

Proyecto Mecanismos y Redes de Transferencia de Tecnología Relacionada con el Cambio Climático en América Latina y el Caribe

Hoja de ruta para el desarrollo de bajas emisiones en la Industria Chilena del Cemento

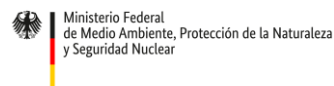
Resumen

Fecha: Marzo de 2020

Autores: Laurent Grimmeissen, Andrés Jensen y Stefan Wehner



Por encargo de:



de la República Federal de Alemania



Acrónimos

ALC	América Latina y el Caribe
APL	Acuerdo de Producción Limpia
BCA	Border Carbon Adjustment
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CO ₂	Dióxido de carbono
ECRA	European Cement Research Academy
EST	Tecnologías ecológicamente racionales, por su sigla en Inglés: ecologically sound technologies
ETS	Emission trading scheme
FICEM	Federación Interamericana del Cemento
GEI	Gases de efecto invernadero
GIZ	Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional
GNR	“Getting the Numbers Right” o “GCCA in Numbers”
ICH	Instituto del Cemento y el Hormigón
IPPU	Procesos Industriales y Uso de Productos
kg	kilogramo
MAC	Costos de Reducción Marginales, por su sigla en Inglés: Marginal abatement costs
PIB	Producto Interno Bruto
REP	Responsabilidad Extendida del Productor
SIG	Sistemas Integrados de Gestión
t	Tonelada
UE	Unión Europea
USD	Dólar estadounidense
WTO	World Trade Organisation

Información general

Tipo de cambio 1.10 USD / EUR (2019)

1. TRASFONDO Y OBJETIVOS

El objetivo del proyecto "Mecanismos y Redes de Transferencia de Tecnologías relacionadas con el Cambio Climático en América Latina y el Caribe", preparado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), es promover el desarrollo y la transferencia de tecnologías ecológicamente racionales (EST por su sigla en Inglés) en los países de América Latina y el Caribe (ALC), para contribuir a: (a) El objetivo final de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la vulnerabilidad a los efectos del cambio climático en sectores específicos de la región. En este contexto, la Fundación Bariloche con la asistencia de la cooperación Alemana (GIZ) y con fondos del BID encargó un estudio para completar un análisis de las necesidades tecnológicas en torno al cambio climático en el sector cemento, que incluya: i) Llevar a cabo la identificación y priorización de tecnologías; (ii) realizar un análisis de barreras y marcos o medidas habilitantes; y, iii) proponer un plan de acción para la tecnología, acompañado de un plan de inversión para el sector cementero nacional. Se definió que el estudio consideraría abordar y reducir los riesgos para una transición hacia bajas emisiones de carbono para la economía chilena y para la industria del cemento en particular.

Chile se ha comprometido a reducir sus emisiones en forma paulatina, y se encuentra en proceso de actualización de su NDC, siempre con el objetivo de lograr la carbono neutralidad al año 2050. El sector de Procesos Industriales y Uso de Productos (IPPU), representó el 5,4 % del balance de gases de efecto invernadero (GEI) en 2013 (6,6 MtCO₂eq). Dentro de esta categoría, la producción de cemento representa 38,1% (Ministerio del Medio Ambiente, 2016).

El objetivo general del proyecto es proponer acciones prácticas para que la industria cementera chilena contribuya de la manera más eficiente y sostenible a los compromisos nacionales de reducción de CO₂, apoyándose en recomendaciones de implementación de tecnologías ambientalmente racionales. Las tecnologías ambientalmente racionales (EST por su sigla en inglés) son aquellas que "protegen el medio ambiente, son menos contaminantes, utilizan los recursos de una manera más sostenible, reciclan más de sus desechos y productos, y manejan residuos de una manera más aceptable que las tecnologías para las cuales son sustitutas" (Agenda 21). La transferencia de tecnología no solo se relaciona con el equipo o "hardware", sino también con los sistemas de gestión y sus componentes, incluidos los conocimientos técnicos, bienes y servicios, equipos y procedimientos gerenciales.¹

En particular, la industria cementera en Chile ha venido desarrollando esfuerzos, en cuanto a su sostenibilidad, desde inicios de la década del 2000, en base a la implementación de múltiples iniciativas de alto impacto, tales como la gestión del factor clínker que lo sitúa en la actualidad como uno de los líderes de la industria cementera internacional, con un factor clínker promedio en el rango 66% – 68%, o el co-procesamiento de combustibles derivados de residuos, presentando en la actualidad tasas de sustitución térmica en torno al 13% en promedio, con interesante potencial de crecimiento. En cuanto a eficiencia energética en los procesos de producción, se puede comentar que la producción de clínker y cemento en Chile se materializa con tecnología de distintos niveles de eficiencia. Mientras existen

¹ https://www.oecd-ilibrary.org/trade/achieving-the-successful-transfer-of-environmentally-sound-technologies_308662648512

plantas integradas con tecnología de los años 70s y 80s (Cemento Melón en La Calera, Cemento Biobío en Antofagasta o Cemento Polpaico en Santiago) que se han modernizado paulatinamente, también existen plantas que cuentan con tecnologías más actualizadas, como Cementos BioBío en Curicó-Teno, con tecnología de inicios de los 2000. Las estaciones de molienda cuentan, en general, con tecnologías propias de las 2 últimas décadas, por lo que pueden considerarse procesos eficientes desde el punto de vista de la eficiencia energética.

Estos esfuerzos ciertamente han contribuido al cumplimiento de los compromisos asumidos por Chile a nivel internacional, pero no son suficientes, existiendo aún oportunidades relevantes de crecimiento y optimización, donde la identificación e implementación de medidas habilitantes que permitan enfrentar las barreras existentes se hace fundamental.

2. PRINCIPALES HALLAZGOS

El cemento (a través del hormigón), es el material de construcción más usado en el mundo y no se vislumbra otro tipo de material que esté disponible a este costo, volumen, y características técnicas. Es muy relevante para la gestión del cambio climático el buscar soluciones que permitan reducir las emisiones relacionadas a la producción y al uso del cemento dado que esta industria es responsable del 8% de las emisiones antrópicas de CO₂.

El principal objetivo de este trabajo es elaborar un análisis de necesidades tecnológicas para el desarrollo bajo en emisiones de la industria chilena del cemento y el hormigón, con objetivos cuantificables y realistas acordados entre las principales partes interesadas, por lo que por medio de su publicación se espera contribuir en acelerar la transformación tecnológica necesaria. Éste pretende complementar los esfuerzos del sector y aportar con una base de trabajo conjunta entre el sector público y privado. Por tanto, la hoja de ruta que proporciona este estudio corresponde a un ejercicio vivo y dinámico, que irá evolucionando en el tiempo en función del contexto de la industria nacional que se ve influida por múltiples factores endógenos y exógenos.

2.1 Desempeño de la industria: Estado actual de la industria y comportamiento de emisiones

Las empresas productoras de cemento en Chile se pueden clasificar en aquellas que cuentan con plantas integradas (producción de clínker y cemento) y aquellas que se han enfocado en la producción de cemento a partir de clínker importado mediante estaciones de molienda. La capacidad instalada de cemento es de 10,4 millones de toneladas al año, más de 2,5 veces el consumo anual nacional estimado de 3,9 millones de toneladas por el año 2018. A pesar de esta importante sobre-capacidad, la industria cementera chilena se enfrenta a un alto nivel de importaciones debido (I) a un alto costo de la caliza en

Chile (materia prima esencial en la producción de clínker), y (II) al bajo costo de las importaciones favorecido por un bajo precio de flete de retorno desde Asia².

Según la Hoja de Ruta de FICEM-ICH las emisiones directas de CO₂ por tonelada de clínker³ producido en Chile en el año 2014 fueron de 893 kg CO₂/ton clínker (FICEM-ICH, 2019), 6% encima del promedio mundial de 842 kg CO₂/ton clínker según el GNR ("Getting the Numbers Right" (GCCA, 2019)).

Por lo tanto, las emisiones de CO₂ por tonelada de cemento fueron de 581 kg CO₂/ton cemento, 10% bajo del promedio mundial de 637 kg CO₂/ton cemento, según el GNR. Este resultado, se explica principalmente por el bajo contenido de clínker en el cemento chileno que está entre los más bajos del mundo. Esto se debe a factores como la disponibilidad de materias de remplazo al clínker disponibles en Chile, como las escorias de alto horno, las cenizas, o la puzolana natural, y también al hecho de que la industria cementera comenzó hace muchos años a acostumbrar al mercado a estos tipos de cementos con adiciones y bajo contenido de clínker.

2.2 Potencial de reducción de emisiones

Una reducción efectiva de las emisiones de CO₂ implica actuar sobre toda la cadena de valor: cemento, hormigón, y construcción. Esta Hoja de Ruta se enfoca en la producción de cemento y hormigón⁴.

Los principales ejes para reducir las emisiones en el cemento y en el hormigón son tradicionalmente las siguientes (esto también aplica en el caso de Chile):

- A nivel del clínker:
 - Uso (coprocesamiento) de combustibles alternativos
 - Eficiencia energética térmica
- A nivel del cemento
 - Reducción del contenido de clínker en el cemento (factor clínker)
 - Eficiencia energética eléctrica
- A nivel del hormigón
 - Reducción del contenido de cemento en el hormigón

² Los barcos que llevan productos chilenos a Asia reducen el precio del flete de retorno para no regresar vacíos.

³ Clinker es el principal componente del cemento. La relación entre kgCO₂/ton Clinker y kgCO₂/ton cemento está determinada directamente por el factor clínker, es decir, por el contenido de clínker en el cemento.

⁴ Según lo establecido en los TdR del proyecto, el objetivo general es la realización de un estudio de análisis de necesidades tecnológicas de cambio climático (o TNA), con énfasis en el componente energético, en el sector del cemento y hormigón de Chile

Esta Hoja de Ruta considera únicamente los ejes adaptados a la situación chilena, en particular en términos de factibilidad económica. Por ejemplo, no se consideraron ejes como la ampliación de capacidad de los hornos que supone inversiones mayores que no son justificadas por la sobrecapacidad que debería mantenerse hasta el 2030. De lo anterior, tres ejes mayores fueron seleccionados:

Co-procesamiento: El coprocesamiento corresponde a un concepto de desarrollo sostenible basado en los principios de la ecología industrial, que se centra en el rol potencial de la industria para reducir las cargas ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida del producto, siendo uno de los objetivos principales convertir los residuos de una industria en materia prima o recursos energéticos de otra. En el sector del cemento, el uso de residuos como combustibles y materias primas es un ejemplo de los conceptos anteriores.

El objetivo sería aumentar la tasa de sustitución de 12,6% (2017) a 30% (2030), lo que implicaría consumir hasta 148.000 toneladas de combustibles derivados de residuos (CDR) por año. El nivel de inversión necesario está entre los 32 y 41 millones de USD, por concepto de capacidad de pre-procesamiento o producción de combustible derivado de residuos – CDR – a partir de residuos seleccionados (20 a 25 millones de USD), y por concepto de infraestructura de recepción, almacenamiento y alimentación del combustible derivado de residuos a los hornos cementeros (12 – 16 millones de USD), y podría reducir las emisiones netas en hasta 118.000 toneladas de CO₂ al año en Chile.

Conseguir este resultado necesitará levantar las barreras actuales, la mayoría de tipo regulatorio que se concentran en la actual falta de incentivos para canalizar los residuos hacia alternativas de valorización que sean sostenibles, como por ejemplo, el no reconocimiento de la valorización energética de la fracción no reciclable de envases y embalajes en el anteproyecto de decreto supremo que fija metas en el contexto de la Ley 20.920 (Ley REP), o los complejos procesos de obtención de permisos ambientales para proyectos de co-procesamiento. Se remiendan dos medidas mayores de mitigación: (I) adaptar la legislación Chilena al ejemplo europeo y (II) desarrollar, bajo el marco de un instrumento formal de cooperación público-privada, como un **Acuerdo de Producción Limpia (APL)**, un proceso de discusión que tenga como objetivo formalizar el compromiso de la industria para el desarrollo de tecnologías amigables con el medio ambiente con énfasis en las emisiones de CO₂, promoviendo y regulando al mismo tiempo el co-procesamiento mediante distintos instrumentos regulatorios, guías y lineamientos.

Reducción del factor clínker. A pesar de que el factor clínker de Chile es uno de los más bajos del mundo (64,8% en el 2017), se considera que no se va a poder seguir reduciendo sin disponer de más escorias de alto horno o de cenizas en cantidad y calidad suficiente. Si la puzolana natural chilena existe de manera abundante, su calidad no permite aumentar su porcentaje en el cemento más allá de lo que se hace ahora. Por lo tanto, se considera que se podría optimizar a niveles del 55% produciendo un nuevo tipo de cemento en base a arcilla calcinada. Lo anterior bajo el entendido que no se dispone de otras materias primas como las escorias de alto horno, cenizas, o puzolana natural en cantidad y calidad suficiente.

El nivel de inversión necesario para la reducción del factor clínker sería entre 10 y 12 millones de USD por concepto de los equipos necesarios para la calcinación de la arcilla (hornos rotativos o calcinador flash) y podría reducir las emisiones hasta 165.000 toneladas de CO₂ al año sin tomar en cuenta el efecto acumulado de los diferentes ejes.

No se identificaron barreras regulatorias a la implementación de este eje. Las barreras relacionadas son, además de la necesidad de encontrar materias de sustitución al clínker como se ha mencionado anteriormente, más del orden del conocimiento técnico y de la aceptación del mercado, dos barreras que se pueden superar fácilmente a base de asistencia técnica y campañas de concientización.

Reducción del contenido de cemento en el hormigón. Producir hormigón en plantas centralizadas permite ahorrar desde 50 kg de cemento por m³ en comparación con la producción manual en la obra con cemento en saco. Se estima que 40% de las ventas de cemento en Chile corresponden a sacos (<10% en Europa). La hoja de ruta propone como objetivo reducir a un 30% al 2030.

El nivel de inversión necesario sería de aproximadamente 500.000 EUR (USD 550.000) para 50.000 m³ de hormigón o hasta 13 millones de EUR en total (USD 14 millones) y podría reducir las emisiones hasta 68.000 toneladas de CO₂ al año sin tomar en cuenta el efecto acumulado de los diferentes ejes⁵.

No se identificaron barreras a la implementación de este eje. Por lo tanto, se sugiere incentivar la producción de hormigón en planta centralizada a través, por ejemplo, de descuento a los impuestos sobre la vivienda.

Se propone como último eje permitir la molienda separada de cemento, que es una práctica estándar al nivel internacional pero que en Chile no está permitida. No se prevé inversiones debido al alto nivel de sobrecapacidad y el ahorro de emisiones sería de unas 6.240 toneladas de CO₂ al año. Este eje supone modificar la normativa técnica que actualmente no contempla la posibilidad de molienda separada.

Considerando el efecto acumulado de estos ejes, el ahorro total de emisiones al horizonte 2030 alcanzaría hasta 327.000 toneladas netas de CO₂ al año, una reducción de 15% sobre el nivel de emisión actual.

La Tabla 1 muestra el efecto combinado de los diferentes ejes si se llevan a su máximo potencial individual, llegando a una reducción de 327.000 toneladas netas de CO₂, coexistiendo unos con otros. Es importante mencionar en este caso que el potencial máximo teórico de reducción de emisiones en base a la producción de cemento con arcilla calcinada es mayor (hasta 190.000 t anuales) si se considera el eje en forma aislada. Ese potencial disminuye tanto para emisiones brutas como netas (principalmente netas), ya que se combina con el efecto del coprocesamiento que ya implica una disminución en la emisión específica por tonelada de clínker. Con esto, el potencial de disminución para emisiones directas (netas), Alcance 1 que se considera aplicable, es el que se observa en la Tabla 1.

Para el caso de los otros ejes, el cálculo potencial se ha basado en el promedio del rango establecido por la referencia internacional (European Cement Research Academy, (ECRA, 2017)).

⁵ Opinión de expertos

Tabla 1: Reducción de emisiones 2017 - 2030 (tCO₂/año) con todos los ejes implementados a su máximo potencial

Emisiones Directas (Alcance 1)					
	Potencial Disminución emisiones - Brutas ⁶	Potencial Disminución emisiones - Netas	Base de cálculo	Total Potencial Disminución emisiones - Brutas	Total Potencial Disminución emisiones - Netas
Co-procesamiento	kg CO ₂ /t clínker	kg CO ₂ /t clínker	Mt clínker	tCO ₂ /año	t CO ₂ /año
	10,6	59,3	2,0 ⁷	21.200	118.600
Producción de Cemento Arcilla Calcinada	kg CO ₂ /t cem Arcilla calcinada	kg CO ₂ /t cem Arcilla calcinada	Mt cemento Arcilla Calcinada	tCO ₂ /año	tCO ₂ /año
	331	294	500,000 ⁸	165.450	147.225
Total parcial potencial (tCO₂/año)				186.650	265.825
Emisiones Indirectas (Alcance 2)					
	Potencial Disminución emisiones		Base de Cálculo	Total Potencial Disminución emisiones	
	kg CO ₂ /t cem		Mt cemento	tCO ₂ /año	
Molienda Separada	1,15		3,9	4.485	
Total parcial potencial (tCO₂/año)				4.485	

⁶ Según las convenciones internacionales y lo definido en el protocolo GNR para el reporte, monitoreo y verificación de emisiones en la industria cementera, las emisiones brutas corresponden al total de emisiones directas generadas en una planta productiva, incluyendo el CO₂ desde combustibles fósiles tradicionales y combustibles fósiles alternativos (derivados de residuos), excluyendo el CO₂ proveniente de biomasa (que se informa por separado). Las emisiones netas corresponden a las emisiones brutas menos los créditos obtenidos por disminuciones indirectas de GEI, y se obtienen restando de las emisiones brutas, aquellas provenientes de la fracción fósil de los combustibles alternativos. Esta convención debe ratificarse caso a caso, considerando las circunstancias locales.

⁷ Se considera la producción actual de clínker de 2.000.000 t anuales

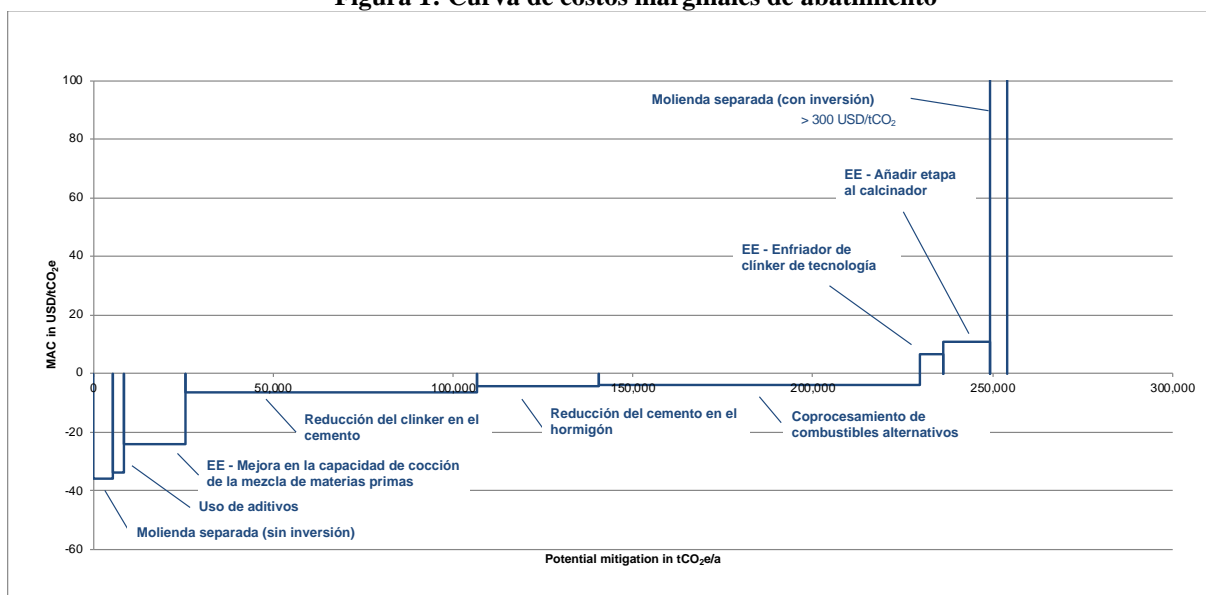
⁸ Considerando que se reemplaza 500.000 t de cemento OPC por 500.000 t de cemento a base de arcilla calcinada (12,8% de la producción total de cemento)

Otras Emisiones			
	Potencial Disminución emisiones	Base de Cálculo	Total Potencial Disminución emisiones
	kg CO ₂ /t cem	Mt cemento	tCO ₂ /año
Producción Industrializada de Hormigón	14,5	3,9	56.550
Total parcial potencial (tCO₂/año)			56.550
Total parcial potencial (tCO₂/año) - netas			326.860

2.3 Escenario de bajas emisiones proyectado hasta 2030

La estimación de la curva de costo marginal de abatimiento (MAC por su sigla en Inglés) para el sector cemento en Chile cubre el periodo 2020 – 2030.

Figura 1: Curva de costos marginales de abatimiento

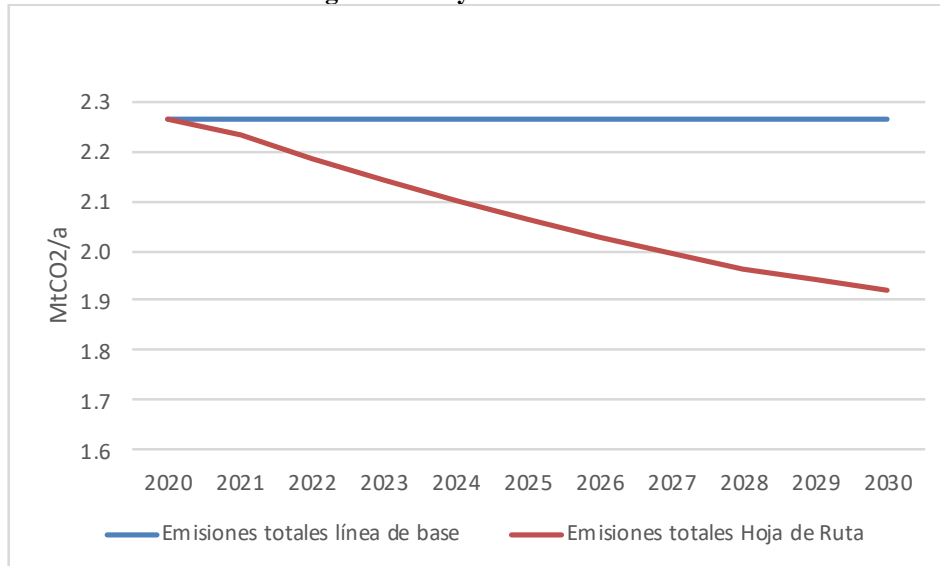


Como se puede observar, la mayor parte de las opciones de mitigación tienen un costo marginal de abatimiento negativo, lo que significa que son económicamente viables. Las opciones que resultan atractivas bajo este criterio sumado al criterio de potencial disminución de emisiones, son el coprocesamiento, la reducción del clinker en el cemento, la molienda separada (no requiere inversión), el uso de aditivos, y la reducción de cemento en el hormigón.

La implementación integral de las acciones de mitigación no se logrará de una vez en el corto plazo. Los potenciales estimados de mitigación, relativos a las acciones priorizadas y sus respectivos volúmenes de mitigación y costos, asumen una implementación total de todos los ejes hacia 2025. Esto dependerá de diferentes aspectos (políticos, regulatorios, económicos) que condicionan las medidas propuestas.

A través del tiempo, el potencial de mitigación alcanza hasta un 15% para 2030, comparado con la situación actual (2017)⁹. Como resultado, el sector cementero podría reducir desde casi 2,3 MtCO₂/año a 1,9 MtCO₂/año.

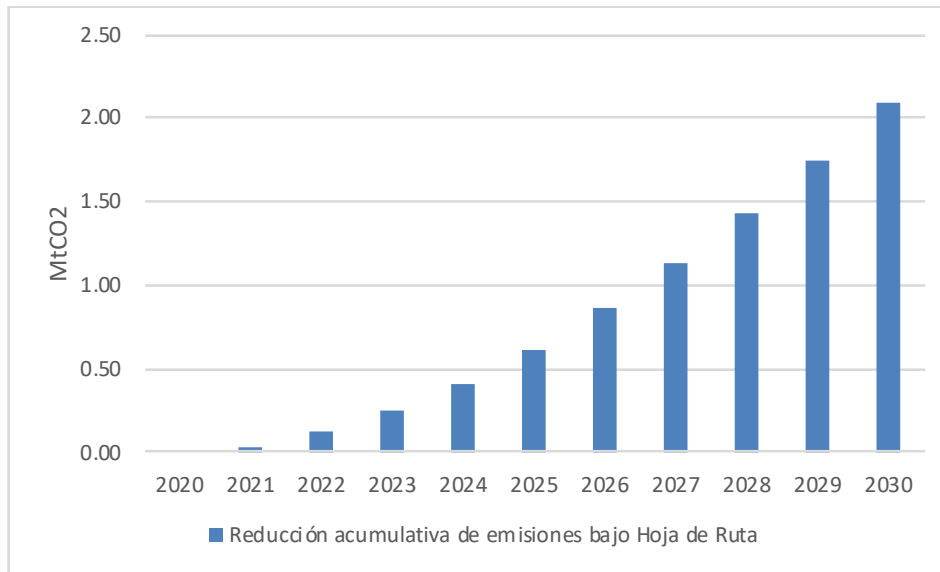
Figura 2: Trayectoria de emisiones



La reducción total de emisiones relativa a los 4 ejes principales identificados puede alcanzar un acumulado a 2030, de hasta 2,1 MtCO₂.

⁹ La situación actual de la industria, bajo el escenario “business as usual”, se asume como el desarrollo de la línea de base. Dada la actual sobrecapacidad en la producción de clínker y el estándar de competitividad comparable con las mejores tecnologías disponibles y mejores prácticas (Ej. Promedio de consumo térmico, factor clínker, etc), no se esperan mayores desviaciones respecto del escenario “business as usual”, sin intervención política o regulatoria. Las cifras e indicadores correspondientes a 2017 corresponden a la información más actualizada para el sector.

Figura 3: Reducción acumulativa de emisiones hasta 2030



La siguiente tabla resume el plan de acción para el desarrollo de bajas emisiones en sector cementero chileno:

Eje	Medida	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
A nivel de clínker	Coprocesamiento de combustibles alternativos	Diseño, Negociación e implementación Acuerdo de Producción Limpia (APL)						
		Coprocesamiento como alternativa de valorización para envases y embalajes (E&E)						
		Capacitación sector público en coprocesamiento					Capacitación sector público en coprocesamiento	
		Diseño Proyectos de valor compartido	Implementación Proyectos Valor Compartido					
		Capacitación y evaluación técnica y estratégica empresas cementeras				Capacitación y evaluación técnica y estratégica empresas cementeras		
		Involucramiento con sistemas integrados de gestión (SIGs) Responsabilidad Extendida del Productor (REP)						
		Inversión 20-25 Mio USD en pre-procesamiento						
				Inversión 4,2 Mio USD en Plantas	Inversión 2,8 Mio USD en Plantas	Inversión 2,8 Mio USD en Plantas	Inversión 2,1 Mio USD en Plantas	Inversión 2,1 Mio USD en Plantas
				Sustitución 16%	Sustitución 20%	Sustitución 22%	Sustitución 25%	Sustitución 27%
		A nivel del cemento	Mejora en la capacidad de cocción de la mezcla de materias primas	Estudios de factibilidad caso a caso				
	Implementación							
A nivel del cemento	Producción de cemento a base de caliza y arcilla calcinada	Estudios de factibilidad proyecto piloto						

Eje	Medida	2020	2021	2022	2023	2024	2025
			Ejecutar proyecto piloto				
				Programas de concientización, capacitación			
					Ejecución progresiva de las inversiones para llegar al objetivo de la Hoja de Ruta		
	Molienda separada sin inversión	Discusión y gestión para modificar normativa que no permite la molienda separada					
			Implementación				
	Uso de aditivos por la molienda	Discusión con las autoridades para cancelar la restricción legal					
			Implementación				
A nivel del hormigón	Aumento del hormigón premezclado versus fabricación manual en la obra	Programas de concientización. Negociación de un descuento sobre los impuestos relacionados a la vivienda para construcción responsable, por ejemplo, descuento sobre las contribuciones de bienes raíces					
			Por los 3 próximos años seguimiento de la concientización.				

3. EFECTO POTENCIAL DE UN PRECIO AL CARBONO SOBRE LA COMPETITIVIDAD DE LA INDUSTRIA CEMENTERA

Como se mencionó anteriormente, la industria chilena sufre de dos desventajas particulares en el contexto de su competitividad:

- El costo de producción de clínker en Chile es alto, debido al hecho que, o bien la caliza (materia prima esencial en la producción de clínker) es de bajo contenido en carbonato de calcio y entonces se necesita un costoso proceso para mejorar su calidad, o bien la caliza es de buena calidad, pero se encuentra en zonas lejanas a las plantas, lo que induce un alto costo de transporte. Esto se traduce por un alto costo de la caliza: USD 18 por tonelada cuando no supera los USD 4 en la mayoría de los países.
- Precios de importaciones de clínker y cementos artificialmente bajos debido al bajo costo del flete de retorno desde Asia en barcos utilizados para exportar materias primas chilenas como el cobre: Chile exporta altos volúmenes de productos mineros a Asia (Vietnam, China, Tailandia, Corea del Sur, etc.). Los barcos que llevan estas mercancías, en vez de regresar sin carga, son utilizados para el transporte de clínker desde Asia hacia Chile a bajo costo (logística reversa).

Esta situación confirma el hecho de que la industria cementera chilena no genera márgenes suficientes para bajar su precio de ventas y limitar importaciones que alcanzan el 40% del consumo total de cemento y clínker en Chile. Resulta que cualquier costo adicional, incluso de un precio al carbono como el impuesto verde, que no se aplique igualmente a las importaciones, obligará probablemente a las tres grandes compañías integradas a detener la producción de clínker en Chile y recurrir a importaciones.

La necesidad de reducir las emisiones de carbono para alcanzar los objetivos de mitigación del cambio climático requiere penalizar dichas emisiones de una forma u otra. El problema mayor a los que se enfrentan estos sistemas de fiscalización de las emisiones son las fugas de carbono. La mayoría de los sistemas de comercio de emisiones (ETS por sus siglas en inglés) incluyen distintos mecanismos de flexibilidad para mitigar este riesgo: la asignación gratuita de derechos de emisiones para las industrias más afectadas por la fuga de carbono, complementar con sistemas de compensación de emisiones, posibilidad de contar con flexibilidad temporal, entre otros.

Una forma eficiente para mantener una competencia equilibrada entre importaciones y producción local es implementar un Border Carbon Adjustment (BCA) que consiste en imponer a las importaciones el mismo precio al carbono que se aplica a la producción local. La Unión Europea (UE) está preparando una reforma de su ETS que incluirá un BCA.

En conclusión, la recomendación para la industria cementera chilena es de implementar una fiscalización de las emisiones o bien a base de un impuesto directo o de un ETS, pero siempre con BCA. Este ETS podría inicialmente incluir a los países de la Alianza Pacifico.

4. CONCLUSIONES

El cemento (a través del hormigón), es el material de construcción más usado en el mundo y no se vislumbra otro tipo de material que esté disponible a este costo, volumen, y características técnicas. La industria cementera es responsable de 8% de las emisiones antrópicas de CO₂. Es decir que es muy importante para la gestión del cambio climático buscar soluciones que permitan reducir las emisiones relacionadas al uso del cemento.

Según los datos del GNR, el nivel promedio de emisiones por tonelada de cemento bajó de manera significativa entre 1990 y 2010, pero esta reducción fue mucho más limitada entre el 2010 y el 2017. Eso se debe (I) a que 60% de las emisiones generadas por el clínker, el componente más importante del cemento, provienen de la reacción química característica de la fabricación del clínker, y (II) que se está acercando del nivel máximo de tecnología económicamente realista que se puede alcanzar para reducir las emisiones de CO₂ en el cemento. Nuevas tecnologías, como la captura de carbono, no son todavía factibles económicamente para ser implementadas a escala industrial por la industria cementera.

A base de este mismo informe GNR, se destaca que la industria cementera chilena tiene un bajo nivel de emisiones de CO₂ por tonelada de cemento gracias a un contenido de clínker en el cemento entre los más bajos del mundo. Esto se debe principalmente al hecho de que no solamente Chile dispone de materias de reemplazo al clínker como las escorias de alto horno, las cenizas, o la puzolana natural, sino que también al hecho de que la industria cementera comenzó tempranamente a acostumbrar al mercado a estos tipos de cementos con adiciones y bajo contenido de clínker, siendo la reticencia del mercado a nuevos tipos de cemento una de las principales barreras a la reducción del factor clínker. A pesar de esta situación, la industria cementera y las autoridades chilenas manifiestan su interés por continuar con el esfuerzo de reducir las emisiones más allá de su nivel actual a través de 3 ejes principales:

- Aumento de la tasa de sustitución de combustible fósil por combustible alternativos de 12,6% (2017) a 30% (2030),
- Reducción del contenido de clínker en el cemento de 67% (2014) a 55% (2030),
- Reducción del contenido de cemento de 50 kg de cemento por m³ de hormigón.

La combinación de los alcances de la Hoja de Ruta FICEM-ICH, publicada en abril de 2019, y de este trabajo, permitirían reducir las emisiones en hasta un 15% hacia el año 2030, en comparación con su nivel en 2014, confirmando el liderazgo mundial de la industria cementera chilena en términos de emisiones de CO₂ por tonelada de cemento.

Esta Hoja de Ruta se podría acompañar de un precio al carbono tipo ETS para acelerar y viabilizar las medidas propuestas, incluyendo a los países de la Alianza del Pacífico, pero necesariamente con un BCA (Border Carbon Adjustment).

REFERENCIAS

- ECRA. (2017). *ecra-online.org*. Obtenido de https://ecra-online.org/fileadmin/redaktion/files/pdf/CSI_ECRA_Technology_Papers_2017.pdf:
<https://ecra-online.org/research/technology-papers/>
- FICEM-ICH. (2019). *Hoja de ruta*. Obtenido de [www.ich.cl](http://hojaderutaficem.ich.cl/): <http://hojaderutaficem.ich.cl/>
- GCCA. (2019). *Getting the Numbers Right Project - Emissions Report 2017*. WBCSD Cement Sustainability Initiative: Global Cement and Concrete Association (GCCA).
- Ministerio del Medio Ambiente. (2016). *Tercera Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático 2016*.