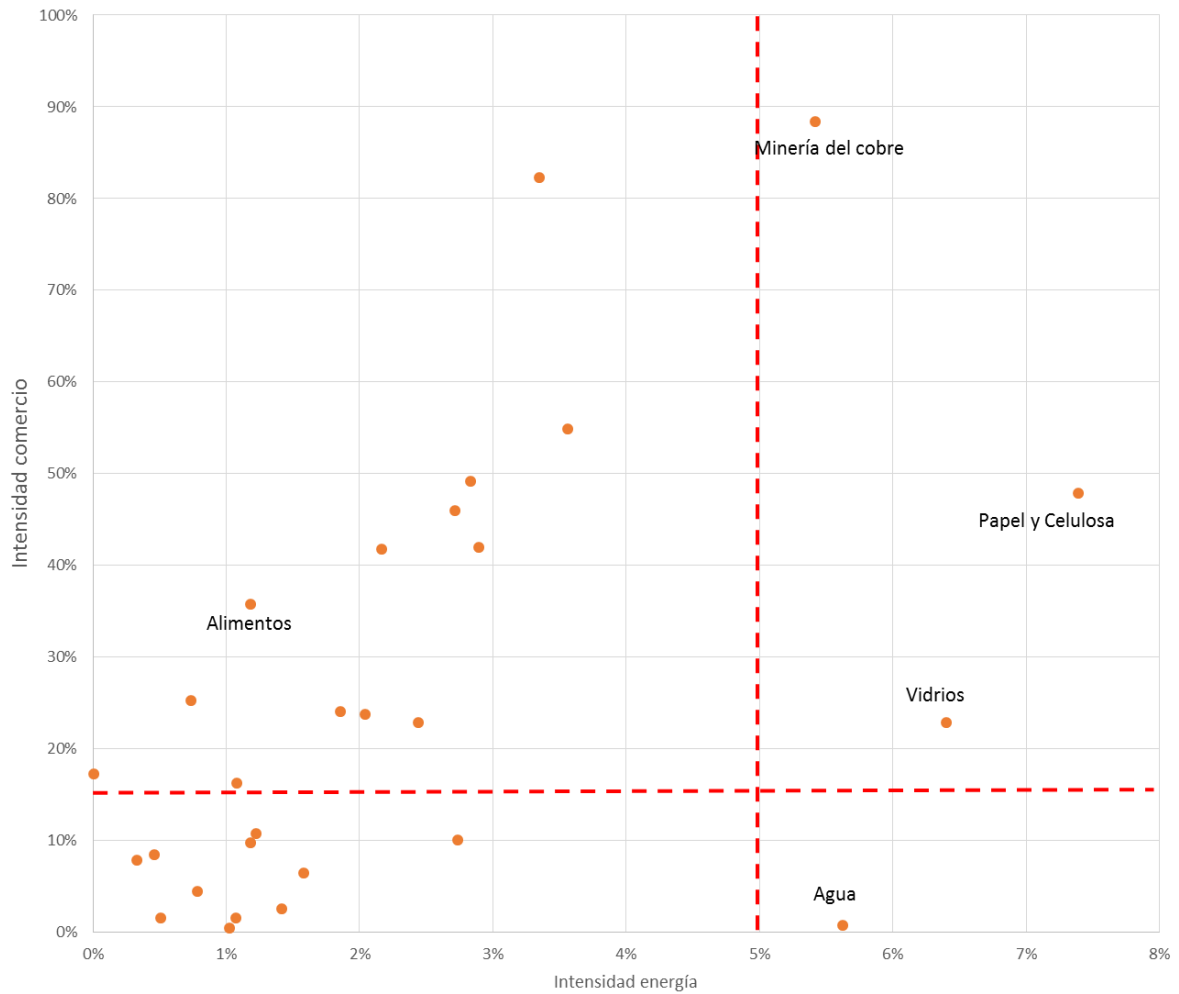
Se analizaron dos escenarios:

- a. **Escenario 1:** Incluyendo el impacto de un futuro IPC en las emisiones indirectas de GEI para cada sector.

Adaptando la metodología de EEUU al caso chileno, se puede constatar que, al comparar la intensidad de energía con la intensidad de exposición al comercio, los sectores industriales con mayor exposición al riesgo a una transición baja en carbono son la **minería del cobre, papel y celulosa e industria del vidrio** (ver Figura 6 y Anexo 7)²⁵.

²⁵ Tanto la Tabla 22 como la Tabla 23 del Anexo 7, incorporan además un índice del múltiplo de la exposición al comercio y la intensidad de consumo energético, y un índice del múltiplo de la exposición al comercio y la intensidad de emisiones.

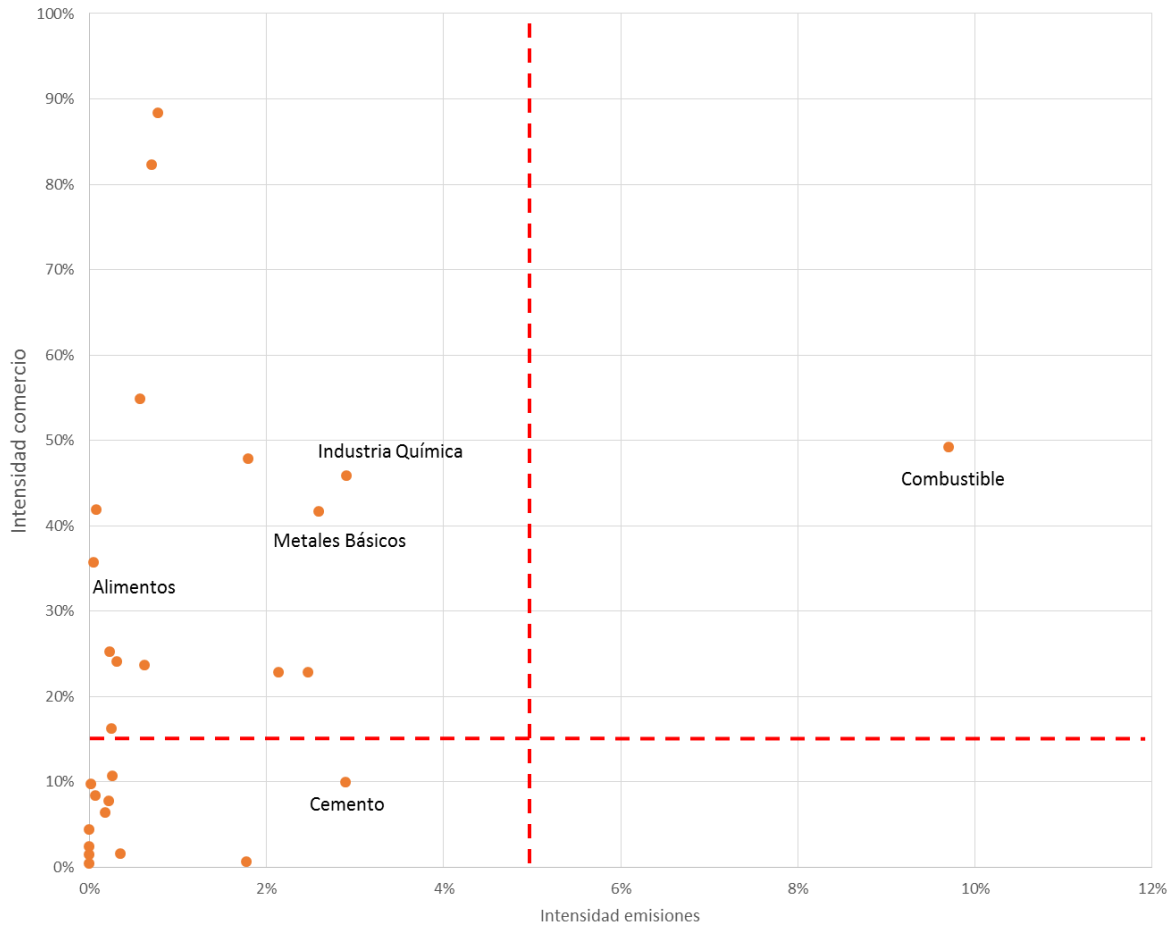
Figura 6: Análisis sectorial 1 (Score 1): Intensidad Energía vs. Exposición al Comercio, incluyendo el impacto de un futuro IPC en las emisiones indirectas de GEI para cada sector.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Si, de forma similar, se compara la intensidad de emisiones con la intensidad de exposición al comercio, se identifica como sector expuesto al riesgo de transición, únicamente a la industria de elaboración de **combustibles** (Figura 7 y Anexo 7).

Figura 7: Análisis sectorial 2 (Score 2): Intensidad Emisiones vs. Exposición al Comercio, incluyendo el impacto de un futuro IPC en las emisiones indirectas de GEI para cada sector.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

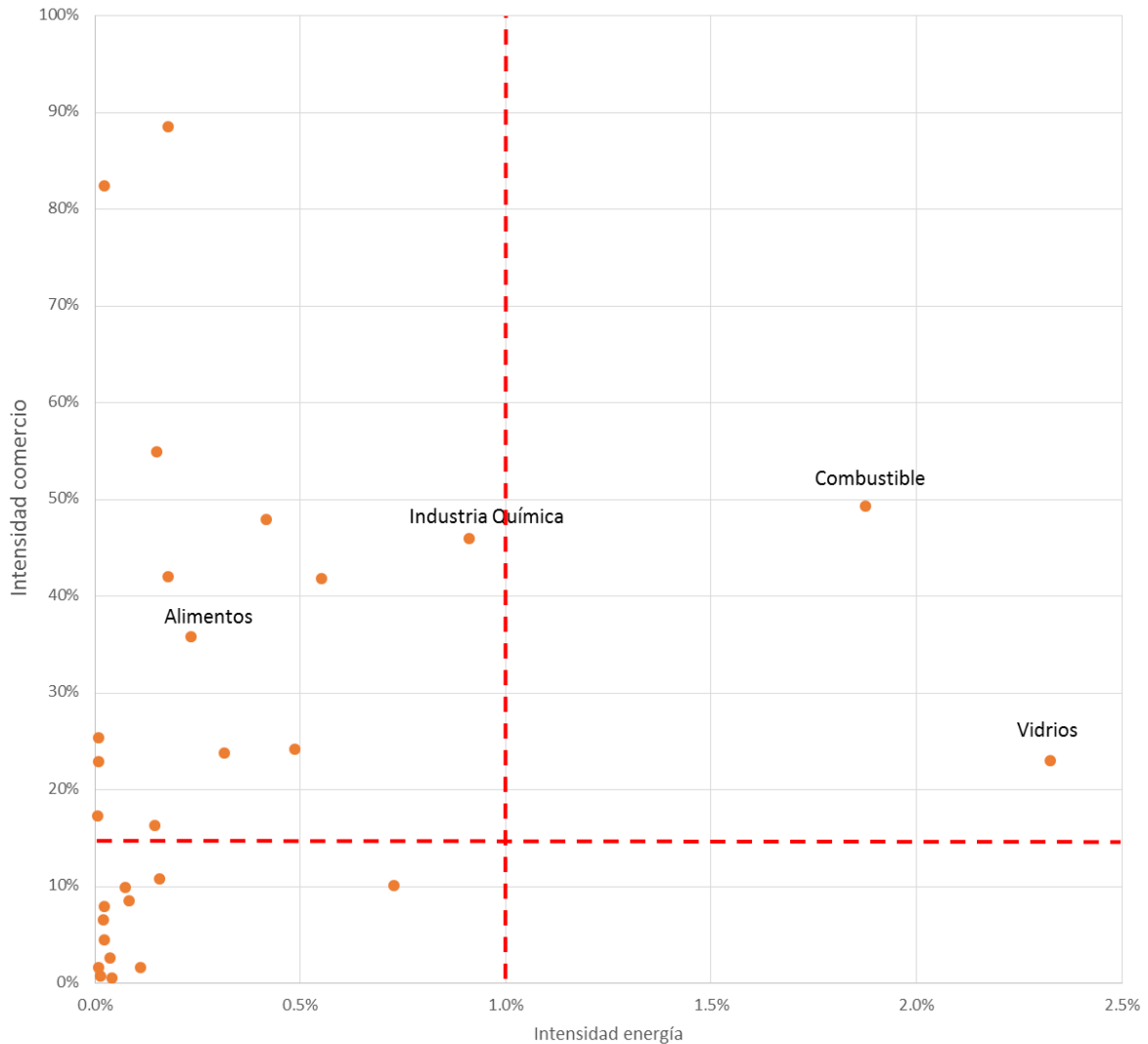
b. Escenario 2: Sin incluir el impacto de un futuro IPC en las emisiones indirectas de GEI para cada sector.

El presente escenario se sustenta en el supuesto en que el sobrecosto por el costo de un IPC asociado a las fuentes afectas del sector eléctrico, no es transferido aguas abajo a los clientes. Esto podría deberse a la dinámica de competencia que tiene hoy el sector eléctrico chileno, y que se caracteriza por un incremento acelerado de actores, una sobre-oferta de generación eléctrica, y un incremento significativo en fuentes bajas en emisiones. Por tanto, cualquier esfuerzo de transferir el precio del sobrecosto de un IPC podría dejar a un oferente fuera de mercado. Este escenario se refuerza aún más con el reciente anuncio realizado por la Asociación de Generadoras ante el Ministerio de Energía de Chile, de no promover la inversión de ninguna central de carbón y constituir una mesa para programar el retiro de las centrales vigentes [20]. El efecto de transferir parcialmente o totalmente el sobrecosto del impuesto a las emisiones del suministro eléctrico se ha estudiado en profundidad, sobre todo en el marco de la implementación del EU-ETS, pero sin resultados concluyentes [21]. Aún más, este aspecto es de carácter particular a la naturaleza de cada mercado, por lo que es difícil transferir el contexto del EU-ETS al contexto nacional en dicha materia.

Bajo este escenario (donde se elimina el efecto de las emisiones indirectas o la dependencia en las emisiones por el consumo de la red), la metodología de EEUU no permite identificar sectores prioritarios considerando intensidades en consumo energético y emisiones mayores al

5% sobre la exposición al comercio. Esto se explica porque en un escenario que no considera a las emisiones indirectas, la industria chilena es baja en consumo energético respecto a su producto. Se sugiere sensibilizar el modelo, con un umbral de 1% (en vez de 5%) para la comparación entre las intensidades de energía y comercio, de tal forma de identificar aquellos sectores más expuestos al riesgo de una transición baja en carbono, que si bien podrían no tener un consumo energético alto considerando la metodología de EEUU, aún presentarán un mayor grado de riesgo a una transición baja en carbono frente a sus pares. Realizando lo descrito, el modelo arroja como sectores prioritarios (sin considerar emisiones indirectas) a las industrias de **elaboración de combustibles y de vidrios** (ver Figura 8 y Anexo 7 para mayor detalle).

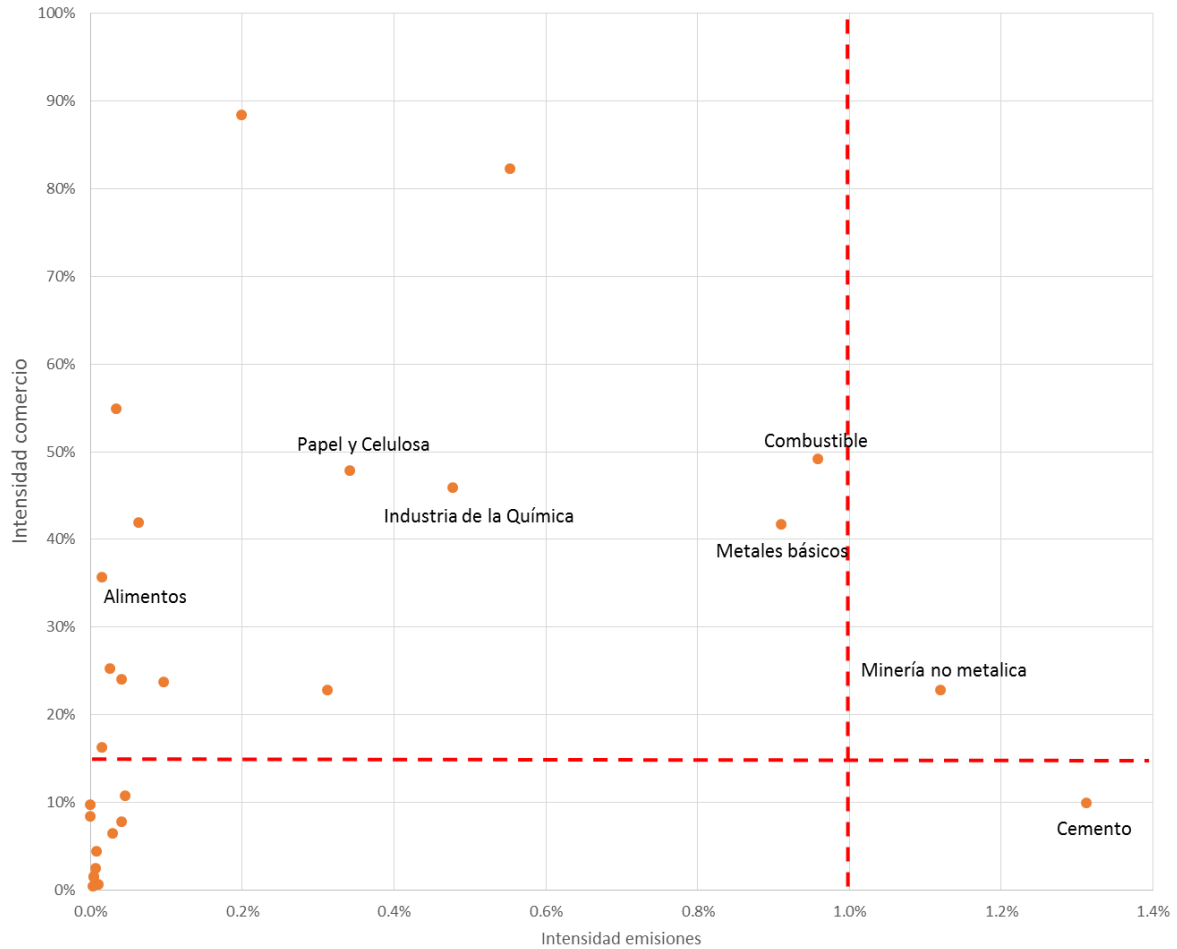
Figura 8: Análisis sectorial 1 (Score 1): Intensidad Energía vs. Exposición al Comercio, sin incluir el impacto de un futuro IPC en las emisiones indirectas de GEI para cada sector.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

De forma análoga, se sugiere sensibilizar el umbral hasta un 1% para la intensidad de emisiones, reconociendo como sector más expuesto al riesgo a una transición baja en carbono a la **minería no metálica**.

Figura 9: Análisis sectorial 2 (Score 2): Intensidad Emisiones vs. Exposición al Comercio, sin incluir el impacto de un futuro IPC en las emisiones indirectas de GEI para cada sector.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Es posible corroborar que la gran mayoría de los sectores económicos en Chile tienen una alta intensidad de exposición al comercio, mientras que son pocos los sectores con una intensidad de emisiones relevante, efecto que se explica por ser Chile una economía muy globalizada pero no muy industrializada. A pesar de lo anterior, la intensidad de emisiones es un proxy más representativo que la intensidad de consumo de energía, sin perjuicio de ser este último el factor más influyente al momento de aplicar la metodología. En coherencia, es posible apreciar que ningún sector económico chileno tiene una intensidad de emisiones o de consumo energético excesiva (>5%, como referencia de umbral en la metodología de EEUU).

La industria de alimentos (incluyendo a los alimentos procesados de la pesca) no figura como prioritario bajo ninguno de los criterios en cuestión dentro de la metodología de EEUU, aun estando presente en el consolidado de fuentes fijas afectas a IPCs. Esto ocurre porque si bien la industria de alimentos posee fuentes fijas de escala relevante, éstas no se reflejan en el nivel de intensidad energética sectorial, ni tampoco en la intensidad de emisiones (incluso si observamos sólo las emisiones directas). En otras palabras, es una industria con bajas emisiones y/o consumo de energía relativo a su producción.

Considerando que el último escenario (sin incorporar efecto de emisiones indirectas y basado en intensidad de emisiones) sería potencialmente el más representativo de la situación actual, se decidió realizar un ranking de aquellos 5 sectores con los mayores múltiplos de exposición al

comercio e intensidad de emisiones (destacado en rojo en la Tabla 2). En las columnas siguientes se verifica si dicho sector vuelve a aparecer en un ranking semejante para todos los otros escenarios evaluados y en la última columna se incorpora la producción de cada sector como informa el MIP-2013 (destacando en rojo los 5 mayores volúmenes de producción).

Además, es relevante tener presente otro tipo de aspectos, como por ejemplo la participación del sector MIPYME²⁶ en términos de ventas y generación de empleo de cada sector (ver Tabla 19 de Anexo 5, donde se destaca el sector de "industrias manufactureras metálicas"). Es deseable considerar estos factores para el objetivo de este estudio, ya que el riesgo de pérdida de competitividad de un sector implicará efectos socioambientales aguas abajo.

Idealmente, contar con una caracterización de la concentración de cada sector económico permitiría revelar qué nichos tienen mayor o menor capacidad de transferir el sobrecosto asociado al impuesto a las emisiones dentro del precio de sus productos (ver Figura 2 y Anexo 2 para comprensión de la influencia de este factor en el riesgo de los sectores industriales). Si estuviese esta información disponible, el foco estaría en los sectores más concentrados, de modo de impedir afectar el insumo hacia otras industrias.

Estos resultados finales permiten ampliar el análisis de sectores evaluados, ya que refleja qué tan reiterativa es la presencia de un sector ante todos los escenarios, su importancia relativa en términos de producción y su actividad.

Tabla 2: Riesgo de transición sectorial ante introducción de un futuro régimen de IPCs.

	SCORE 2 (GHG Intensive) - escenario sin pago impuesto emisiones indirectas	Aparece en ranking de puntaje SCORE 2 Escenario con pago impuesto emisiones indirectas	Aparece en ranking de puntaje SCORE 1 Escenario con pago impuesto por emisiones indirectas	Aparece en ranking de puntaje SCORE 1 Escenario sin pago impuesto por emisiones indirectas	Producción precio básico MIP 2013 (miles de millones de pesos) (Shipments)
Cemento	0,130%	NO	NO	NO	1.830
Combustible	0,471%	SI	SI	SI	4.275
Industria de metales básicos	0,379%	SI	SI	SI	1.750
Industria química	0,219%	SI	SI	SI	4.902
Minería del cobre	0,177%	SI	SI	SI	23.250
Resto de la minería metálica	0,455%	SI	SI	NO	1.835
Minería no metálica	0,255%	SI	SI	NO	941
Papel y Celulosa	0,164%	SI	SI	SI	4.169
Plástico	0,027%	NO	SI	SI	2.316
Vidrios	0,071%	SI	SI	SI	302

Fuente: Elaboración propia, 2018.

²⁶ Si bien no se conocen las emisiones por fuente fija específicamente para MIPYMEs, éstas se verán afectadas dependiendo de su nivel de encadenamientos productivos con sectores más expuestos a estos riesgos de transición baja en carbono

De los sectores representados en la tabla anterior, destacan la industria de combustibles²⁷, la industria química, y la industria de metales básicos, ya que están entre los 5 mayores multiplicadores para todos los escenarios representados. A estos se agregó la industria del cemento por solicitud de la contraparte (ya que es destacada en distintos informes internacionales). Posteriormente se descartó de este grupo a la industria química, ya que luego de múltiples intentos no se recibió interés de participar en la continuidad del proyecto. Esto permitió focalizar el trabajo en la **industria de combustibles, la industria de metales básicos y la industria del cemento**.

Luego de reuniones iniciales con los 3 sectores resultantes, se pudo construir la siguiente tabla para poder compararlos, en base a criterios cualitativos.

Tabla 3: Comparación cualitativa entre sectores prioritarios para la evaluación de riesgos de transición baja en carbono.

Sectores industriales	Homogeneidad del sector.	Capacidad de trabajar en forma asociativa como industria.	Nivel de exposición ante la competencia global ²⁸ .	Participación en el PIB - Producción precio básico MIP 2013 (miles de millones de pesos).	Demanda que requiere conocer la huella de carbono y que pueden manifestar preferencias al respecto.	Participación de MIPYME en el empleo. ²⁹
Combustible (refinería)	Alta	Alto	Media	4.275	Baja	28,5%
Cemento	Alta	Alto	Alta (en producción de coque)	1.830	Media	28,5%
Industria de metales básicos	Baja	Media	Alta	2.316	Media	48,9%

Fuente: Elaboración propia, 2018.

4. Taller con representantes de la industria y organismos del Estado.

El miércoles 17 de enero de 2018, se facilitó un Taller con representantes de la industria y organismos del Estado, en dependencias del Ministerio de Energía, cuyos principales objetivos se detallan a continuación:

- Presentación de la metodología para la identificación de sectores productivos con riesgo de transición climática en Chile.

²⁷ El foco de análisis de la industria de combustibles está en la refinería de petróleo, ya que basado en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero su participación es de 3.120,3 GgCO₂eq, versus 979,2 GgCO₂eq para la fabricación de combustibles sólidos.

²⁸ Este criterio se refiere a la exposición que tiene un sector industrial ante la influencia de competidores internacionales, en la lógica del contexto comercial de dicho sector.

²⁹ Información obtenida del reporte "Las empresas en Chile por tamaño y sector económico desde el 2005 a la fecha" del Ministerio de Economía, 2014.

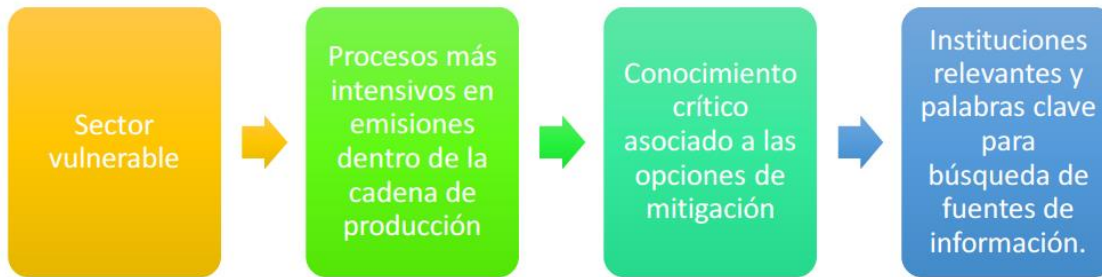
- Identificación de los procesos más intensivos en emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de los sectores productivos en Chile.
- Identificación de las opciones de reducción de emisiones de GEI para los procesos más intensivos.
- Identificación del conocimiento crítico asociado a las opciones de reducción de emisiones de GEI, incluyendo instituciones relevantes y conceptos clave para la búsqueda de información.

En la ocasión, se presentó la metodología, definiciones, marco conceptual y supuestos utilizados a los asistentes, obteniendo su retroalimentación y sugerencias, que permitieron robustecer el trabajo realizado.

Posteriormente, se dio pasó a una sesión de trabajo personal, en la que se solicitó a los presentes completar tres fichas para la identificación de fuentes de información, de acuerdo al diagrama indicado en la Figura 10:

- **Ficha 1:** Identificar el proceso productivo más intensivo en consumo de energía eléctrica, consumo de combustibles fósiles y/o emisiones de GEI del sector industrial representado por el asistente, o bien del sector productivo en que el asistente tenga mayor conocimiento. Para esto, se solicitó dibujar en la ficha personal un diagrama de flujo del proceso productivo, resaltando la etapa más intensiva.
- **Ficha 2:** Identificar las opciones tecnológicas que permitan reducir el consumo de energía eléctrica, consumo de combustibles fósiles y/o las emisiones de GEI (opciones de mitigación), en la etapa más intensiva del proceso productivo representado por el asistente, o bien del sector productivo en que el asistente tenga mayor conocimiento. Se solicitó además agrupar estas opciones en:
 - i. Opciones de mitigación actualmente utilizadas en Chile.
 - ii. Opciones de mitigación actualmente utilizadas a nivel mundial, con aún baja (o nula) utilización en Chile.
 - iii. Opciones de mitigación en etapas de investigación y desarrollo en Chile u otros países, aún sin alcanzar fase comercial.
- **Ficha 3:** Identificar el conocimiento más relevante sobre las opciones de mitigación identificadas en la ficha previa. Para esto, se solicitó especificar:
 - i. Las palabras o conceptos claves para describir las opciones de mitigación señaladas.
 - ii. Describir quién(es) posee(n) el conocimiento señalado (ej. centro de investigación, proveedor, agencia de gobierno, etc.).
 - iii. Describir cuáles son los conocimientos más relevantes para utilizar las opciones de mitigación señaladas (ej. la técnica que permite el desarrollo e implementación de la opción de mitigación).

Figura 10: Etapas para la identificación de fuentes de información.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

5. Reflexión sobre los sectores priorizados en el riesgo de una transición baja en carbono.

Uno de los desafíos más relevantes originados por el fenómeno del cambio climático que enfrentará la economía chilena, se relaciona con los efectos de una transición hacia un crecimiento bajo en carbono. Ésta verá alterada sus dinámicas de competitividad frente a la implementación de nuevas regulaciones ambientales³⁰ que permitan alcanzar los compromisos declarados por Chile en el Acuerdo de París, y frente a las preferencias de los consumidores más sensibles a esta problemática. Debido a esto, los sectores industriales de Chile deberán migrar en forma progresiva hacia el uso de tecnologías y procesos limpios, sin ver comprometida su competitividad.

La participación en los diferentes IPCs y la migración hacia tecnologías y procesos limpios, implica la realización de nuevas inversiones, adaptaciones y en muchos casos cambios estructurales por parte del sector privado, que pueden significar riesgos críticos a la competitividad de ciertos sectores si no existe una política coherente por parte del gobierno que acompañe esta transición baja en carbono.

Los sectores industriales priorizados (cemento, refinería de combustibles y la industria de metales básicos) son particularmente vulnerables a estos riesgos, lo que se torna crítico para su competitividad en el largo plazo, ya que tienen una alta exposición al comercio internacional y una alta intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)³¹, respecto al valor de su producto. Por lo tanto, cualquier regulación que implique un precio al carbono, podría afectar la sustentabilidad de estas industrias³² y abrir el mercado a competidores internacionales que podrían estar desahucados a este tipo de gravámenes.

Estas industrias, expuestas a los riesgos de una transición baja en carbono, proveen commodities funcionales a muchos otros sectores aguas-abajo, están concentradas en pocos actores y tienen un fuerte incentivo a reducir sus costos operacionales para aumentar sus márgenes. En coherencia con esto último, las empresas de estos sectores industriales son proactivas en la vigilancia de nuevas opciones tecnológicas para reducir su consumo

³⁰ Como los instrumentos de precio al carbono (IPCs).

³¹ Según el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), el año 2013 la industria de la siderurgia y el hierro reportó emisiones directas por 1.593 Gg de CO₂eq/año mientras que la industria del cemento reportó 2.402 Gg de CO₂eq/año.

³² Por ejemplo, en el caso de la industria del cemento, esto implicaría sustituir la producción local de clínker por su importación, de modo de concentrarse en los procesos de la molienda del clínker hacia adelante.

energético y mitigar sus GEI, y han apostado a invertir en cambios tecnológicos que los pongan al nivel del mundo desarrollado. Sin embargo, mantener el ritmo de descarbonización de estos sectores implica enfrentar significativas barreras regulatorias, financieras³³, y comerciales ante la competencia de proveedores extranjeros que podrían no internalizar el costo de sus emisiones de GEI.

Por ejemplo, la industria chilena del cemento reconoce la oportunidad de aumentar su contribución a la mitigación de GEI mediante una mayor sustitución de combustibles fósiles para el co-procesamiento³⁴. Sin embargo, esta medida enfrenta barreras normativas, tecnológicas e institucionales que dilatan y detienen la disposición de combustibles alternativos para los hornos cementeros. Debido a esto, se hace necesario un ambicioso marco normativo y de fomento para el co-procesamiento, que sea coherente con la política sanitaria y ambiental del país. Al mismo tiempo, la industria del cemento (como también otras industrias de commodities expuestas al riesgo de una transición baja en carbono³⁵), tiene un interés en acelerar la adopción de captura y secuestro de carbono (o CCS), pero estas son tecnologías aun en etapa pre-comercial, que requieren instrumentos de mitigación de riesgo financiero para su pilotaje y escalamiento en Chile [23]³⁶.

Por su parte, la industria chilena de los metales básicos (principalmente siderurgia) enfrenta una significativa competencia internacional, lo que la ha llevado a un contexto de precariedad financiera que ha debilitado su capacidad de adoptar nuevas opciones de mitigación de GEI. Los protagonistas de esta industria han realizado varios esfuerzos para minimizar la dependencia en combustibles externos al proceso³⁷, pero reconocen que cualquier esfuerzo incremental y significativo hacia el abatimiento de sus emisiones³⁸ (como también la afectación de un IPC), implica un riesgo adicional a la sustentabilidad de la industria. Además, bajo un contexto de tensión comercial en escalada entre China y Estados Unidos, el mercado nacional podría ser refugio para la sobre-oferta global de éste y otros commodities, lo que dificultaría aún más la transición hacia una economía baja en carbono para esta industria.

El desafío de una transición baja en carbono requiere de una institucionalidad coordinada y consciente de estos riesgos sectoriales, que habilite políticas domésticas (no arancelarias) coherentes con los acuerdos comerciales vigentes para potenciar la demanda por commodities con un atributo “verde”. Del mismo modo, un plan de descarbonización para la industria del cemento y de la siderurgia en Chile, requiere de detectar los modelos de comercialización, los instrumentos de fomento y los vehículos financieros que adelanten esta transferencia y la adopción de nuevas tecnologías limpias, bajas en carbono.

³³ Chile enfrenta un bajo crecimiento económico y menores ingresos tributarios, principalmente por el final del superciclo de los commodities y por la caída del precio de las materias primas, que afecta no sólo a Chile, sino también a otros países socios comerciales de la región. Durante 2016, el déficit fiscal fue del 2,65% del PIB del país [98].

³⁴ El objetivo sería subir la tasa de sustitución del 5% (reemplazo promedio) al 85%, considerando recursos como lodos de plantas de tratamiento de aguas servidas y biomasa.

³⁵ Como la refinería de petróleo, la industria del vidrio y la industria de la siderurgia.

³⁶ Otras categorías de medidas son la eficiencia energética, sustitución de clinker y uso de cementos bajo en carbono [27], [99], [100].

³⁷ Mediante la sustitución de combustibles externos por gas coque y gas de alto horno.

³⁸ Mediante la transformación a horno de arco eléctrico con mayor uso de chatarra como insumo, sustitución del gas coque, turbinas de recuperación de alta presión y sistemas de captura y almacenamiento de carbono (CCS) [41].

6. Sistematización, análisis y diagnóstico de las fuentes de información.

A continuación, se realiza una sistematización, análisis y diagnóstico de las fuentes de información sobre las tecnologías de abatimiento de emisiones que se utilizan tanto en Chile como a nivel mundial, y aquellas nuevas y/o mejoradas tecnologías que estarán disponibles a futuro en el mercado para los sectores priorizados en el contexto del riesgo a su competitividad ante la implementación progresiva de IPCs en Chile³⁹.

El primer reporte de identificación de necesidades tecnológicas para el cambio climático (o TNA⁴⁰) formalmente entregado por Chile a la Convención Marco de Cambio Climático (o UNFCCC), fue llevado a cabo el 2003⁴¹. Seis años después, el segundo proceso amplio de necesidades tecnológicas para abordar el cambio climático fue documentado en el estudio de 2009 “Estrategia y Potenciales de Transferencia Tecnológica para el Cambio Climático” [5]. Sin embargo, ninguna de estas dos fuentes abordó en forma particular a la industria del cemento o a la industria de la siderurgia.

De acuerdo a la Figura 11, el proceso de análisis de cada sector implica considerar un mínimo de categorías de opciones de mitigación, que a su vez pueden estar compuestas por múltiples desafíos tecnológicos que permitan abordar la categoría en mayor o menor grado. Para cada sector, el análisis de dichas categorías y sus respectivos desafíos tecnológicos fue abordado a través de la consulta de fuentes secundarias y la interacción con fuentes primarias representantes de cada sector. Las categorías se describen a continuación.

- i. Eficiencia energética.
 - Aumentar la eficiencia de la combustión relacionada a producción.
 - Reducir el consumo energético por unidad de producto (incluyendo como opción a la electrificación).
- ii. Sustituir fuentes de generación de energía.
- iii. Modificar procesos⁴² y/o sustituir insumos en la cadena productiva.
- iv. Capturar, utilizar y almacenar una fracción del carbono (GEI) emitido durante la producción.

El proceso de implementación de opciones de mitigación debe considerar, al menos, dos factores exógenos adicionales al proceso de producción. En primer lugar, la existencia de drivers de demanda para los productos o servicios del sector analizado (por ejemplo, las preferencias de los consumidores en toda la cadena de distribución, progresivamente más informados respecto a consideraciones medio ambientales). En segundo lugar, las barreras institucionales, económicas, regulatorias o de conocimiento para la mitigación de emisiones de GEI, que pudieran obstaculizar la implementación de proyectos para cada categoría de cada sector.

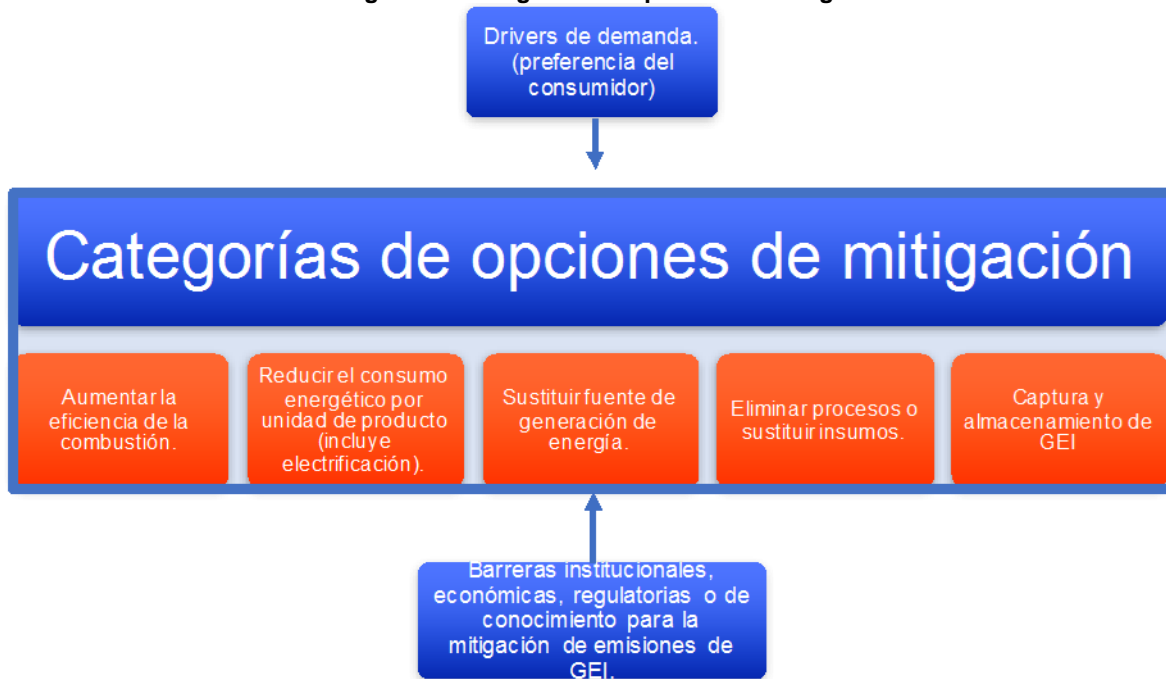
³⁹ La presente sección también incluye una descripción de la información disponible y pendiente para la realización de un estudio de brechas completo.

⁴⁰ Technology Needs Assessment, por su sigla en inglés.

⁴¹ Dicho informe puede ser encontrado bajo el siguiente vínculo: http://unfccc.int/ttclear/misc/_StaticFiles/gnwoerk_static/TNR_CRE/e9067c6e3b97459989b2196f12155ad5/e787bc73c235439dab02e1fd431e0352.pdf [101]

⁴² Incluye la eliminación de procesos.

Figura 11: Categorías de opciones de mitigación.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Para analizar cada sector, se realizó en primer lugar una investigación profunda respecto a su cadena productiva, comprendiendo los procesos involucrados y en particular aquellos procesos que reportaban una mayor intensidad de emisiones directas e indirectas, basado en fuentes de información como [18], [13] y [22]. Una vez identificados los procesos de mayor intensidad, se realizó una revisión de fuentes secundarias específica para opciones de mitigación en cada uno de estos procesos. Posteriormente, esta información fue contrastada con reuniones con los sectores involucrados:

- Sector cementos: Se sostuvieron dos reuniones presenciales con representantes del Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (ICH), Cementos Biobío, Cementos Polpaico y Cementos Melón, además de consultas por correo electrónico y teléfono.
- Sector refinera de combustibles: Se sostuvieron dos reuniones presenciales con representantes de ENAP, además de consultas por correo electrónico y teléfono.
- Sector siderurgia: Se sostuvo una reunión presencial con representantes de CAP, además de consultas por correo electrónico y teléfono.

El levantamiento de información descrito permitió detectar y priorizar tanto categorías de opciones de mitigación, como desafíos tecnológicos de mayor relevancia para cada uno de los sectores abordados. Esta priorización tiene que ver principalmente con la necesidad de los sectores de disminuir sus costos operacionales frente a su competencia, con reforzar esfuerzos de mitigación de GEI actualmente en curso y con oportunidades y desafíos específicos que consideran las barreras regulatorias e institucionales actualmente impuestas en Chile.

A continuación se detalla el levantamiento de información para cada sector.

6.1. Sector cementos.

El sector del cemento comprende el 7% del uso de energía industrial a nivel mundial, y es el tercer consumidor más grande de energía a nivel industrial. Aunque el cemento es más bajo en

emisiones de CO₂ que otros materiales de construcción, tiene un mayor impacto debido a su uso ubicuo y al ser un material de bajo costo. Para el sector cementos, las emisiones de GEI⁴³ se distribuyen de la siguiente forma [24]:

A. Emisiones directas, procesos con mayor intensidad:

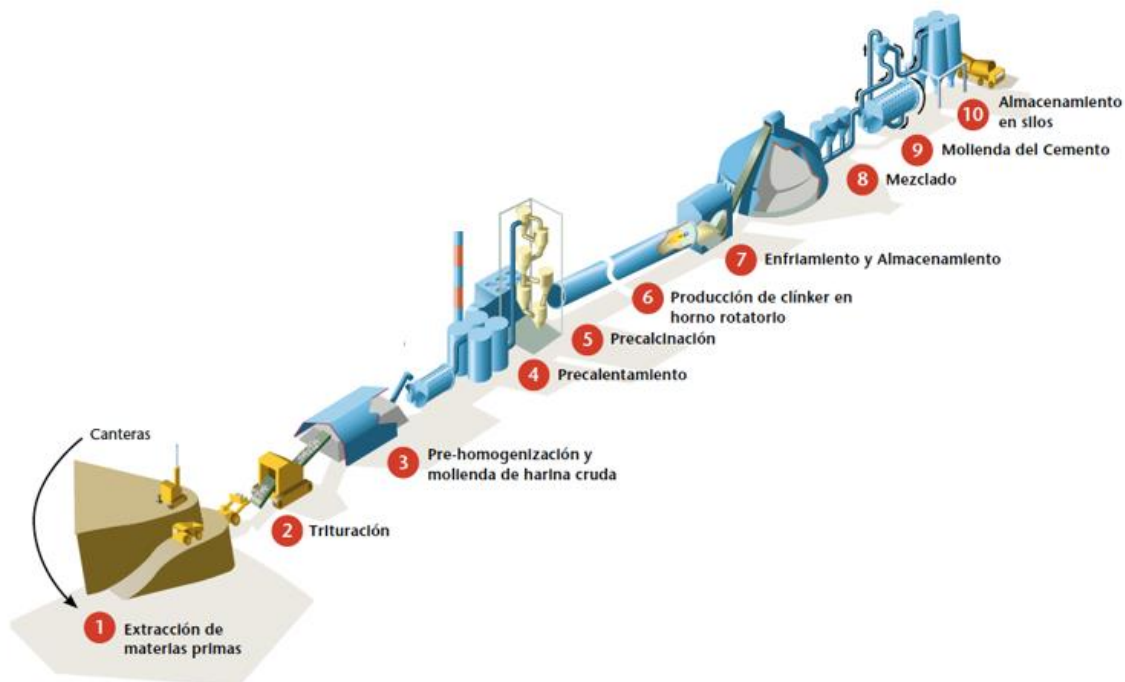
- Calcinación⁴⁴ y descomposición química de la piedra caliza (2.402 Gg/año [18]): Equivalente a entre un 60 y un 65% de las emisiones totales. Parte de la reacción que ocurre en este proceso sucede en el precalcinador, una cámara de combustión ubicada en la parte inferior del precalentador encima del horno, y parte en el horno.
- Combustión de coque en hornos para la producción de clínker: aproximadamente un 25% de las emisiones totales.

B. Emisiones indirectas, producto de la energía eléctrica utilizada principalmente en el proceso de molienda: entre un 5 y un 10%.

El óxido de calcio (CaO, o cal viva) se forma durante el proceso de calcinación, al calentar la piedra caliza para descomponer los carbonatos. Dicho proceso se hace generalmente en hornos de caña u hornos rotatorios a altas temperaturas, liberándose CO₂.

De acuerdo a la distribución descrita, el foco del presente análisis se centrará en el proceso de precalcinación y descomposición química de la caliza y en el horno rotatorio (número 5 y 6 de la Figura 12, respectivamente).

Figura 12: Proceso de producción de cemento.



Fuente: [25].

⁴³ En particular, para este sector, las emisiones de GEI tienen una dependencia directa con el nivel de importación de clínker: mientras mayor el nivel de importación, menor el nivel de emisiones directas de GEI para este sector.

⁴⁴ La calcinación corresponde a la descomposición de la piedra caliza en cal.

La agenda de cambio climático para la industria del cemento chileno está liderada por el Comité de Sustentabilidad del Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (ICH), donde están representadas las principales empresas del rubro⁴⁵. Esta agenda está alineada con la Hoja de Ruta de CO₂ de la Federación Iberoamericana del Cemento (FICEM)⁴⁶, y busca tener por resultado una estrategia de reducción de emisiones para la industria del cemento chileno⁴⁷.

El trabajo del Comité para el desarrollo de la agenda implica la revisión de la tecnología disponible, respecto al estado del arte que podría ayudar en la reducción de emisiones al sector, y utiliza como una de sus principales referencias las directrices desarrolladas por la CSI (Cement Sustainability Initiative, por su sigla en inglés)⁴⁸. De acuerdo a sus miembros, es fundamental la existencia de una contraparte en el sector público⁴⁹ que contribuya a la sustentabilidad de la implementación en Chile de la Hoja de Ruta de CO₂ de FICEM, para que los esfuerzos realizados en la confección de esta agenda puedan implementarse de manera efectiva.

Actualmente, en nuestro país la industria del cemento está sometida a evaluar la conveniencia entre producir o importar clínker. Por ejemplo, según fuentes de la ICH, actualmente las plantas en funcionamiento de Talcahuano concentran esfuerzos en entregar valor agregado al proceso de molienda de cemento (número 9 de Figura 12), dejando fuera de uso dos hornos para la producción de clínker. Como se verá más adelante, la sustitución de cemento en Chile (y el mundo) aún no cuenta con un mercado desarrollado.

⁴⁵ Dentro de los fundadores de la ICH se encuentran Cementos Melón y Cementos Biobío, además de la Cámara Chilena de la Construcción. El Comité de Sustentabilidad de la ICH incluye también a Cemento Polpaico, empresa productora de clínker, y su objetivo es alinear la estrategia de la hoja de ruta para la industria ante el cambio climático, específicamente en lo que respecta al reporte de emisiones y al desarrollo de estrategias para la reducción de emisiones.

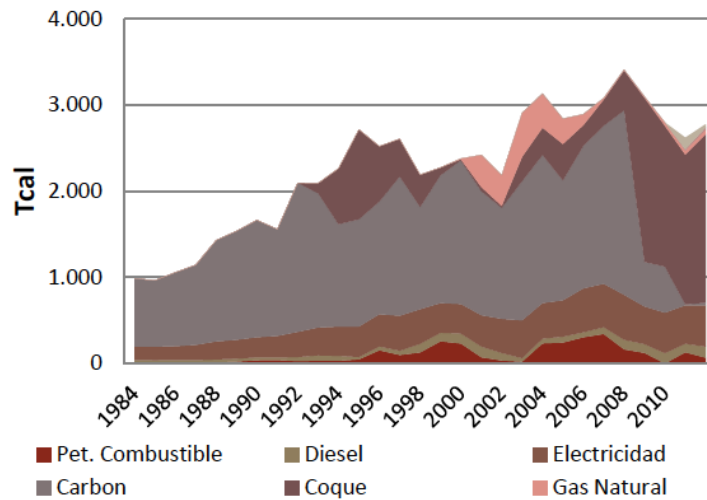
⁴⁶ Más información sobre la Hoja de Ruta en <http://www.hojaderutaficem.org> [102]. Las herramientas de dicha hoja de ruta proveen análisis de los escenarios presentes y futuros de las emisiones de GEI en el ciclo de vida del cemento en Latinoamérica.

⁴⁷ Esta estrategia incluirá una estimación del potencial de mitigación y un sistema de monitoreo, reporte y verificación (MRV).

⁴⁸ <https://www.wbcsd.org/Projects/Cement-Sustainability-Initiative>

⁴⁹ A través, por ejemplo, de un trabajo coordinado con la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) y del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC).

Figura 13: Consumo de combustibles 1984-2012 de la Industria del Cemento (Teracal).



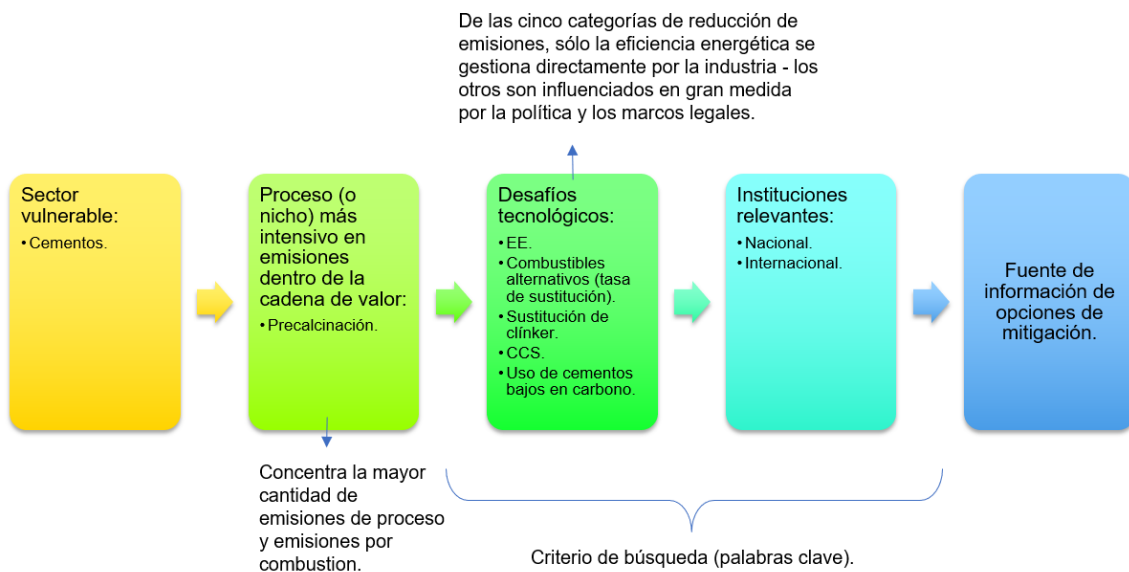
Fuente: [22].

6.1.1. Análisis de la información disponible y faltante para la realización de un estudio de brechas y necesidades tecnológicas.

6.1.1.1. Análisis de la información disponible.

Como se describió anteriormente, cada sector fue analizado realizando una investigación profunda sobre su cadena de producción, poniendo énfasis en la identificación de los procesos con mayor intensidad de emisiones directas e indirectas, consultando fuentes secundarias y primarias. Esta investigación da origen a una familia de desafíos tecnológicos, agrupables según las categorías descritas previamente, lo que a su vez permite ampliar las fuentes nacionales e internacionales de instituciones relevantes con información relativa a los desafíos relevados, construyendo así un repositorio de fuentes de información para las opciones de mitigación de un sector determinado. Este proceso se aprecia en la Figura 14.

Figura 14: Proceso para la identificación de desafíos tecnológicos del sector cementos.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

i. Eficiencia energética:

De acuerdo a fuentes de ICH respecto a la implementación de medidas de eficiencia energética, la industria chilena está bastante avanzada, pues a la fecha 4 hornos tienen instalados precalcinadores de 4 o 5 etapas, y prácticamente no existe la vía húmeda, salvo en la empresa Polpaico, que realiza un proceso semi-húmedo concentrando su caliza.

En nuestro país las empresas de este sector ya han realizado inversiones para aumentar la eficiencia de los quemadores y de la combustión. El consumo energético específico de los hornos está a la par de los más eficientes del mundo. Por tanto, en opinión de los representantes de ICH, tratar de mejorar aún más la eficiencia de los hornos puede ser muy poco costo efectivo. De forma similar, el aprovechamiento de calor para recirculación y secado de materias primas es algo ya implementado.

Tabla 4: Fuentes de información para identificar opciones de mitigación categoría eficiencia energética, sector cementos.

Benchmark Chile	Benchmark Mundial	I+D o etapa pre-competitiva
ICH (reuniones y datos de fuentes primarias de la industria) [26]: <ul style="list-style-type: none"> - 4 hornos instalados en Chile con precalcinadores de 4 etapas. - Prácticamente no existe la vía húmeda. - Inversiones en eficiencia de los quemadores y de la combustión, a la par de los actores más eficientes del mundo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tecnología de mejora de proceso de horno [27] [28] [29] [24] [30]. - Mejoras en la eficiencia eléctrica de los hornos [27]. - Aprovechamiento eléctrico del calor residual [27] [28] [29] [30] [31]. - Insumos alternativos (calcined) [27] [24] [30] [31]. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nuevas tecnologías de eficiencia energética y reducción de las emisiones de CO₂ [32].

Fuente: Elaboración propia, 2018.

ii. Sustitución de fuentes de generación de energía:

Es en el co-procesamiento (o uso de combustibles alternativos) donde se ven más oportunidades de mitigación actualmente para el sector cementos. De acuerdo a fuentes del ICH, el objetivo de la industria sería subir la tasa de sustitución del 5% (reemplazo promedio) al 85%, considerando que los hornos instalados ya tienen capacidad para co-procesar y que por lo tanto, en opinión del sector, no existirían necesidades tecnológicas puntuales para implementar estas medidas.

Uno de los referentes nacionales destacables es el co-procesamiento de aceites en la planta de Cementos Biobío en Antofagasta (alcanza 40% de reemplazo). Además de esta referencia, otras opciones de combustibles alternativos que evalúa la industria son lodos de plantas de tratamiento de aguas servidas y biomasa en general. En particular, el co-procesamiento sería relativamente fácil de escalar, ya que existen fuentes de información nacionales para las declaraciones de residuos por destino final y empresa⁵⁰. Se destaca que esta solución permitiría evitar emisiones por la descomposición de los residuos orgánicos.

⁵⁰ De acuerdo a fuentes del ICH, el sector cementos posee experiencia en este sentido, ya que ha debido realizar registros de co-procesamiento utilizando las herramientas que provee el Sistema Nacional de Declaración de Residuos (SINADER) y el Sistema de Declaración y Seguimiento de Residuos Peligrosos (SIDREP) del Ministerio de

Tabla 5: Fuentes de información para identificar opciones de mitigación categoría combustibles alternativos, sector cementos.

Benchmark Chile	Benchmark Mundial	I+D o etapa pre-competitiva
<ul style="list-style-type: none"> - Caracterización de tipo y % del co-procesamiento, con el objetivo de subir tasa de sustitución [33]. ICH (reuniones y datos de fuentes primarias de la industria [26]): <ul style="list-style-type: none"> - Cementos Biobío en Antofagasta alcanza 40% de reemplazo. - Coincineración de residuos, biomasa, lodos de PTAS. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumentar el uso de combustibles alternativos [34]. - UK alcanza 18% de reemplazo residuos de biomasa, 22% de reemplazo con otros residuos [27]. ICH (reuniones y datos de fuentes primarias de la industria): <ul style="list-style-type: none"> - Plantas en Europa alcanzan 85% de reemplazo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Otros combustibles alternativos [35].

Fuente: Elaboración propia, 2018.

iii. Modificación de procesos y/o sustitución de insumos:

De acuerdo a fuentes del ICH, la utilización de escoria y cenizas volantes para la sustitución de una fracción del clínker tiene un gran potencial para la reducción de emisiones de CO₂, subsanadas algunas limitaciones regulatorias. Actualmente se utilizaría escoria de siderurgia para la producción de cemento puzolana.

Este es un desafío tecnológico bastante consolidado, por lo que no se identifican opciones en etapa pre-competitiva o de I+D relevantes.

A nivel mundial, las nuevas tecnologías para la fabricación de cementos bajos en carbono (cementos no-Portland) están aún inmaduras. Sin embargo, la multiplicidad y gran variedad de iniciativas actuales, considerando diversas técnicas y procesos para esta tendencia, permite proyectar un nivel pre-comercial en el corto plazo.

Tabla 6: Fuentes de información para identificar opciones de mitigación categoría modificación de procesos y/o sustitución de insumos, sector cementos.

Benchmark Chile	Benchmark Mundial	I+D o etapa pre-competitiva
ICH (reuniones y datos de fuentes primarias de la industria [26]): <ul style="list-style-type: none"> - Sustitutos del clínker como la escoria y las cenizas volantes reducen las emisiones de CO₂ en el proceso de producción de clínker. Utilización de escoria de siderurgia para 	<ul style="list-style-type: none"> - Materiales puzolánicos naturales [27][31]. - Rellenos tales como piedra caliza [27] [31]. - Sustitutos para fuentes de cal [38]. ICH (reuniones y datos de fuentes primarias de la industria):	<ul style="list-style-type: none"> - Calera process [39]. - LC3 [40]. - Cementos alcalinos, incluyendo cementos geopolímeros (Zeobond/e-crete, Blue World [27]. - Crete/Geo-Blue Crete, banah/banahCEM) [27]. - Cementos de bajo

Medio Ambiente, para facilitar el proceso de implementación de la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (Ley REP).

<p>producir cemento puzolana (complemento [27], [31], [36], [37]).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Planta de Talcahuano utiliza escoria siderúrgica 	<ul style="list-style-type: none"> - Hoja de Ruta europea 2030: reemplazo del 30%. 	<p>consumo energético CSA-belita (Aether) [27].</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cementos a base de óxido de magnesio derivado de carbonatos o de silicatos (Eco-cement, Calix/Novacem) [27]. - Cementos termoplásticos a base de carbono (C-Fix) [27]. - Alternativas a la piedra caliza: belita, silicato de calcio hidráulico y óxido de magnesio, así como cemento usando carbonatación en lugar de hidratación [38].
---	---	--

Fuente: Elaboración propia, 2018.

iv. Captura, utilización y almacenamiento de GEI:

La industria cementera nacional está focalizando sus esfuerzos en el estudio del uso del carbono, haciendo una transición hacia la tendencia CCUS por sobre CCS (Carbon Capture, Utilization and Storage y Carbon Capture and Storage, respectivamente, por sus siglas en inglés).

De acuerdo a la CSI y la IEA (Cement Sustainable Initiative e International Energy Agency, respectivamente, por sus siglas en inglés), la captura, utilización y almacenamiento de CO₂ se está considerando progresivamente en etapa pre-comercial y de I+D, proyectando su etapa comercial para el año 2030. De acuerdo al ICH, en Chile, como en el resto del mundo, la aceleración en el desarrollo de este desafío tecnológico dependerá directamente del establecimiento de cambios regulatorios y normativos que permitan generar incentivos para una mayor captura de CO₂.

Según fuentes del ICH, el uso de CO₂ tiene un potencial interesante para aplicaciones en la construcción (a partir de áridos que pueden producirse desde la captura natural de CO₂ que se lleva a cabo en el concreto) y en la industria de bebidas gaseosas. Dentro de las nuevas tecnologías disponibles para abordar este desafío a futuro, el foco de la industria está puesto hoy en la oxi-combustión, como la tecnología que podría ser más costo-efectiva en el largo plazo.

Tabla 7: Fuentes de información para identificar opciones de mitigación categoría captura, utilización y almacenamiento de GEI, sector cementos.

Benchmark Chile	Benchmark Mundial	I+D o etapa pre-competitiva
N/A.	<ul style="list-style-type: none"> - Tecnología de enriquecimiento de oxígeno, fase comercial [30]. 	<ul style="list-style-type: none"> - CCS y CCUS [24], [30], [31], [41], [42], [43]. - Leilac (I+D de la EU) [44]. - Heidelberg Cement [45] [36]. - Proceso de loop de calico para la captura de CO₂ [46]. - Carbon Cure: Tecnología de reacondicionamiento

		<p>que secuestra químicamente CO₂ residual [47].</p> <ul style="list-style-type: none"> - Solidia Technologies [48]. - Bio-technological carbon capture [49]. - Captura de carbono posterior a la combustión utilizando tecnologías de absorción [50]. - Calera process [39]. - Tecnología de enriquecimiento de oxígeno, fase I+D [27]. <p>ICH (reuniones y datos de fuentes primarias de la industria):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Oxi-combustión, realización de pilotos [51].
--	--	--

Fuente: Elaboración propia, 2018.

6.1.1.2. Análisis de las barreras que se desprenden a partir de la información disponible:

- Tramitación excesiva: la implementación de mejoras tecnológicas por lo general deben pasar por un proceso de consultas de pertinencia, o derechamente ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), por ejemplo, la instalación de sistemas para aumentar la eficiencia de los hornos, la instalación de filtros o de sistemas para las moliendas.
- Barrera económica: hace inviable implementar proyectos de generación de energía eléctrica a partir de calor residual. Alternativamente, se utiliza petróleo para los procesos que involucran secado.
- Barreras normativas: en el caso de la utilización de desechos como combustible alternativo, la industria impulsó en 2012 la norma de co-procesamiento, ya que estos proyectos involucran largos procesos de tramitación ambiental, sumado al hecho de las restricciones impuestas por la Autoridad Sanitaria [26] para el tratamiento de residuos. Existe hoy una necesidad de privilegiar el co-procesamiento por sobre la incineración o disposición de residuos en rellenos sanitarios. Por un lado, se tiene esperanza en que la Ley REP ayudará a acelerar estos procesos, pero al mismo tiempo se teme en el corto plazo tener que competir con la gestión de residuos (resoluciones sanitarias, aumentando los costos) para tener biomasa a disposición⁵¹, al punto de preferir la compra de carbón y petcoke. En particular existe potencial en la industria de reciclaje de neumáticos. Este tipo de barreras también existen para la reducción del ratio clínker contra cemento.

⁵¹ En términos prácticos, las plantas ubicadas en Teno y Talcahuano serían las únicas que podrían aprovechar biomasa para el co-procesamiento, por temas de logística.

- Brechas de conocimiento: complementarias a las anteriores barreras normativas, las barreras de carácter cultural generarían resistencias infundadas para la implementación de proyectos, hecho que sucede en particular para el co-procesamiento, debido a la utilización de combustibles alternativos como residuos y biomasa. Se hace necesario generar una estrategia para el intercambio de mejores prácticas a nivel internacional, transferencia de conocimiento, entrenamiento de autoridades y sensibilización del público.
- Falta de coordinación intersectorial: en la sustitución del clínker, de acuerdo a fuentes del ICH, el 4% actual que se alcanza a través del uso de ceniza podría fácilmente llegar a un 30%. En el sector cementos existe plena disposición para implementar este tipo de proyectos, pero el lavado de gases que por ejemplo realizan las termoeléctricas empeora la calidad de la ceniza, añadiéndole yeso e imposibilitando así uso para sustituir clínker. Si hubiera una mayor coordinación, comentan en ICH, existiría incluso la posibilidad de importar cenizas como commodity en lugar de residuo.
- Alto costo versus incerteza tecnológica: principal barrera para la captura, utilización y almacenamiento de carbono. Es necesario generar una estrategia de pilotos demostrativos y aumentar la cooperación internacional para el desarrollo de esta tecnología.

6.1.1.3. Análisis de información faltante.

- Trabajo de campo: es necesario realizar un análisis profundo del sector y sus actores, precisando con visitas a terreno la información entregada por fuentes primarias y que no esté disponible en fuentes secundarias oficiales, así como la cantidad de equipos totales (por ejemplo, hornos) a nivel de sector, incluyendo sus características principales (por ejemplo, cantidad de etapas de los precalcinadores).
- Integración de medidas de mitigación de GEI: en el caso del co-procesamiento, es necesario dimensionar las emisiones de metano que se podrían evitar al utilizar residuos orgánicos como combustible⁵², ante el posible beneficio de un trabajo colaborativo entre sectores.
- Es necesario realizar una hoja de ruta para la descarbonización del sector que aborde la adopción de tecnologías limpias en forma estratégica, considerando la contribución del sector a los compromisos adquiridos por Chile para la reducción de GEI, por ejemplo a través del uso de herramientas como los Science Based Targets⁵³. Esta hoja de ruta debe contener una estimación de los costos involucrados para la estrategia, así como los tiempos asociados a su implementación. En particular, la trayectoria de descarbonización y benchmark que propone [24] y [52] no apuntan a la realidad particular de Chile, por lo cual se hace necesario definir un benchmark propio para el país.
- Si bien existe información disponible relativa a los costos para las opciones tecnológicas (por ejemplo en [27] y en [53], entre otros), se sugiere desarrollar un análisis especial para el contexto local, que incluya las condiciones habilitantes para la implementación de transferencias y adopción local.
- Información sobre proveedores y costos de sus tecnologías instaladas y operando en Chile, incluyendo su potencial de mitigación y los indicadores de proceso más

⁵² De acuerdo a fuentes de ICH, a la fecha no han podido determinar la reducción potencial de emisiones de metano.

⁵³ <http://sciencebasedtargets.org/>

relevantes para determinar la línea base de emisiones (por ejemplo, el ratio de clínker por unidad de cemento).

6.2. Sector siderurgia.

El segundo sector identificado en riesgo a una transición baja en carbono corresponde a la “Industria de metales básicos”, grupo que incorpora a las “Industrias básicas de hierro y acero” y a las “Industrias básicas de metales no ferrosos”, de acuerdo al INGEI. Sin embargo, sólo la categoría de “Industrias básicas de hierro y acero” está catastrada por el INGEI (1.593,5 Gg/año)⁵⁴, dentro de la cual destaca significativamente el sector siderurgia que utiliza al mineral de hierro como insumo.

En términos genéricos, actualmente la producción de acero se aborda a través del “proceso integrado”, que incluye la utilización de un horno de oxígeno básico (BOF, basic oxygen furnace, por su sigla en inglés) y el procesamiento previo de insumos en un horno alto (ó blast furnace); y/o a través de un horno de arco eléctrico (EAF, electric arc furnace, por su sigla en inglés), que puede trabajar en forma independiente.

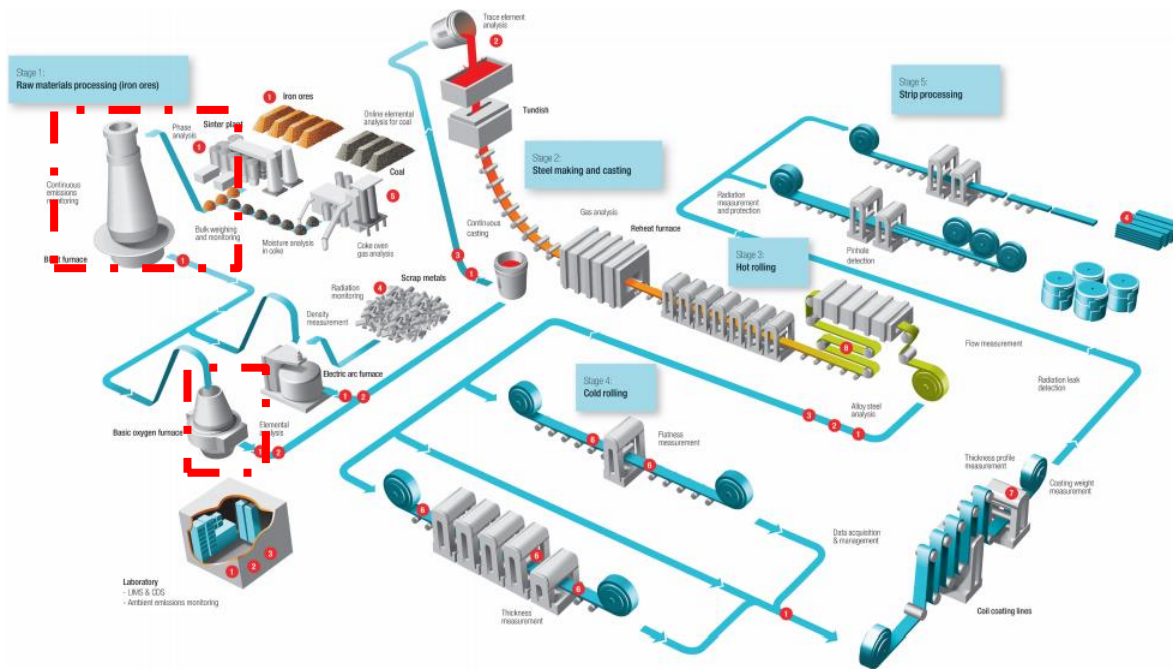
De acuerdo a [54], las emisiones de GEI para este sector siguen la siguiente distribución, dependiendo del proceso:

- i. Proceso integrado (utilizando BOF, horno con emisiones promedio de 2,3 tCO₂/ton acero):
 - Emisiones directas⁵⁵:
 - Altos hornos: 43%.
 - Otros procesos: 15%.
 - Combustión: 30% (2,8 tCO₂/ton acero).
 - Emisiones indirectas: 12%.
- ii. Proceso con EAF (horno con emisiones promedio de 0,3 tCO₂/ton acero):
 - Emisiones directas:
 - EAF: 10%.
 - Combustión: 40% (0,6 tCO₂/ton acero).
 - Emisiones indirectas (EAF y trenes de laminación): 50%.

⁵⁴ Esto corresponde a las categorías de INGEI “1.A.2.a. Hierro y acero”, equivalente a 9,2 Gg/año, y “2.C. Emisiones de proceso de la Industria de los metales”, equivalente a 1.584,3 Gg/año (este último emisiones de proceso de hierro y acero). Se debe tener en cuenta que las emisiones reportadas en INGEI son altamente sensibles a la cantidad de industrias que reportan cada año, además de los procesos involucrados en la producción. A modo de ejemplo, la categoría “1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción” ha registrado variaciones considerables en diferentes años de medición (por ejemplo, en 2011 el total de emisiones registradas fue de 1.635 Gg/año, mientras que el año 2012 alcanzó sólo 457,2 Gg/año) [18].

⁵⁵ No se incluyen plantas de coque.

Figura 15: Proceso de producción de acero.



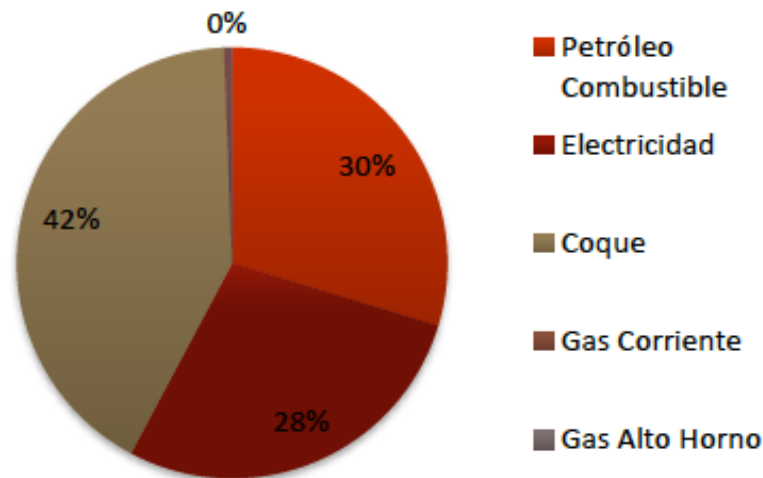
Fuente: [55].

De acuerdo a la información recabada [56], [57], la industria nacional de la siderurgia es heterogénea, existiendo poco involucramiento de trabajo gremial desde las grandes empresas (como CAP y Gerdau Aza). En términos prácticos, el sector se divide en las empresas que tienen fundiciones de chatarra como insumo (y por ende mucho más electrificado su proceso), versus la única siderurgia integrada que existe en Chile (CAP Huachipato), cuyo proceso de producción es mucho más intensivo en emisiones, debido a la planta de coque y a la reducción del mineral de hierro para transformarlo en arrabio. Además, deben considerarse las emisiones de la refinación del arrabio (incluyendo las emisiones de la planta de cal y las del horno de oxígeno básico)⁵⁶. El segmento PYME de esta industria, dispone de una mayor proporción de hornos electrificados, por tanto el foco de análisis estará en CAP Huachipato.

Respecto a la intensidad de emisiones del sector, la siderurgia concentrada en Huachipato (del Grupo CAP) es la principal emisora, debido al uso de combustible coque en sus altos hornos (ver Figura 16). La gran mayoría de las empresas restantes del sector utilizan chatarra como insumo, y se encuentran en un proceso de electrificación progresiva de su suministro. En este sentido, Gerdau Aza es el referente más importante a nivel nacional, al basar su producción en hornos de arco eléctrico con tecnología de última generación.

⁵⁶ Se pueden ver diagramas para el proceso integrado y el proceso con chatarra como insumo en las páginas 41 y 43 de [103].

Figura 16: Distribución del consumo de combustibles 2012 de la industria siderúrgica (Teracalorías).

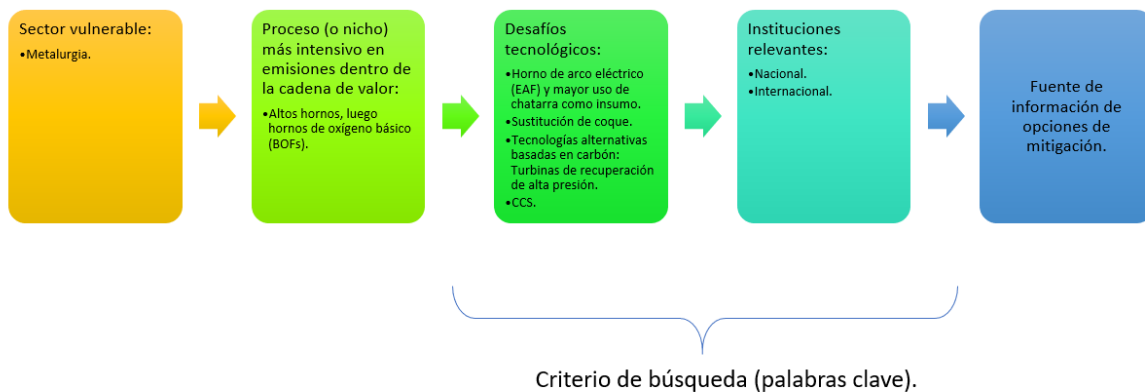


Fuente: [22].

6.2.1. Análisis de la información disponible y faltante para la realización de un estudio de brechas (técnicas, institucionales y regulatorias) y necesidades tecnológicas.

6.2.1.1. Análisis de la información disponible.

Figura 17: Proceso para la identificación de desafíos tecnológicos del sector siderurgia.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

i. Eficiencia energética:

De acuerdo a fuentes de CAP, en Huachipato se han implementado algunas medidas de eficiencia energética, como el cambio de luminarias por modelos de mayor eficiencia, una transición progresiva del suministro eléctrico hacia una generación basada en energías renovables no convencionales y la recuperación y aprovechamiento de gases de proceso. Sin embargo, al interior de esta empresa estas iniciativas no se asocian a un cambio transformacional y disruptivo para catalizar la mitigación de GEI, debido principalmente a las limitantes de capital que tiene esta industria en el país.

Tabla 8: Fuentes de información para identificar opciones de mitigación categoría eficiencia energética, sector siderurgia.

Benchmark Chile	Benchmark Mundial	I+D o etapa pre-competitiva
CAP (reuniones y datos de fuentes primarias de la industria [56], [57]): <ul style="list-style-type: none"> - Cambio de luminarias por modelos de mayor eficiencia. - Transición progresiva del suministro eléctrico hacia una generación basada en ERNC. - Recuperación y aprovechamiento de gases de proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora de la automatización y el control del proceso [41]. - Recuperación y reutilización del calor [58]. - Carga en caliente [41]. - Inyección de carbón pulverizado [59] [60]. - Optimización del sistema de aire comprimido [41]. - Optimización del horno de recalentamiento [41]. - Recuperación de calor residual en la sinterización [61]. - Recuperación de calor y gas de horno BOF [61]. - Quemadores regenerativos y recuperativos [41]. - Reciclaje de gases de combustión [62]. 	N/A.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

ii. Sustitución de fuentes de generación de energía:

Para benchmark de Chile, ver Punto 6.2.1.3.

Tabla 9: Fuentes de información para identificar opciones de mitigación categoría combustibles alternativos, sector siderurgia.

Benchmark Chile	Benchmark Mundial	I+D o etapa pre-competitiva
N/A.	<ul style="list-style-type: none"> - Biocarbón para producción de hierro y acero [63] [64]. 	N/A.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

iii. Modificación de procesos y/o sustitución de insumos:

De acuerdo a fuentes de CAP, en Huachipato ya se ha comenzado a experimentar con la mezcla de carbones de la planta de coque.

Por su parte, respecto al potencial en la modificación de procesos, Gerdau Aza es el líder referencial en Chile, al tener incorporada la tecnología de hornos de arco eléctrico en sus procesos.

Tabla 10: Fuentes de información para identificar opciones de mitigación categoría modificación de procesos y/o sustitución de insumos, sector siderurgia.

Benchmark Chile	Benchmark Mundial	I+D o etapa pre-competitiva
Horno de arco eléctrico y mayor uso de chatarra como insumo.		
<ul style="list-style-type: none"> - Gerdau Aza [65]. 	<ul style="list-style-type: none"> - Inyección de gas con agitación inferior [66] [67]. 	N/A.

	<ul style="list-style-type: none"> - Precalentamiento de carga [68]. - Quemadores de oxicomcombustible [41]. - Monitoreo y control de gases de combustión [69]. - Recuperación de calor residual [41]. - Horno de arco CONTIARC [41]. - Horno de arco de doble carcasa en corriente DC [41]. - Transformadores de ultra potencia [67]. - Horno de arco eléctrico en corriente DC [41]. - ECOARC [41]. - Mayor densificación y trituración de chatarra [41]. 	
Producción y sustitución de coque.		
N/A.	<ul style="list-style-type: none"> - Coke dry quenching [70]. - Control de la humedad del carbón [71]. - Uso adicional de gas de horno de coque [41]. - Coal stamp charging [41]. - Sistema de control de procesos y automatización [41]. - Hornos de coque de recuperación de calor [41]. 	N/A.
Sustitutos para fuentes de cal.		
	<ul style="list-style-type: none"> - Sustitutos para fuentes de cal (escoria de alto horno granulada) [38], [72]. 	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

v. Captura, utilización y almacenamiento de GEI:

A continuación, se desarrolla las opciones tecnológicas para la captura, uso y almacenamiento de GEI.

Tabla 11: Fuentes de información para identificar opciones de mitigación categoría captura, utilización y almacenamiento de GEI, sector siderurgia.

Benchmark Chile	Benchmark Mundial	I+D o etapa pre-competitiva
N/A.	<ul style="list-style-type: none"> - Primer proyecto comercial de CCS para acero en Abu Dhabi [73]. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reciclaje de gases de combustión con CCS [62]. - Desarrollo de BHP en CCS [74].

Fuente: Elaboración propia, 2018.

6.2.1.2. Análisis de las barreras que se desprenden a partir de la información disponible:

En términos generales, el sector de la siderurgia en Chile enfrenta las siguientes barreras para una incorporación progresiva de tecnologías limpias:

- Un contexto de competitividad internacional desafiante.
- Un margen acotado del negocio, lo que dificulta la disponibilidad de capital para inversiones relacionadas a la adopción de nuevas tecnologías de mitigación.
- Se percibe una ausencia de opciones tecnológicas viables para el corto plazo.
- La ausencia de un marco regulatorio que valore la trazabilidad ambiental del producto.
- En particular, el futuro de la industria siderúrgica en Chile es incierto⁵⁷, debido a la ausencia de definiciones claras sobre la competencia de los mercados chino y mexicano⁵⁸. En este contexto, se requieren políticas públicas coherentes.
- En general la infraestructura del sector está obsoleta, con actores que cuentan con hornos operando hace más de 40 años. Existe la necesidad de renovar infraestructura, pero los desafíos tecnológicos y económicos asociados representan inversiones complejas de abordar⁵⁹.
- Barreras arancelarias que obligan a otras industrias a importar acero para sus requerimientos (como la industria del cobre, por ejemplo), sin el marco regulatorio descrito anteriormente para su trazabilidad ambiental. En este contexto, un mayor involucramiento y un trabajo colaborativo con el Ministerio de Relaciones Exteriores y Cancillería (DIRECON) es esencial.

6.2.1.3. Análisis de la información faltante:

- Trabajo de campo: es necesario realizar un análisis profundo del sector y sus actores, precisando con visitas a terreno la información entregada por fuentes primarias y que no esté disponible en fuentes secundarias oficiales, así como la cantidad de equipos totales (por ejemplo, presencia de hornos de arco eléctrico, hornos de inducción, hornos de inducción al vacío y hornos Morgan a gas) a nivel de sector, incluyendo sus características principales.
- De forma similar, es necesario recopilar mayores antecedentes respecto al benchmark nacional para medidas relacionadas a la sustitución de fuentes de generación de energía y el potencial para la captura, utilización y almacenamiento de GEI.
- Es necesario realizar una hoja de ruta para la descarbonización del sector que aborde la adopción de tecnologías limpias en forma estratégica, considerando la contribución del sector a los compromisos adquiridos por Chile para la reducción de GEI, por ejemplo a través del uso de herramientas como los Science Based Targets⁶⁰. Esta hoja de ruta debe contener una estimación de los costos involucrados para la estrategia, así como

⁵⁷ Huachipato, por ejemplo, está focalizada actualmente sólo en la producción de barras. La compañía se ha mantenido en pie con un costo enorme para CAP, dada su importancia estratégica, pero arrastra pérdidas muy relevantes. La Gerencia de Innovación de la empresa fue recientemente creada, y actualmente analiza oportunidades en el ámbito de los aceros especiales, pero en un contexto de precariedad general.

⁵⁸ Por ejemplo, ASIMET ha presentado tres denuncias por dumping a la Comisión Nacional de Importaciones.

⁵⁹ De acuerdo a fuentes de la industria, entre US\$400k y US\$500k por iniciativa.

⁶⁰ <http://sciencebasedtargets.org/>

los tiempos asociados a su implementación. En particular, la trayectoria de descarbonización y benchmark que propone [75] no apunta a la realidad particular de Chile, por lo cual se hace necesario definir un benchmark propio para el país.

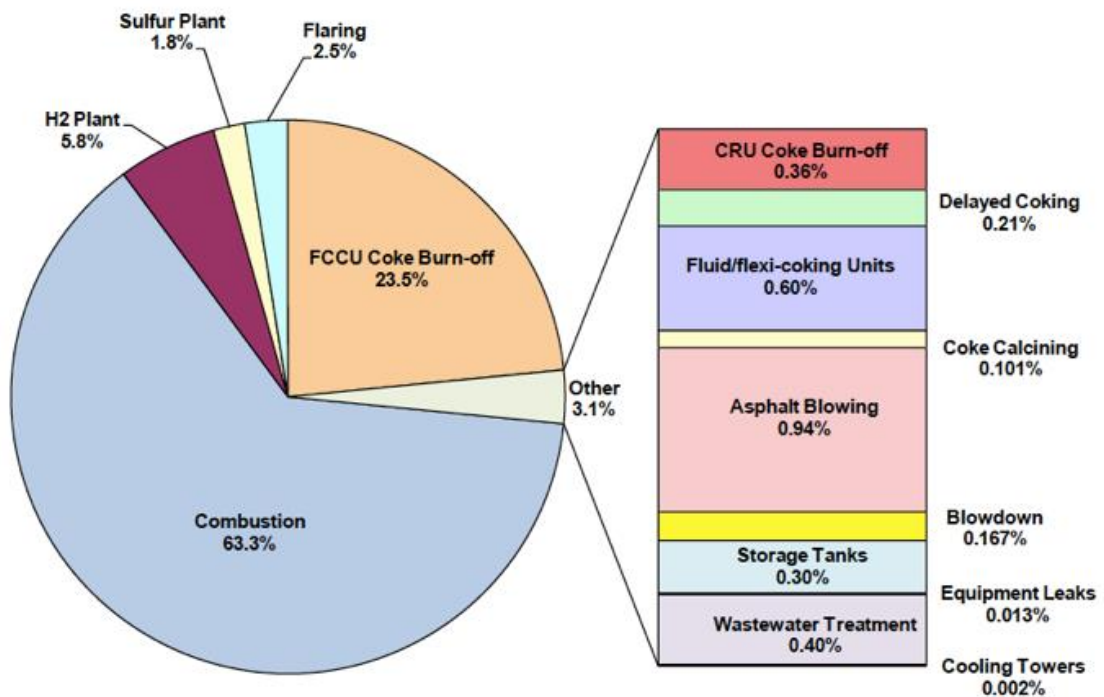
- Si bien existe información disponible relativa a los costos para las opciones tecnológicas (por ejemplo en [41]), se sugiere desarrollar un análisis especial para el contexto local, que incluya las condiciones habilitantes para la implementación de transferencias y adopción local.
- Información sobre proveedores y costos de sus tecnologías instaladas y operando en Chile, incluyendo su potencial de mitigación y los indicadores de proceso más relevantes para determinar la línea base de emisiones.

6.3. Sector refinería de combustibles.

Como se indicó previamente, el foco de mitigación para la industria de combustibles está en la refinería de petróleo, ya que basado en [18], su participación es de 3.120,3 GgCO₂eq versus 979,2 GgCO₂eq para la fabricación de combustibles sólidos, representando aproximadamente un 76% de las emisiones para esta industria.

La distribución de emisiones de GEI para este sector se muestra en la Figura 18 :

Figura 18: Contribución de fuentes de emisión de la refinería del petróleo a las emisiones de GEI (CO₂eq) en EEUU.

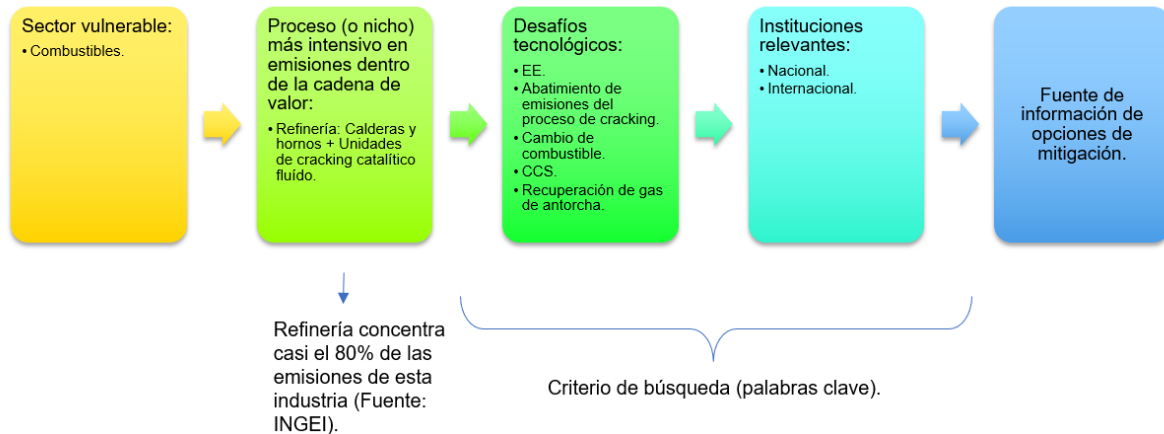


Fuente:[76].

6.3.1. Análisis de la información disponible y faltante para la realización de un estudio de brechas (técnicas, institucionales y regulatorias) y necesidades tecnológicas.

6.3.1.1. Análisis de la información disponible.

Figura 19: Proceso para la identificación de desafíos tecnológicos del sector refinería de combustibles.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

En el último tiempo, el foco de las inversiones de la Empresa Nacional de Petróleo, ENAP, ha estado en superar los obstáculos que dificultan la obtención de una mejor calidad de refinación, para obtener productos más valiosos (principalmente gasolina, diésel y kerosene); y en lograr una mayor capacidad de conversión por barril de crudo.

Hoy, la empresa enfrenta el desafío de la transición baja en carbono como algo ineludible, considerando la variación de la demanda que se experimentará a futuro. Para esto, la estatal desarrolló y está implementando un ambicioso plan de inversión, que incluye alrededor de 1.000 millones de dólares (contando sólo su planta en Biobío) para la fase de refinería, de los cuales 50 millones de dólares están focalizados en el desarrollo de proyectos que involucran energías limpias, donde destacan proyectos definidos por la empresa como *quick wins*, detallados en la Tabla 13 y Tabla 15. El nivel de profundidad de este plan, que se revisa y actualiza cada cinco años, dificulta la identificación de nuevas opciones de mitigación en el corto plazo para ENAP.

i. Eficiencia energética:

En 2005 ENAP llevó a cabo un proceso de 120 auditorías para eficiencia energética en sus instalaciones, identificando proyectos de fácil implementación (“quick wins”), y priorizando 30 medidas cuyo desarrollo sigue en curso a la fecha. Dentro de estos proyectos, la empresa destaca algunos con mayor relevancia:

1. Cambio de caldera en Biobío⁶¹.
2. Implementación de un sistema de recuperación de gases de antorcha (flare), USD\$15MM.

⁶¹ El proyecto tuvo que ingresar al SEIA a través de una DIA.

3. Implementación de un sistema de recuperación de condensado en Aconcagua, USD\$6MM.
4. Integración energética e intercambio de calor en tren de precalentamiento y torre (topping), USD\$1,5MM. Corresponde a una medida de recuperación de calor residual.
5. Instalación de sensores eléctricos en las instalaciones del Departamento de Almacenamiento y Oleoducto (DAO) para optimizar las mediciones y gestión general.

Hoy ENAP tiene como prioridad evaluar nuevos proyectos de eficiencia energética bajo el modelo ESCO, como una forma de acelerar su implementación.

La empresa cuenta con sistemas de recuperación de gas de antorcha en su planta de Biobío, y está estudiando la implementación de un sistema similar para su planta de Aconcagua. Se trata de proyectos complejos, que abarcan todas las unidades y que requieren una logística sofisticada, dada que son demasiadas las fuentes de alimentación para las antorchas.

Respecto a los sistemas para la recuperación de calor residual, la empresa ha incorporado economizadores en las calderas de vapor de la División Suministros de la planta de Biobío, aumentando su eficiencia.

Tabla 12: Fuentes de información para identificar opciones de mitigación categoría eficiencia energética, sector refinería de combustibles.

Benchmark Chile	Benchmark Mundial	I+D o etapa pre-competitiva
ENAP/Quick wins (reuniones y datos de fuentes primarias de la industria) [77]: <ul style="list-style-type: none"> - Operación batch continua. - Cambio turbinas/motores. - Compresores. - Precalentadores. - Hornos. - Optimizar presión desairador. - Reducir fugas de vapor. - Limpieza de intercambiadores y aumentar superficie de transferencia. - Incorporación economizadores en calderas B1001 y B1002. - Cambio caldera. - Sistema de recuperación de gases flare vapor. - Sistema recuperación condensado. - Integración energética e intercambio de calor tren precalentamiento y torre (topping). - Sensores eléctricos. - Recuperación de gas de antorcha (activo en Biobío, en estudio para Aconcagua). 	<ul style="list-style-type: none"> - Aislación [78]. - Operación batch continua. [78] [79]. - Control de fouling [80] [81]. - Motores, bombas y compresores [78] [80]. - Precalentadores para estanques de almacenamiento [78] [80] [82]. - Calderas [78] [80] [83]. - Calentadores y hornos de proceso [78] [80] - Sistemas avanzados de control y monitoreo [80]. - Mejoras en el diseño de la unidad de destilación al vacío [80]. - Luminarias eficientes [78] [80]. - Recuperación de gas de antorcha [78]. - Recuperación de calor residual [78] [80] [84] [85]. 	N/A.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

ii. Sustitución de fuentes de generación de energía:

Tabla 13: Fuentes de información para identificar opciones de mitigación categoría combustibles alternativos, sector refinería de combustibles.

Benchmark Chile	Benchmark Mundial	I+D o etapa pre-competitiva
Dispone de propiedad sobre la planta de cogeneración Petropower (en base a petcoket). En proyecto la construcción de una central de cogeneración en base a gas natural que producirá 125 toneladas/hora (ton/h) de vapor de alta presión para alimentar a la Refinería Aconcagua y producirá además aproximadamente 77 MW de potencia eléctrica.	<ul style="list-style-type: none"> - Recambio de fuel oil a gas natural [80]. - Autoconsumo de renovables [78] [80]. - Biomasa – syngas [78] [80]. - Cogeneración [78] [80] [86] [87] [85]. 	N/A.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

iii. Modificación de procesos y/o sustitución de insumos:

ENAP ha generado proyectos específicos para el abatimiento de emisiones del cracking, como la optimización del punto de operación de la planta de cracking con fluido catalítico (FCC, Fluid Catalytic Cracking, por su sigla en inglés) y el ajuste de condiciones operacionales del air blower y del compresor wet gas de la misma unidad FCC, disminuyendo el consumo de aire de los sopladores de aire que alimentan de aire de combustión al regenerador de la planta de FCC, consiguiendo un ahorro energético final al consumir menos vapor.

Respecto a la recuperación de hidrógeno, ENAP cuenta con plantas propias para este proceso hace más de 10 años, tanto en Aconcagua como en Biobío, y su recambio para modernización estaría sujeto a limitaciones contractuales.

Tabla 14: Fuentes de información para identificar opciones de mitigación categoría modificación de procesos y/o sustitución de insumos, sector refinería de combustibles.

Benchmark Chile	Benchmark Mundial	I+D o etapa pre-competitiva
Abatimiento de emisiones del proceso de cracking.		
ENAP/Quick wins (reuniones y datos de fuentes primarias de la industria [77]): <ul style="list-style-type: none"> - Detención del precalentador de la unidad FCC - B-751. - Ajuste de condiciones operacionales del air blower y el compresor wet gas de la unidad FCC. - Abatimiento y captura de MP y de CO₂ (Biobío 2018, Aconcagua 2019). 	<ul style="list-style-type: none"> - Mejoras al diseño del fluid Catalitic cracking (FCC) [78] [80] [88]. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mejoras en el diseño del Hydrocracker [78] [80] [89] [90].
Recuperación/optimización de hidrógeno.		
ENAP (reuniones y datos de fuentes primarias de la industria [77]):	<ul style="list-style-type: none"> - Recuperación de hidrógeno 	<ul style="list-style-type: none"> - Producción de hidrógeno

- Plantas propias de hidrógeno en Biobío y Aconcagua, hace +10 años.	[78] [80] [91].	con electrólisis a partir de ERNC o gasificación térmica de la biomasa [92].
Nueva refinería.		
N/A.	- Reemplazo de refinería[80].	N/A.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

iv. Captura, utilización y almacenamiento de GEI:

ENAP ha analizado preliminarmente las tecnologías de captura de carbono para sus procesos, sin una postura concluyente a la fecha debido a la incertidumbre propia de las tecnologías involucradas.

Tabla 15: Opciones de mitigación categoría Captura, utilización y almacenamiento de GEI, Sector refinería de combustibles.

Benchmark Chile	Benchmark Mundial	I+D o etapa pre-competitiva
N/A.	N/A.	- CCS en cogeneración, planta de hidrógeno y Sistema de FCC [78] [80] [85].

Fuente: Elaboración propia, 2018.

6.3.1.2. Análisis de las barreras que se desprenden a partir de la información disponible:

- En términos generales, los proyectos de mayor relevancia requieren ingresar al SEIA y obtener una Resolución de Calificación Ambiental (RCA) para su implementación, lo que dificulta el desarrollo continuo de una estrategia al requerir mayores recursos.
- El financiamiento de proyectos representa siempre una barrera, en particular porque ENAP no posee una línea de inversión específica para proyectos de mitigación, por lo que las iniciativas de este tipo deben competir por igual con otras medidas y proyectos en un comité de inversiones interno, para lo cual es fundamental contar con una opción de financiamiento atractiva⁶².
- Barrera económica asociada al precio de paridad determinado por factores exógenos, lo que impide hacer inversiones que puedan transferir ese sobre costo al mercado.

6.3.1.3. Análisis de la información faltante:

- Trabajo de campo: es necesario realizar un análisis profundo del sector y sus actores, precisando con visitas a terreno la información entregada por fuentes primarias y que no esté disponible en fuentes secundarias oficiales, así como la cantidad de equipos totales a nivel de sector, incluyendo sus características principales.

⁶² En particular, para este tipo de proyectos ENAP realiza solicitudes a CAF, BID y el Banco Mundial, y a la fecha no ha considerado la emisión de otros instrumentos, como por ejemplo bonos verdes.

- De forma similar, es necesario recopilar mayores antecedentes respecto al benchmark nacional para medidas relacionadas a la sustitución de fuentes de generación de energía y el potencial para la captura, utilización y almacenamiento de GEI.
- Es necesario realizar una hoja de ruta para la descarbonización del sector que aborde la adopción de tecnologías limpias en forma estratégica, considerando la contribución del sector a los compromisos adquiridos por Chile para la reducción de GEI, por ejemplo a través del uso de herramientas como los Science Based Targets⁶³. Esta hoja de ruta debe contener una estimación de los costos involucrados para la estrategia, así como los tiempos asociados a su implementación. Dado que la literatura existente no apunta a la realidad particular de Chile, se hace necesario definir un benchmark propio para el país.
- Si bien existe información disponible relativa a los costos para las opciones tecnológicas (por ejemplo en [80]), se sugiere desarrollar un análisis especial para el contexto local, que incluya las condiciones habilitantes para la implementación de transferencias y adopción local.
- Información sobre proveedores y costos de sus tecnologías instaladas y operando en Chile, incluyendo su potencial de mitigación y los indicadores de proceso más relevantes para determinar la línea base de emisiones.
- ENAP solicita cada dos años un estudio de benchmark de la industria a la empresa Solomon Associates⁶⁴. Este reporte sería un insumo valioso para evaluar las opciones tecnológicas de mitigación que podría considerar ENAP, de acuerdo a las escala de sus operaciones.

⁶³ <http://sciencebasedtargets.org/>

⁶⁴ Estudio de carácter confidencial.

7. Conclusiones

Uno de los desafíos más relevantes originados por el fenómeno del cambio climático que enfrentará la economía chilena, se relaciona con los efectos de una transición hacia un crecimiento bajo en carbono, donde se avizora que los instrumentos de precio al carbono (IPC) tendrán un rol relevante. Los sectores más sensibles a estos nuevos escenarios deberán migrar en forma progresiva hacia el uso de tecnologías y procesos limpios, sin ver comprometida su competitividad.

El presente estudio ha permitido detectar que los sectores de la economía chilena más propensos a ver afectada su competitividad ante la potencial implementación de uno o más IPC a nivel nacional, serían la industria del acero (siderurgia), la industria del cemento y la refinería de petróleo. Estas son industrias de commodities que enfrentan una presión permanente a reducir sus costos operacionales y ven restringida su capacidad de inversión.

Es responsabilidad y deber de gremios, empresas y representantes de industrias evaluar, reportar y transparentar los riesgos de una transición baja en carbono⁶⁵. Estos riesgos son producto de inversiones en activos con uso intensivo de carbono, que serán devaluados convirtiéndose en pasivos; o de amortizaciones prematuras de capital intensivo en emisiones; aumentando la pérdida de competitividad o desestabilizando a un sector de la economía que conlleva también impactos aguas arriba y aguas abajo por los encadenamientos productivos.

El estudio también revisó la disponibilidad y calidad de información para categorizar y caracterizar las tecnologías de mitigación utilizadas en Chile y a nivel mundial, en los sectores de la economía más expuestos a perder competitividad ante una transición baja en carbono. Se observa que las empresas chilenas de estos sectores han realizado ambiciosas inversiones orientadas a la mitigación de GEI de sus procesos, y han abogado por un marco normativo que sea favorable para facilitar el desarrollo de estas iniciativas. Sin embargo, es fundamental un acompañamiento del sector público para que la transición baja en carbono desde estos sectores no perjudique su posición competitiva en el mercado global.

El desafío de una transición baja en carbono requiere de una institucionalidad coordinada y consciente de los riesgos de una transición baja en carbono, que habilite políticas domésticas (no arancelarias) coherentes con los acuerdos comerciales vigentes para potenciar la demanda por commodities con un atributo “verde”. Del mismo modo, un plan de descarbonización para estos sectores prioritarios requiere detectar los modelos de comercialización, los instrumentos de fomento y los vehículos financieros que adelanten esta transferencia y la adopción de nuevas tecnologías limpias, bajas en carbono.

Apoyar un proceso de evaluación de necesidades tecnológicas, con una estrategia de largo plazo y un plan de implementación incluido es el siguiente paso para esta política. Es clave tener presente que este tipo de acción proactiva no sólo puede minimizar pérdidas económicas, si no que abre nuevas oportunidades de inversión, como la entrada temprana en nuevos mercados, como la electrificación del consumo, entre otros, que podrían fortalecer el proceso de descarbonización de Chile, y así facilitar el cumplimiento de sus compromisos y metas.

⁶⁵ En este sentido es relevante destacar el TCFD (Task Force on Climate-related Financial Disclosures), iniciativa creada por el Financial Stability Board (FSB), la que entrega recomendaciones claras para evitar los impactos financieros derivados de la incertidumbre en la transición hacia una economía baja en carbono, y a los esfuerzos de reducir las emisiones globales para no sobrepasar el aumento de 2°C de temperatura.

La metodología presentada por el estudio no pretende ser la oficial para determinar sectores expuestos al riesgo de una transición baja en carbono frente a la aplicación de IPCs, sino que es la primera aproximación factible de hacer con la información disponible, cuidando la consistencia y compatibilidad entre diversas fuentes de información. De esta forma, el estudio pretende aportar a la discusión para continuar evaluando los sectores aquí propuestos u otros que pudieran presentar riesgos a la luz de otra información que no haya sido considerada.

Para futuras actualizaciones de este estudio, o la replicación de esta metodología, se sugiere focalizar esfuerzos en establecer una coherencia en la clasificación sectorial del inventario nacional de gases de efecto invernadero y las matrices de insumo-producto del Banco Central, que permita tener más trazabilidad en la fuente de información y una actualización más frecuente. Además, elaborar un proceso de investigación sobre el potencial impacto que tendrían las emisiones indirectas en la priorización de los sectores con más exposición a los riesgos de transición baja en carbono.

7. Bibliografía y referencias utilizadas.

- [1] H. Waxman, 2009. *H.R.2454 - 111th Congress (2009-2010): American Clean Energy and Security Act of 2009*.
- [2] Gobierno de Chile, 2015. *"INTENDED NATIONALLY DETERMINED CONTRIBUTION OF CHILE TOWARDS THE CLIMATE AGREEMENT OF PARIS 2015"*.
- [3] World Bank y A. de Bassompierre, 2016. *"CARBON PRICING POLICIES: Overview and Instrument Options"*.
- [4] World Bank, Ecofys y Vivid Economics, 2016. *"State and Trends of Carbon Pricing"*, vol. 88284, n° September.
- [5] Poch Ambiental y CORFO, 2009. *"ESTRATEGIA Y POTENCIALES DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO"*.
- [6] World Bank Group, 2015. *"Carbon leakage: Theory, Evidence and Policy Design"*.
- [7] Task Force on Climate-related Financial Disclosures, 2017. *"Final Report: Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures (June 2017) - TCFD"*. [En línea]. Disponible en: <https://www.fsb-tcfd.org/publications/final-recommendations-report/>. [Accedido: 30-ene-2018].
- [8] Sustainable Prosperity, 2011. *"The Competitiveness of a Trading Nation: Carbon Leakage and Canadian Climate Policy"*.
- [9] PEW Center on Global Climate Change y International Institute for Sustainable Development, 2009. *"Review of Proposed Options for Addressing Industrial Competitiveness Impacts"*.
- [10] H. Waxman, 2009. *H.R.2454 - 111th Congress (2009-2010): "American Clean Energy and Security Act of 2009"*.
- [11] C. Mardones y T. Muñoz, 2017. *"Environmental taxation for reducing greenhouse gases emissions in Chile: an input-output analysis"*, *Environment, Development and Sustainability*, pp. 1–19.
- [12] Banco Central de Chile, 2013. *"Matriz Insumo producto Chile 2013"*.
- [13] C. Mardones y T. Muñoz, 2017. *"Environmental taxation for reducing greenhouse gases emissions in Chile: an input-output analysis"*, *Environment, Development and Sustainability*, pp. 1–19.
- [14] Sistema Nacional de Inventarios de GEI de Chile, 2016. *"Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile 1990-2013"*.
- [15] Comisión Nacional de Energía de Chile, 2013. *"Balance Nacional de Energía 2013"*.
- [16] Banco Central de Chile, 2015. *"EXTRACCIÓN DE PETRÓLEO Y GAS NATURAL"*. [En línea]. Disponible en: <https://si3.bcentral.cl/estadisticas/Principal1/Methodologias/CCNN/anuales/Extraccion%20de%20petroleo%20y%20gas%20natural.pdf> [Accedido: 30-ene-2018].
- [17] Banco Central de Chile, 2015. *"EXTRACCIÓN DE PETRÓLEO Y GAS NATURAL"*. [En línea]. Disponible en: <https://si3.bcentral.cl/estadisticas/Principal1/Methodologias/CCNN/anuales/Extraccion%20de%20petroleo%20y%20gas%20natural.pdf> [Accedido: 30-ene-2018].
- [18] Ministerio de Medio Ambiente de Chile, 2017. *"Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile 1990-2013"*.
- [19] Ministerio de Energía, 2017. *"Proceso de Planificación Energética de Largo Plazo"*.
- [20] Ministerio de Energía de Chile y Asociación de Generadoras A.G., 2018. *"COMUNICADO DE PRENSA PLANTAS CARBÓN"*.
- [21] CE Delft y Oeko-Institut, 2015. *"Ex-post investigation of cost pass-through in the EU ETS An analysis for six sectors"*.
- [22] UNTEC - Fundación para la Transferencia Tecnológica, 2014. *"Maps Chile Industria y Minería - Línea Base 2013 y Medidas De Mitigación"*, p. 224.

- [23] Ministerio de Energía de Chile, 2017. “Plan de Mitigación de Gases de Efecto Invernadero para el Sector Energía”.
- [24] International Energy Agency, 2018. “TECHNOLOGY ROADMAP: Low-Carbon Transition in the Cement Industry”, en *SpringerReference*.
- [25] WBCSD. IEA, 2009. “Guía para la Tecnología Cementera 2009 Reducciones de emisiones de carbono hasta el 2050”.
- [26] ImplementaSur, 2018. “Reuniones sobre brechas tecnológicas para la industria de cementos”.
- [27] Department of Energy & Climate Change of the U.K. Government, 2015. “*Industrial Decarbonisation and Energy Efficiency Roadmaps to 2050: Cement*”.
- [28] World Bank, 2017. “*Improving Thermal and Electric Energy Efficiency At Cement Plants: International Best Practice*”.
- [29] IFC, 2014. “*Waste Heat Recovery for the Cement Sector: Marketing and supplier analysis*”, n° June.
- [30] CSI/ECRA, 2017. “Development of State of the Art Techniques in Cement Manufacturing: Trying to look ahead”, *European Cement Research Academy*, n° March, pp. 1–190.
- [31] DBEIS y MPA, 2017. “Cement sector. Joint Industry - Government Industrial Decarbonisation and Energy Efficiency Roadmap Action Plan”, n° October.
- [32] A. Hasanbeigi, L. Price, y E. Lin, 2012. “Emerging energy-efficiency and CO₂ emission-reduction technologies for cement and concrete production: A technical review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, n° 8, pp. 6220–6238.
- [33] Cementos Bio Bio, 2016. “2016. Memoria anual”, p. 205.
- [34] International Finance Corporation, 2017. “Increasing the Use of Alternative Fuels At Cement Plants”, pp. 24–35.
- [35] CEMBUREAU / ECH, 2018. “Energy efficiency in the cement industry”, n° March.
- [36] A. M. Kistic, C. Ferguson, C. Clarke, J. Smyth, J. Smyth, y K. Marcell, 2018. “Building pressure Acknowledgements”, n° April.
- [37] S. Alberici, J. De Beer, I. Van Der Hoorn, y M. Staats, 2017. “Fly ash and blast furnace slag for cement manufacturing: BEIS research paper no. 19”, n° 19, p. 35.
- [38] K. L. Scrivener, V. M. John, y E. M. Gartner, 2016. “Eco-efficient cements: Potential, economically viable solutions for a low-CO₂, cementbased materials industry”.
- [39] Calera, “Calera process”. [En línea]. Disponible en: <http://www.calera.com/beneficial-reuse-of-co2/process.html> [Accedido: 30-ene-2018].
- [40] Limestone Calcined Clay Cement, “LC3”. [En línea]. Disponible en: <https://www.lc3.ch/> [Accedido: 30-ene-2018].
- [41] Department of Energy & Climate Change of the U.K. Government, 2015. “Industrial Decarbonisation and Energy Efficiency Roadmaps to 2050: Iron and Steel”.
- [42] International Energy Agency Environmental Projects (IEAGHG), 2013. “Deployment of CCS in the Cement Industry”, *ieaghg*, n° December, p. 139.
- [43] World Coal Association, “Carbon capture, use & storage”. [En línea]. Disponible en: <https://www.worldcoal.org/reducing-co2-emissions/carbon-capture-use-storage> [Accedido: 30-ene-2018].
- [44] European Union Horizon 2020 Research & Innovation, “Leilac”. [En línea]. Disponible en: <https://ec.europa.eu/inea/en/horizon-2020/projects/h2020-energy/carbon-capture-and-storage/leilac> [Accedido: 30-ene-2018].
- [45] HeidelbergCement Group, “HeidelbergCement”. [En línea]. Disponible en: <https://www.heidelbergcement.com/en> [Accedido: 30-ene-2018]
- [46] M. Hornberger, R. Spörl, y G. Scheffknecht, 2017. “Institut für Verfahrenstechnik und of Combustion and Dampfkesselwesen Power Plant Technology Calcium looping for CO₂ capture in cement plants — pilot scale test”. [En línea]. Disponible en: <https://www.sintef.no/globalassets/sintef->

- energi/cemcap/ghgt13_ifk_matthiashornberger_calciumloopingco2captureforcementplants-pilotsacletests.pdf [Accedido: 30-ene-2018].
- [47] CarbonCure Technologies Inc., “CarbonCure”. [En línea]. Disponible en: <https://www.carboncure.com/> [Accedido: 30-ene-2018].
- [48] MIT Technology Review, 2015. “What Happened to Green Concrete?”.
- [49] Antonella D’Alessandro, Claudia Fabiani, Anna Laura Pisello, Filippo Ubertini, A. Luigi Materazzi, Franco Cotana, 2017. “Innovative concretes for low-carbon constructions: a review”. [En línea]. Disponible en: <https://academic.oup.com/ijlct/article/12/3/289/2336110> [Accedido: 30-ene-2018].
- [50] National Energy Technology Laboratory, “Post-combustion CO₂ capture”. [En línea]. Disponible en: <https://www.netl.doe.gov/research/coal/carbon-capture/post-combustion> [Accedido: 30-ene-2018].
- [51] Grupo Air Products, “Captura de carbono por oxidcombustible”. [En línea]. Disponible en: <http://www.carbuos.com/industries/Energy/Power/Power-Technologies/product-list/oxyfuel-carbon-capture-power-technologies.aspx?itemId=73B1EE7098E8493A92B873E77872AC01>. [Accedido: 22-may-2018].
- [52] 2° Investing Initiative, 2017. “Transition Risk Scenarios, Chapter 5: Cement Sector”.
- [53] U. S. E. P. Agency, 2010. “Available and Emerging Technologies for Reducing Greenhouse Gas Emissions from the Portland Cement Industry”, n° October, p. 48.
- [54] EPA, 2011. “Available and Emerging Technologies for Reducing Greenhouse Gas Emissions From the Iron and Steel Industry”, n° September, pp. 1–69.
- [55] “Thermo Scientific Products in the Iron and Steel Manufacturing Processing”. [En línea]. Disponible en: <https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/CAD/posters/Thermo-Scientific-Iron-Steel-process-A3.pdf> [Accedido: 30-ene-2018].
- [56] ImplementaSur, 2018. “Reunión sobre brechas tecnológicas en sector metalurgia para el círculo de fundidores de ASIMET”.
- [57] ImplementaSur, 2018. “Reunión sobre brechas tecnológicas en sector siderurgia para CAP”.
- [58] U. Department of Energy, 2015. “Chapter 6: Innovating Clean Energy Technologies in Advanced Manufacturing | Waste Heat Recovery Technology Assessment”, *Quadrennial Technology Review*.
- [59] SLR Metaliks, 2017. “SLRM Steel”.
- [60] Natural Resources Canada, 2018. “Blast furnace optimization”.
- [61] H. Choudhry, M. Lauritzen, K. Somers, y J. Van Niel, 2015. “Green Campus August 2015 Greening the future: New technologies that could transform how industry uses energy About McKinsey & Company”, n° August.
- [62] W. Vergara, J. Fenhann, y M. Schletz, 2015. “Zero Carbon Latin America - A Pathway for Net Decarbonisation of the Regional Economy by Mid-Century”.
- [63] K. W. Ng, 2016. “Bio-Carbon for Canadian Iron and Steel Production CanmetENERGY-Ottawa”, pp. 1–23.
- [64] M. Anheden y L. Uhlir, 2015. “Roadmap 2015 to 2025 Biofuels for low-carbon steel industry”, *The Research Institutes of Sweden*, pp. 1–10.
- [65] Gerdau Aza, 2016. “Reporte de Sostenibilidad Gerdau 2016”.
- [66] G. Mehlhart, I. Bakas, M. Herczeg, P. Strosser, C. Rynikiewicz, A. Agenais, T. Bergmann, M. Mottschall, F. Antony, V. Bilsen, S. Greeven, P. Debergh, y D. Hay, 2016. “Study on the Energy Saving Potential of Increasing Resource Efficiency Final Report”.
- [67] Lawrence Berkeley National Laboratory, 2007. “Improving Process Heating System Performance : A Sourcebook for Industry”, *Industrial Technologies Program*, vol. second, n° 2007, pp. 1–116.
- [68] A. Metzen, T. Zeisler, T. Germershausen, J. Bader, y A. Bergs, 2017. “SHARC – Shaft Arc Furnace With Efficient Scrap Pre-Heating Concept Providing Low Conversion Costs”, *AISTech 2017 Proceedings*, pp. 1115–1122.

- [69] A. Carpenter, 2012. "*CO₂ abatement in the iron and steel industry*", n° 12.
- [70] Tata Steel, 2017. "India's largest Coke Dry Quenching (CDQ) facility at Tata Steel Kalinganagar reaffirms commitment to a resource efficient circular economy".
- [71] Nippon Steel & Sumikin Engineering, "Coal Moisture Control (CMC) System". [En línea]. Disponible en: https://www.eng.nssmc.com/english/whatwedo/steelplants/ironmaking/coal_moisture_control/ [Accedido: 30-ene-2018].
- [72] L. Bravo Soto y C. Silva Lobo, 2005. "*Guía Educativa para el Reciclaje del Acero*".
- [73] A. Papaspiropolou, J. Lynn, y J. Susa, 2016. "Global CCS Institute welcomes world's first commercial steel CCS project in Abu Dhabi", *Global CCS Institute*, n° November.
- [74] G. Winkelman, 2017. "CCS Activities and Engagement", n° November.
- [75] 2° Investing Initiative, 2017. "Transition Risk Scenarios, Chapter 4: Steel Sector".
- [76] Usepa, 2010. "Available and Emerging Technologies for Reducing Greenhouse Gas Emissions from the Petroleum Refining Industry", n° October, pp. 1–42.
- [77] ImplementaSur, 2018. "Reunión sobre brechas tecnológicas para la refinera de combustibles de ENAP".
- [78] EPA, 2015. "Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Petroleum Refineries", *Environmental Protection*, n° September.
- [79] A. T. Georgiou y K. R. Sheth, 2017. "Plant-wide Dynamic Economic Optimization : Key Challenges & New Opportunities".
- [80] WSP Parson Brinkerhoff and DNV GL, 2015. "Industrial Decarbonisation & Energy Efficiency Roadmaps to 2050: Cross Sector Summary", n° March, p. 31.
- [81] NACE International, 2016. "Crude Unit Corrosion Guide - A Complete How-To Guide, 3rd edition".
- [82] WATTCO, "Electric immersion heaters for refineries". [En línea]. Disponible en: <https://www.wattco.com/2018/03/electric-immersion-heater-refineries/> [Accedido: 30-ene-2018].
- [83] New Straits Times, 2017. "Petronas installs waste heat boilers for Pengerang refinery".
- [84] W. Vergara, J. V Fenhann, y M. C. Schletz, 2015. "*Zero Carbon Latin America*".
- [85] M. V. Ruíz-Méndez y M. C. Dobarganes, 2011. "Oil Refining", n° October.
- [86] U.S. DOE, 2016. "Combined Heat and Power (CHP) Technical Potential in the United States", *U.S. Department of Energy*, n° March, p. 219.
- [87] EPA, 2008. "COMBINED HEAT AND POWER: FREQUENTLY ASKED QUESTIONS".
- [88] BASF, "FCC Refining Catalysts". [En línea]. Disponible en: <https://catalysts.basf.com/products-and-industries/process-catalysts/fcc-refining-catalysts> [Accedido: 30-ene-2018].
- [89] ExxonMobil, 2016. "ExxonMobil Rotterdam refinery update: Three new hydrocracker reactors arrive".
- [90] Shell Global Solutions, 2016. "NEXT-LEVEL HYDROCRACKER FLEXIBILITY UNLOCKING HIGH PERFORMANCE IN TODAY'S TURBULENT MARKETS". [En línea]. Disponible en: https://www.shell.com/business-customers/global-solutions/refinery-technology-licensing/dual-service-hydrocracking/_jcr_content/par/textimage.stream/1490424600912/8be24359dc26bd73e599a46ef93dbd97ae450509db8da5eb2cb7022c70a0aea4/flexible-hydrocracking-white-paper.pdf [Accedido: 30-ene-2018].
- [91] Honeywell UOP, 2016. "UOP Polysep™ Membrane Systems for Hydrogen Recovery and Purification". [En línea]. Disponible en: <https://www.uop.com/?document=polysep-membrane-for-gas-extraction-purification&download=1> [Accedido: 30-ene-2018].
- [92] I. Hannula, 2009. "*VTT WORKING PAPERS 131 Hydrogen production via thermal gasification of biomass in near-to-medium term Hydrogen production via thermal gasification of biomass in near-to-medium term*".
- [93] EBP, Climate Focus, y OfREC, 2017. "Informe 5 Preliminar : Implementación de un Sistema

Integral de Precios al Carbono en Chile”.

- [94] World Bank Group, 2015. “Carbon leakage: Theory, Evidence and Policy Design”.
- [95] ASIPLA, 2011. “Análisis del Impacto de los Gases de Efecto Invernadero en el Ciclo de Vida de los Embalajes y Otros Productos Plásticos en Chile V1.0”.
- [96] Strat-Carbon, 2017. “Análisis de brechas y propuesta sistema MRV para el Partnership for Market Readiness”.
- [97] Stratcarbon, 2018. “Análisis de brechas y propuesta de sistema MRV”.
- [98] datosmacro.com, 2018. “Déficit público de Chile 2016”. [En línea]. Disponible en: <https://www.datosmacro.com/deficit/chile>. [Accedido: 17-abr-2018].
- [99] International Energy Agency, 2009. “Guía para la Tecnología Cementera”.
- [100] Cembureau, 2013. “The role of CEMENT in the 2050 LOW CARBON ECONOMY”.
- [101] Deuman Ingenieros, 2003. “Transferencia Tecnológica para el Cambio Climático”.
- [102] Federación Interamericana del Cemento, 2018. “Hoja de Ruta FICEM”.
- [103] L. Bravo Soto y C. Silva Lobo, 2005. *Guía Educativa para el Reciclaje del Acero*.

8. Anexos.

8.1. Anexo 1: Hoja de ruta de PMR para la incorporación de IPCs en Chile.

La iniciativa PMR estudió un mapa de 3 opciones para ampliar los IPC de Chile. Estos se describen en la Tabla 16.

Tabla 16: Opciones de Instrumentos de Precio al Carbono en Chile.

Opción 1	Opción 2	Opción 3
<ul style="list-style-type: none"> • Un impuesto al carbono ampliado, que aplica “aguas arriba” al carbón, al gas natural y sus productos derivados, y los productos de petróleo, con la excepción de aquellos usados en el sector residencial y público; • La continuación de la aplicación del impuesto “aguas abajo” para calderas y turbinas grandes, junto con exenciones o reembolsos para evitar que estas entidades paguen el impuesto dos veces; • El impuesto se aumenta de forma paulatina hasta USD 40/tCO₂e en el 2030; • Un mecanismo que modifique la trayectoria del precio y revise el alcance del impuesto; <ul style="list-style-type: none"> • La asistencia a hogares e industrias vulnerables; • Un sistema obligatorio de reporte MRV de emisiones GEI para instalaciones con altas emisiones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mismos elementos que Opción 1. • El sistema permite offsets de GEI fuera del impuesto y offsets de CO₂ de sectores no afectados por el impuesto. • Offsets hasta un máximo de 10% de las emisiones de las instalaciones afectas. • Certificados de carbono emitidos después del 1 de enero de 2017. • La importación de certificados de carbono no está prevista. • El sistema permite certificados de estándares de carbono del marco del UNFCCC, VCS y Gold Standard (GS). <ul style="list-style-type: none"> • Al entregar los offsets a un registro nacional del gobierno, el gobierno reembolsa el respectivo valor financiero del impuesto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mismos elementos descritos en Opción 1 y Opción 2. • ETS obligatorio para instalaciones de fuente fija de 20 MW y/o emisiones de más de 25.000 tCO₂/año y una opción de opt-in para instalaciones de fuentes fija entre 10MW y 20 MW; • Las instalaciones participantes en el ETS son exentas del impuesto al carbono; <ul style="list-style-type: none"> • Offsets para compensar un máximo de 10% del impuesto y ETS como descrito en la opción 2 en el capítulo 3.2.

Fuente: PMR, [93].

8.2. Anexo 2: Análisis sistémico para sectores industriales potencialmente en riesgo ante la implementación progresiva de IPCs en Chile.

A continuación, se describen brevemente cada uno de los factores y efectos del sistema:

- i. Factores internos:
 - Competitividad: Nivel de competitividad de un sector industrial.
 - Capital: Nivel de capital de un sector industrial.
 - Productividad: Nivel de productividad de un sector industrial.
 - Opciones de producción limpia: Opciones de producción limpia disponibles en el mercado, para un sector industrial específico.
 - Emisiones / consumo energía: Nivel de emisiones de GEI de un sector industrial y/o nivel de consumo de energía de ese mismo sector industrial.
 - Riesgo sectorial ante IPC: Nivel de riesgo de un sector industrial ante la implementación progresiva de IPCs en Chile.
 - Intercambio comercial: Nivel de exposición de un sector industrial a importaciones y exportaciones.
 - Ganancias por productividad: Nivel de retornos que percibe un sector industrial respecto a su productividad.

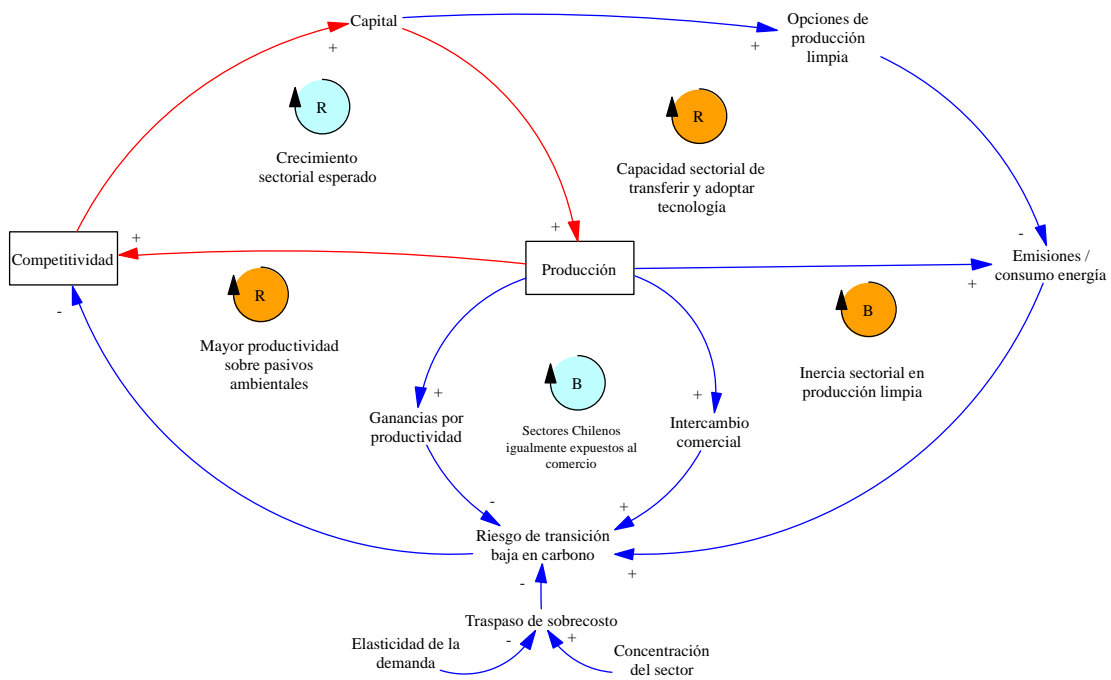
- ii. Factores externos:
 - Elasticidad de la demanda: Variación de la demanda producto de variaciones de los precios de bienes o servicios de un sector industrial.
 - Concentración del sector: Número de empresas representativas de un sector industrial.
 - Traspaso de sobre costo: Capacidad de un sector industrial para traspasar el sobre costo de producción a sus clientes ante un escenario de implementación progresiva de IPCs.

- iii. “Loops” o Efectos⁶⁶:
 - Crecimiento sectorial esperado: Como se aprecia en la Figura 20, a mayor capital, mayor producción (++ = +), y por ende, mayor competitividad (++ = +), logrando un efecto de refuerzo conocido por el mercado.

⁶⁶ En el análisis sistémico, las trayectorias dentro de cada efecto descrito siguen las reglas aritméticas de la multiplicación:

- Cada puntero tiene designado un signo (+) ó uno (-).
- Al seguir las diversas trayectorias, se deben seguir las reglas aritméticas de la multiplicación, al pasar de puntero a puntero.
- Ejemplo: al pasar de un puntero (+) a otro puntero (+), la trayectoria hasta ese punto tendrá signo (+). Lo mismo sucede si ambos punteros tienen signo (-). Si dos punteros tienen distinto signo, la trayectoria hasta ese punto tendrá signo (-).

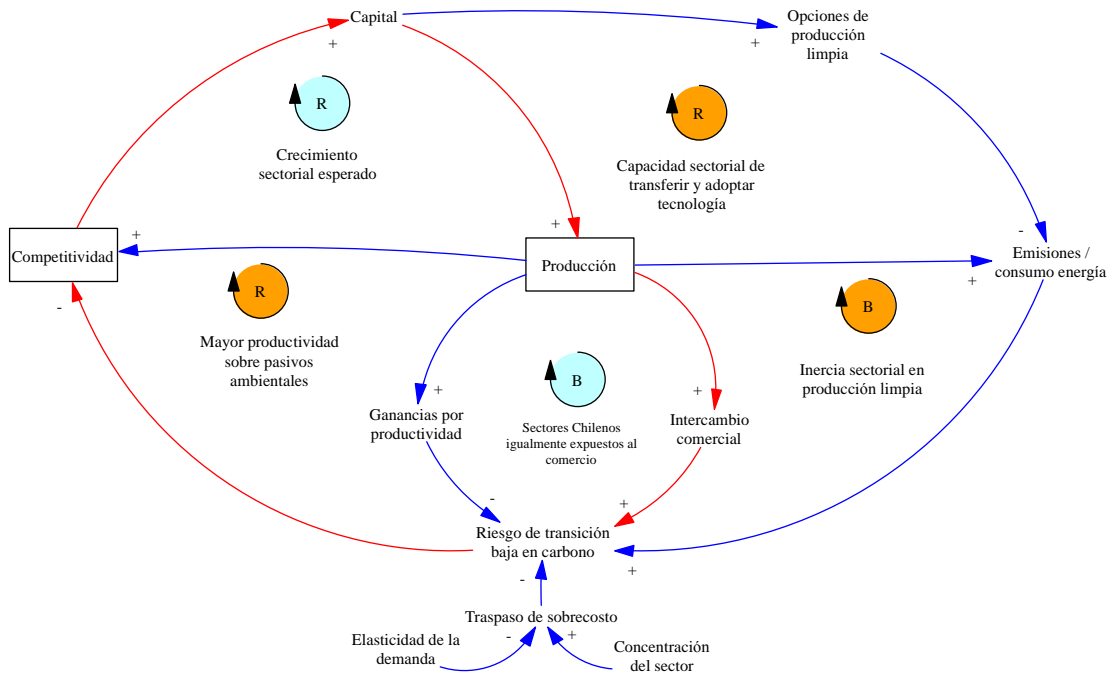
Figura 20: Crecimiento sectorial esperado.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

- Figura 21, a mayor capital, mayor producción (++) = +), lo que influye en un mayor intercambio comercial (++) = +), generando una mayor vulnerabilidad sectorial (++) = +) ante IPCs (ya que este intercambio comercial puede ser realizado con países sin IPCs), y dando paso así a una menor competitividad (+- = -). Este es un efecto de neutralización, conocido por el mercado.

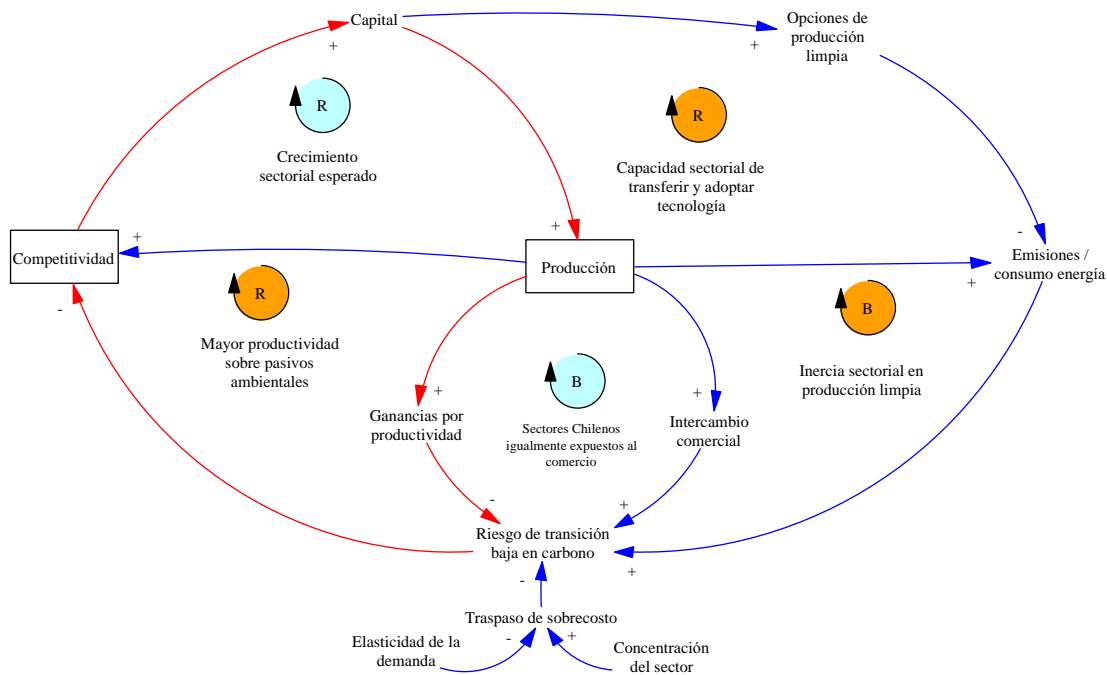
Figura 21: Sectores chilenos igualmente expuestos al comercio.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

- Figura 22, a mayor capital, mayor producción ($++ = +$), lo que influye en mayores ganancias por productividad ($++ = +$), disminuyendo la vulnerabilidad sectorial ante IPCs ($+- = -$), y aumentando así la competitividad ($-- = +$), lo que produce un efecto de reforzamiento, por lo general desconocido en el mercado.

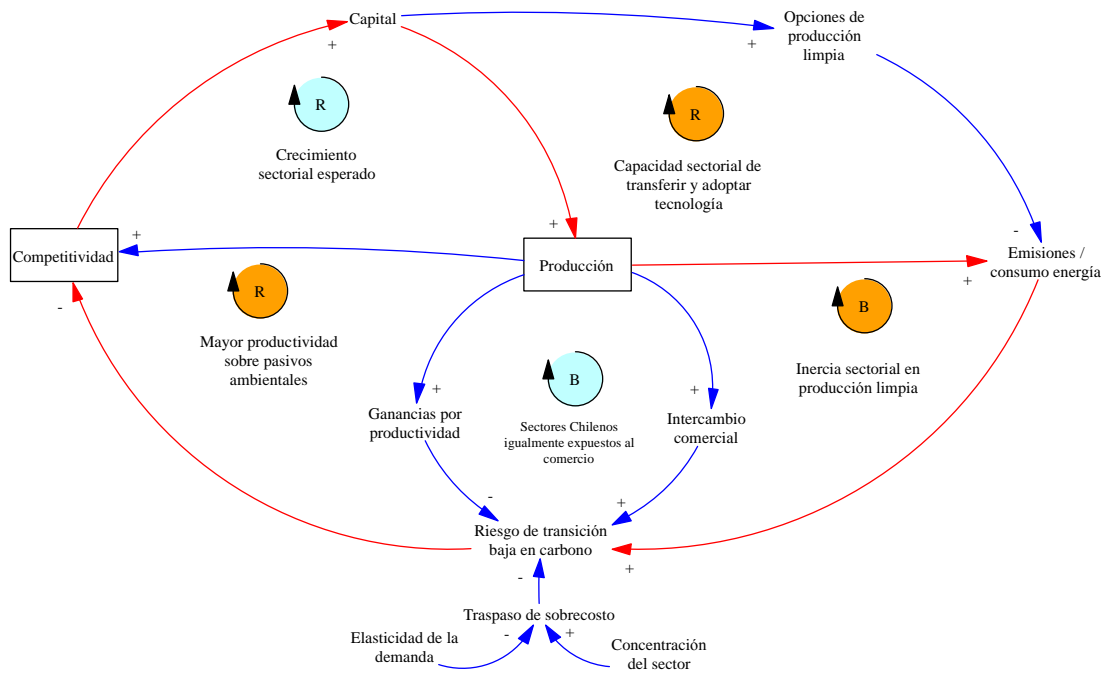
Figura 22: Mayor productividad sobre pasivos ambientales.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

- Inercia sectorial en producción limpia: Como se aprecia en la Figura 23 a mayor capital, mayor producción ($++ = +$), lo que influye en mayores emisiones y/o consumo de energía ($++ = +$), aumentando la vulnerabilidad sectorial ante IPCs ($++ = +$), y por lo tanto disminuyendo la competitividad ($+ - = -$), produciendo un efecto neutralizador, por lo general desconocido en el mercado.

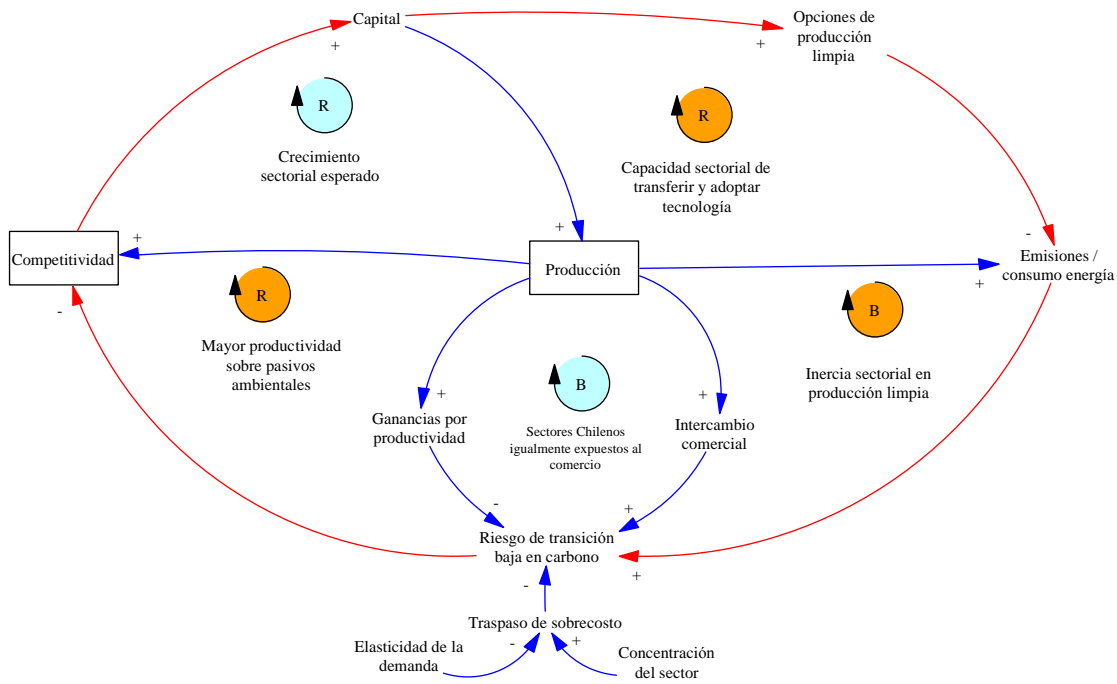
Figura 23: Inercia sectorial en producción limpia.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

- Capacidad sectorial de transferir y adoptar tecnología: Como se aprecia en la Figura 24, a mayor capital, mayores opciones de producción limpia (++) = +) y menores emisiones y/o consumo de energía (+- = -), generando una menor vulnerabilidad sectorial ante IPCs (-+ = -), y aumentando así la competitividad (-- = +), lo que produce un efecto de reforzamiento, por lo general desconocido en el mercado.

Figura 24: Capacidad sectorial de transferir y adoptar tecnología.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

8.3. Anexo 3: Umbrales para definir riesgo de fuga de carbono.

Tabla 17: Umbrales para definir riesgo de fuga de carbono.

<i>Scheme (period)</i>	<i>Criteria</i>	<i>Definitions</i>	<i>Applied at firm or sectoral level?</i>
EU ETS Phase III	Cost increase >30%; or Trade intensity >30%; or Cost increase >5% and trade intensity >10% Qualitative assessment for borderline sectors	Cost increase: $\{[(\text{assumed carbon price (€30)} \times \text{emissions}) + (\text{electricity consumption} \times \text{carbon intensity of production} \times \text{carbon price (€30)})] / \text{GVA}\}$ Trade intensity: $(\text{imports} + \text{exports}) / (\text{imports} + \text{production})$	Sectoral
South Africa	Trade intensity >10% on a combined exports and imports measure; or Trade intensity >5% on an exports-only measure; or High process emissions	Trade intensity: $(\text{imports} + \text{exports}) / \text{output}$; or $\text{exports} / \text{output}$ Process emissions eligibility definition is currently undefined	Firm
California (2018-2020)	Variously split into high, medium, and low exposure. This was based on a combination of tiers of emissions intensity and trade intensity. Emissions intensity tiers are: High: >10,000 tCO ₂ e per million dollars of revenue Medium: 1,000–9,999 tCO ₂ e per million dollars of revenue Low: 100–999 tCO ₂ e per million dollars of revenue Very low: <100 tCO ₂ e per million dollars of revenue Trade intensity tiers are: High: >19% Medium: 10–19% Low: <10%	Carbon intensity calculated as tonnes of CO ₂ e per million dollars of revenue metric Trade intensity: $(\text{imports} + \text{exports}) / (\text{shipments} + \text{imports})$	Sector
New Zealand	Highly exposed if carbon intensity > 1,600 tCO ₂ e per million New Zealand dollars of revenue and trade exposed Moderately exposed if carbon intensity >800 tCO ₂ e per million New Zealand dollars of revenue and trade exposed	Carbon intensity is calculated as tonnes of CO ₂ e per million dollars of revenue metric Trade exposure is qualitative and based on the existence of trans-oceanic trade in the good in question. Electricity is explicitly excluded	Sector
Australia	Highly exposed if trade exposed and one of the following: carbon intensity >2,000 tCO ₂ e per million Australian dollars of revenue, or >6,000 tCO ₂ e per million Australian dollars of GVA Moderately exposed if trade exposed and one of the following: carbon intensity >1,000 tCO ₂ e per million Australian dollars of revenue, or >3,000 tCO ₂ e per million Australian dollars of GVA Trade exposed >10%	Carbon intensity is calculated as tonnes of CO ₂ e per million dollars of revenue metric or, alternatively, tonnes of CO ₂ e per million dollars of GVA Trade exposure based on either a quantitative test: $(\text{imports} + \text{exports}) / \text{production}$; or a qualitative assessment	Sector

Fuente: [94].

8.4. Anexo 4: Referencias internacionales para la definición de riesgo de transición climática

Tabla 18: Referencias internacionales para la definición de riesgo de transición climática.

Box 1 US Criteria for Trade Vulnerable Sectors	Box 2 EU Criteria for Trade Vulnerable Sectors
<p>Energy or greenhouse gas intensive:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Purchased energy and fuel costs above 5 % of the value of shipments; or • The number 20 times the tons of direct and indirect CO₂e emissions above 5% of the value of shipments; AND <p>Trade intensive:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Value of imports + exports above 15% of value of total shipments + imports. <p style="text-align: center;">OR</p> <p>Very high energy or greenhouse gas intensity:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Energy or greenhouse gas intensity, as calculated above, higher than 20%. 	<p>Increase in production costs:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sum of direct and indirect additional costs from carbon pricing increase production costs more than 5% of Gross Value Added; AND <p>Non-EU trade intensive:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Total value of exports to non EU + value of imports from non-EU greater than 10% of the annual turnover plus total imports into the EU. <p style="text-align: center;">OR</p> <p>Particularly high increase in production costs:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sum of direct and indirect additional costs from carbon pricing increase production costs more than 30% of Gross Value Added. <p style="text-align: center;">OR</p> <p>Particularly high non-EU trade intensity:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Total value of exports to non EU + value of imports from non-EU greater than 30% of the annual turnover plus total imports into the EU.

Fuente:[8].

8.5. Anexo 5: Consideración de variables socio-económicas para la profundización de un análisis de riesgo sectorial.

Tabla 19: Presencia de MIPYMEs en sectores industriales seleccionados.

Sectores Industriales	% de presencia de MIPYMEs	
	Ventas	Empleo
Minas y canteras	2,8	24,1
Industrias manufactureras no metálicas	7,9	28,5
Industrias manufactureras metálicas	18,2	48,9
Construcción	28,4	43,4
Terciario (servicios)	16,6	46,2

Fuente: Elaboración propia, 2018, en base al Boletín del Ministerio de Economía, 2014.

8.6. Anexo 6: Fuentes de información para caracterización emisiones de GEI por cada sector.

Tabla 20: Fuentes de información para caracterización emisiones de GEI por cada sector.

Categoría MPI 2013	Emisiones anuales al 2013 CO ₂ eq (Gg) (excepto donde se indique)	Fuente de info GEI /observación
Acuicultura	10,218	Gasto en combustible, MIP 2010
Administración pública	273	BNE 2013
Suministro de agua	10,21	Gasto en combustible, MIP 2010
Cemento	2402,069	INGEI
Elaboración de combustibles	4099,436	INGEI
Comercio y hoteles	1419,308	INGEI
Construcción	875,549	Gasto en combustible, MIP 2010
Educación privada	18,257	Gasto en combustible, MIP 2010
Educación pública	19,561	Gasto en combustible, MIP 2010
Industria alimentaria	285,915	INGEI
Industria de metales básicos	1593,464	INGEI
Fabricación de productos metálicos	224,493	ENIA
Industria química	2340,999	INGEI
Maderas	72,888	ENIA

Categoría MPI 2013	Emisiones anuales al 2013 CO ₂ eq (Gg) (excepto donde se indique)	Fuente de info GEI /observación
Minería del cobre	4646	BNE 2013
Minería metálica - resto de la minería metálica	1016	BNE 2013
Explotación de otras minas y servicios de apoyo a la minería	1054,299	INGEI
Fabricación de muebles	10,302	ENIA
Papel y Celulosa	1427,935	INGEI
Pesca extractiva ⁶⁷	878,032	BNE
Plástico ⁶⁸	121,15696	ASIPLA
Salud privada y asistencia social	36,381	Gasto en combustible, MIP 2010
Salud pública	34,146	Gasto en combustible, MIP 2010
Servicios financieros	9,287	Gasto en combustible, MIP 2010
Silvoagropecuario	235,81	Gasto en combustible, MIP 2010

⁶⁷ El sector pesca mencionado aquí, se refiere a las emisiones de las embarcaciones (fuentes móviles), mientras que las fuentes fijas de la industria pesquera están incorporadas en el sector de industria de alimentos. Por tanto “pesca” fue descartado del análisis.

⁶⁸ El consumo aparente de plásticos en Chile fue de 890.860 toneladas durante el año 2014 (ASIPLA). ASIPLA determinó que el promedio del impacto de las emisiones de GEI por tonelada de plástico procesada en Chile es de 2,72 toneladas de CO₂e (dióxido de carbono equivalente). Las mayores fuentes de emisión en la elaboración de los productos plásticos son las resinas (72%) y la electricidad utilizada en el proceso de transformación (23%) [95].

Categoría MPI 2013	Emisiones anuales al 2013 CO ₂ eq (Gg) (excepto donde se indique)	Fuente de info GEI /observación
Telecomunicaciones	0,115	Gasto en combustible, MIP 2010
Textil y Cuero	52,443	ENIA
Fabricación de vidrio y productos de vidrio	94,594	INGEI

Fuente: Elaboración propia, 2018.

8.7. Anexo 7: Resultados de evaluación multicriterio.

En las últimas dos columnas de la Tabla 21 (escenario 1 incluyendo emisiones indirectas) y Tabla 22 (escenario sin incluir emisiones indirectas), se resumen los multiplicadores asociados a la intensidad de comercio frente a la intensidad del consumo energético (SCORE 1) y frente a la intensidad de emisiones (SCORE 2). En amarillo se destacan los diez sectores rankeados con los puntajes más altos.

Tabla 21: Resultados preliminares, Escenario 1

Sectores	Escenario 1: Emisiones indirectas de CO ₂ e consideradas dentro de los PCs			SCORE 1	SCORE 2
	Intensidad comercio	Intensidad consumo energético	Intensidad emisiones	(Intensidad comercio / Intensidad consumo energético)	(Intensidad comercio / Intensidad emisiones)
Acuicultura	1,5%	0,5%	0,4%	0,008%	0,005%
Administración Pública	6,4%	1,6%	0,2%	0,101%	0,012%
Agua	0,6%	5,6%	1,8%	0,035%	0,011%
Cemento	9,9%	2,7%	2,9%	0,272%	0,288%
Combustible	49,1%	2,8%	9,7%	1,395%	4,769%
Comercio y Hoteles	10,7%	1,2%	0,3%	0,131%	0,028%
Construcción	7,7%	0,3%	0,2%	0,026%	0,018%
Educación Privada	1,4%	1,1%	0,0%	0,015%	0,000%
Educación Pública	0,4%	1,0%	0,0%	0,004%	0,000%
Industria Alimentaria	35,6%	1,2%	0,1%	0,424%	0,020%
Industria de Metales	41,7%	2,2%	2,6%	0,902%	1,081%
Industria Metal Mecánica	23,7%	2,0%	0,6%	0,484%	0,149%
Industria Química	45,9%	2,7%	2,9%	1,246%	1,333%
Maderas	54,8%	3,6%	0,6%	1,954%	0,315%
Minería del Cobre	88,4%	5,4%	0,8%	4,791%	0,689%
Minería No Metálica	22,8%	2,4%	2,5%	0,557%	0,564%
Muebles	16,2%	1,1%	0,3%	0,176%	0,042%
Papel y Celulosa	47,8%	7,4%	1,8%	3,534%	0,859%
Pesca	17,2%	0,0%		0,001%	
Plástico	41,9%	2,9%	0,083%	1,214%	0,035%
Salud Privada	2,4%	1,4%	0,0%	0,035%	0,000%
Salud Pública	4,3%	0,8%	0,0%	0,034%	0,000%
Servicios Financieros	8,4%	0,5%	0,1%	0,039%	0,006%
Silvoagropecuario	25,2%	0,7%	0,2%	0,185%	0,059%
Telecomunicaciones	9,7%	1,2%	0,0%	0,115%	0,002%
Textil y Cuero	24,0%	1,9%	0,3%	0,446%	0,076%
Vidrios	22,8%	6,4%	2,1%	1,461%	0,489%
Minería Metálica Residuos	82,3%	3,4%	0,7%	2,756%	0,585%

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 22: Resultados preliminares, Escenario 2.

Escenario 2: Emisiones indirectas de GEI no consideradas dentro de los PCs					SCORE (Intensidad consumo energético)	SCORE (Intensidad las emisiones)
Sectores	Intensidad comercio	Intensidad consumo energético	Intensidad las emisiones			
Acuicultura	1,5%	0,01%	0,01%	0,00014%	○	0,00009%
Administración Pública	6,4%	0,02%	0,03%	0,00138%	○	0,00193%
Agua	0,6%	0,02%	0,01%	0,00010%	○	0,00007%
Cemento	9,9%	0,73%	1,31%	0,07235%	●	0,13037%
Combustible	49,1%	1,88%	0,96%	0,92288%	●	0,47126%
Construcción	7,7%	0,02%	0,04%	0,00188%	○	0,00321%
Educación Privada	1,4%	0,11%	0,01%	0,00162%	○	0,00008%
Educación Pública	0,4%	0,04%	0,00%	0,00016%	○	0,00002%
Industria Alimentaria	35,6%	0,24%	0,02%	0,08382%	○	0,00557%
Industria de metales	41,7%	0,55%	0,91%	0,23019%	●	0,37921%
Industria metalmeccánica	23,7%	0,32%	0,10%	0,07515%	○	0,02296%
Industria Química	45,9%	0,91%	0,48%	0,41882%	●	0,21908%
Maderas	54,8%	0,15%	0,03%	0,08272%	○	0,01885%
Minería de cobre	88,4%	0,18%	0,20%	0,15881%	●	0,17658%
Minería metálica	22,8%	0,01%	1,12%	0,00224%	●	0,25507%
Muebles	16,2%	0,15%	0,02%	0,02365%	○	0,00246%
Papel y Celulosa	47,8%	0,42%	0,34%	0,19980%	●	0,16366%
Pesca	17,2%	0,01%		0,00143%		
Plástico	41,9%	0,18%	0,06%	0,07548%	○	0,02668%
Salud Privada	2,4%	0,04%	0,01%	0,00091%	○	0,00018%
Salud Pública	4,3%	0,02%	0,01%	0,00101%	○	0,00038%
Servicios financieros	8,4%	0,08%	0,00%	0,00700%	○	0,00007%
Silvoagropecuario	25,2%	0,01%	0,03%	0,00274%	○	0,00662%
Telecomunicaciones	9,7%	0,07%	0,00%	0,00720%	○	0,00000%
Textil y Cuero	24,0%	0,49%	0,04%	0,11719%	○	0,00993%
Vidrios	22,8%	2,33%	0,31%	0,53080%	○	0,07138%
Minería metálica	82,3%	0,02%	0,55%	0,01957%	●	0,45533%

Fuente: Elaboración propia, 2018.