



Hoja de Ruta Chile  
**Cemento y Concreto**

# Net Zero

2050



## PRESENTACION

La industria del cemento se encuentra en un momento decisivo en su historia, con una visión común de alcanzar la neutralidad de carbono al 2050 y seguir aportando al desarrollo y la resiliencia climática requerida en nuestros países. Este documento expresa el aporte de la Industria del Cemento y Hormigón de Chile a la sostenibilidad, la adaptación y mitigación al cambio climático, estableciendo una ruta para alcanzar los objetivos de mitigación de las emisiones directa e indirecta de GEI relacionadas al sector cemento y hormigón. Este trabajo es el resultado de un proceso colaborativo entre asociaciones internacionales, tales como la Global Cement and Concrete Association (GCCA); la Federación Interamericana del Cemento (FICEM); y la industria local, representada por el Instituto Chileno del Cemento y Hormigón de Chile (ICH), y las Compañías: CBB, Melón y Polpaico.

Es importante destacar que para alcanzar los objetivos planteados es necesaria la colaboración entre las distintas partes interesadas relacionadas con la industria, así como de marcos regulatorios habilitantes para la adopción de nuevas tecnologías y/o productos. Además, es esencial seguir fomentando la investigación, las inversiones verdes y la promoción de la construcción sostenible con productos bajos en carbono y aprovechar al máximo las oportunidades que ofrece la economía circular. Solo por medio de un enfoque integral podremos avanzar de manera efectiva hacia una industria del cemento y hormigón más sostenible y resiliente.

Esta Hoja de Ruta se alinea con las trayectorias de descarbonización global del cemento y hormigón, elaboradas por GCCA, y representa el aporte del sector para evitar que la temperatura de la Tierra aumente en más de 1,5°C en comparación con la era preindustrial.



## PRESENTACION

**FICEM**, a nivel regional ha liderado y representado por más de una década los esfuerzos de la industria en la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y el aporte del cemento para el desarrollo sostenible y resiliente de nuestra región y desde el año 2021 está comprometida con la carbono neutralidad al año 2050, mediante la investigación y divulgación científica, promoción de marcos regulatorios habilitantes y la determinación de escenarios de descarbonización basados en la data, la tecnología y la contribución del cemento y el concreto al desarrollo social y económico de nuestra región. Desde el año 2023 en alianza con GCCA apoya a los países de la región en la elaboración de sus propias Hojas, en el marco del **Programa NZA de GCCA**.

El **ICH** representa a la industria del cemento y hormigón local, priorizando la sostenibilidad en su producción y uso. En este sentido se publicó el año 2019, la Hoja de Ruta para una Economía Baja en Carbono en la Producción de Cemento, proyecto pionero a nivel regional desarrollado en conjunto con FICEM, siendo la base para la elaboración de la presente **Hoja de Ruta Net Zero Cemento y Concreto Chile 2050**, proyecto desarrollado bajo el Programa Acelerador Net Zero de GCCA.

Enrique Elsaca  
Gerente General  
CBB S.A.

Ivan Marinado  
Gerente General  
Melón S.A.

Andrés Pérez  
Gerente General  
Cemento Polpaico S.A.

Thomas Guillot  
Director Ejecutivo  
GGCCA

Maria Jose Garcia  
Directora Ejecutiva  
FICEM

Augusto Holmberg  
Gerente General  
ICH

*"Este documento expresa el aporte de la Industria del Cemento y Hormigón de Chile a la sostenibilidad, la adaptación y mitigación al cambio climático"*

# IPCC y el Cambio Climático



## El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático

(IPCC, por sus siglas en inglés,) es una entidad científica creada en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Tiene por objeto proporcionar información objetiva, clara, equilibrada y neutral del estado actual de conocimientos sobre el cambio climático a los responsables políticos y otros sectores interesados.

Desde su creación, el IPCC ha preparado una serie de documentos técnicos, informes especiales e informes de evaluación que se han puesto a disposición de la comunidad internacional, siendo el último documento de relevancia, el **Sexto informe de Evaluación del IPCC**, conocido por sus siglas en inglés -AR6- que proporciona una actualización del conocimiento sobre los aspectos científicos, técnicos y socioeconómicos del cambio climático.

Este Informe alerta sobre las graves consecuencias que el cambio climático genera sobre el planeta, y principalmente sobre las comunidades más vulnerables. Además, determina la necesidad de reducir a la mitad las emisiones de GEI al año 2030 y ser carbono neutral al 2050.

Con respecto al sector cemento, se establece la importancia de sustituir los combustibles fósiles tradicionales por energía proveniente de biomasa, teniendo como efecto reducciones de emisiones de CO<sub>2</sub> y de metano.

Se determina que cambios significativos debido a la descarbonización del cemento y hormigón requerirán una educación integral para los productores de cemento y hormigón; arquitectos; ingenieros; proveedores y usuarios no industriales de cemento y hormigón.

*"El Sexto Informe del IPCC determina la necesidad de reducir a la mitad las emisiones al año 2030 y ser carbono neutral al 2050."*

También se requerirán cambios en los códigos y estándares de construcción, sistemas de certificación y etiquetado, incentivos para nuevos productos bajos en carbono y medios de divulgación.

Por último, este Informe releva la importancia del secuestro del CO<sub>2</sub> en la infraestructura en base cemento, pudiendo llegar a compensar cerca de la mitad de las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por la actual producción de cemento.

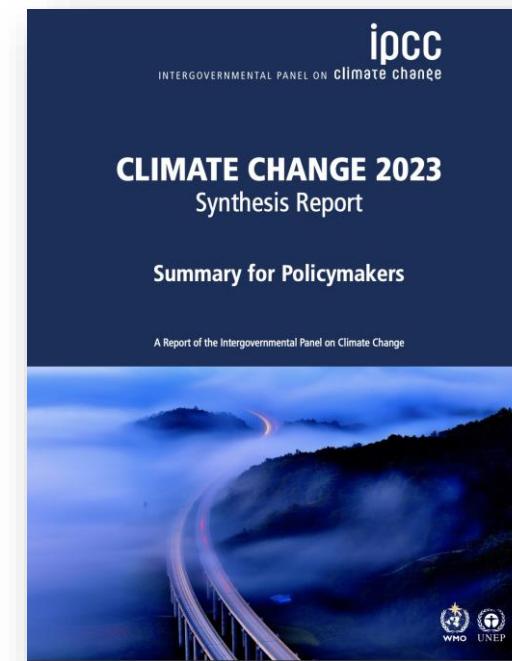


Imagen 1: Sexto Informe Evaluación IPCC

# Hoja de Ruta Net Zero GCCA



*"El Roadmap GCCA 2050 determina un camino hacia la neutralidad en carbono para contribuir a limitar el calentamiento global a 1,5°C*



**La Asociación Global de Cemento y Concreto (GCCA)** establece en su Roadmap Net Zero 2050, un compromiso colectivo de las empresas productoras de cemento y concreto para contribuir a la construcción de un mundo sostenible del mañana.

En este documento se determina un camino hacia la neutralidad en carbono para contribuir a limitar el calentamiento global a 1,5°C, comprometiéndose a producir concreto neutro en carbono para el año 2050, teniendo como año base el 2020.

Además, se destacan las acciones de la industria que ya están en marcha y que han generado reducciones de CO<sub>2</sub> a la fecha y las que se emprenderán en los próximos años, así como las necesarias contribuciones de diseñadores, contratistas, promotores, clientes, y autoridades, para alcanzar los objetivos planteados.

La estrategia al 2050 considera palancas de reducción, tanto en el consumo de cemento y hormigón, como en seguir reduciendo las emisiones directas e indirectas de CO<sub>2</sub>.

Al año 2030 se establecen metas de reducción emisiones de CO<sub>2</sub> de un 20% por tonelada de cemento y de un 25% por metro cúbico de hormigón. Estas metas de corto plazo evitarán que casi 5.000 millones de toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> entren a la atmósfera, comparado con un escenario sin cambios o acciones de reducción.

GCCA destaca que el éxito se alcanzará si se cuenta con el apoyo político adecuado para dar forma a la demanda de productos con bajas emisiones de carbono (viabilidad económica), de tal manera que se permita la transición del sector y se aprovechen al máximo las oportunidades de la economía circular, además de apoyar el desarrollo y la aplicación de innovaciones e infraestructuras clave.

GCCA en conjunto con Mission Possible Partnership (MPP), con el objetivo de divulgar las tecnologías necesarias para la implementación del Roadmap Net Zero 2050, encargaron a la Academia Europea de Investigación del Cemento (ECRA) una serie de papers para identificar, describir y evaluar tecnologías que puedan contribuir a aumentar la eficiencia energética y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en la industria del cemento, e incluye tecnologías emergentes que apuntan a lograr emisiones netas de CO<sub>2</sub> cero en la producción de clíker y cemento.

A continuación, la trayectoria determinada por GCCA para la descarbonización del concreto al año 2050.

#### El camino hacia el cero neto

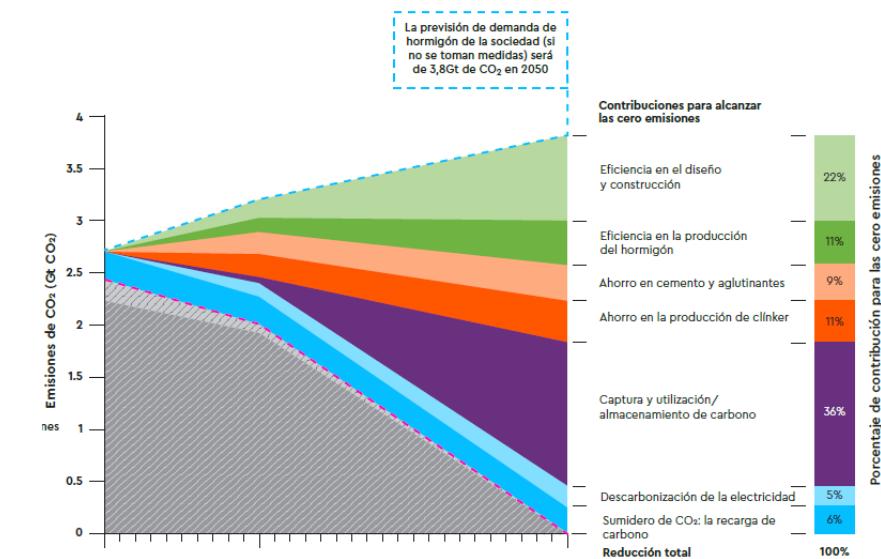
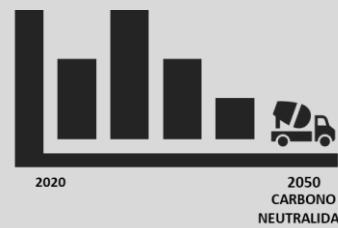


Figura 1: Trayectoria Net Zero GCCA 2050

"El Roadmap GCCA 2050 determina un camino hacia la neutralidad en carbono para contribuir a limitar el calentamiento global a 1,5°C



## ACCIONES PARA UN FUTURO SIN EMISIONES DE CARBONO

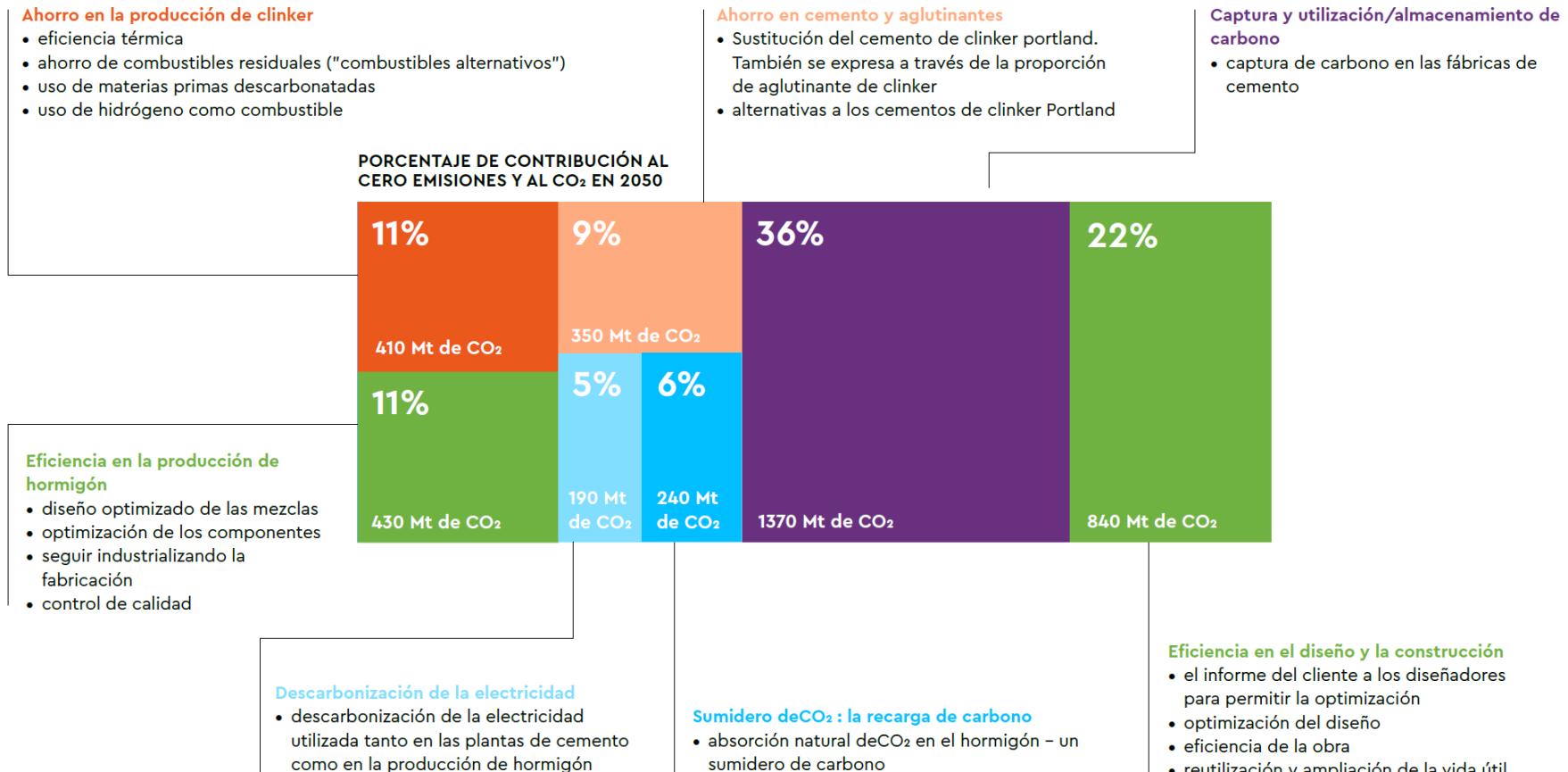
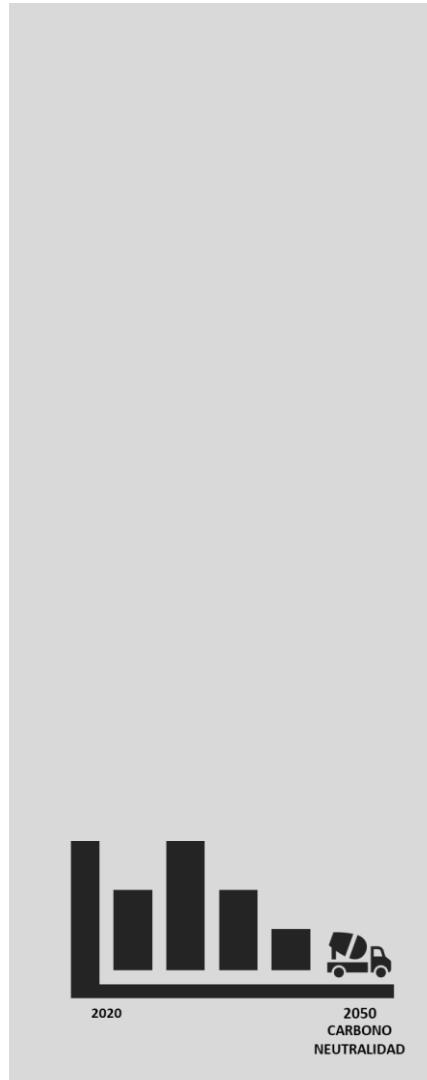


Figura 2: Aportes Ejes Reducción GCCA 2050

<https://gccassociation.org/>



## Documentos Tecnológicos ECRA

La industria cementera viene trabajando en soluciones técnicas, no sólo para hacer sus procesos energéticamente eficientes, sino para que también permitan la descarbonización del clínker y el cemento. Los documentos tecnológicos de la ECRA (European Cement Research Academy) resumen las diferentes tecnologías y su impacto en la demanda de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>. Muestran costos operativos detallados y montos de inversión involucrados en cada uno de ellos, proporcionando un conjunto único de documentos que permiten delinear los caminos de descarbonización requeridos.

La versión actual, del año 2022 tiene en cuenta los desarrollos recientes y futuros que son importantes para el sector en su transición hacia CO<sub>2</sub> neto cero para 2050. Estos incluyen el papel de los materiales cementicios suplementarios como las arcillas calcinadas, las diferentes tecnologías para capturar CO<sub>2</sub> en la planta de cemento, y formas de recarbonatar el cemento para el secuestro permanentemente del CO<sub>2</sub>.

Esta serie está dividida en dos partes, la primera corresponde a 8 documentos sobre el estado del arte de las actuales tecnologías y la segunda corresponde a 54 documentos de tecnologías presentes y futuras.

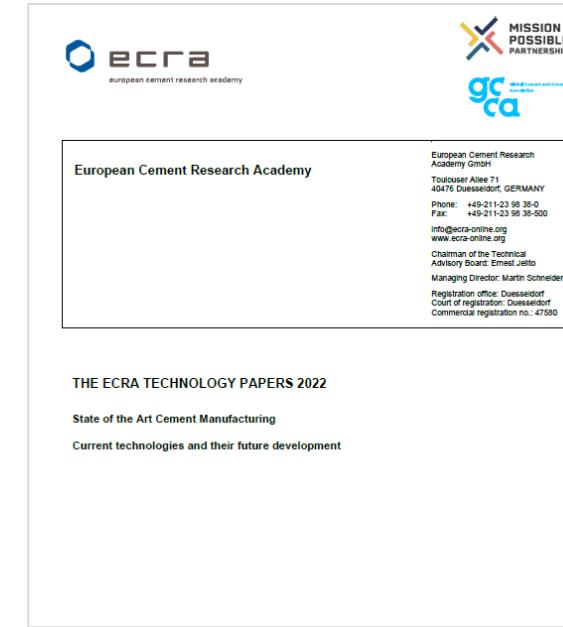


Imagen 2: Paper Tecnológicos ECRA 2022

<https://ecra-online.org/research/technology-papers/>

# Programa NZA GCCA-FICEM

## PROGRAMA ACELERADOR NET ZERO GCCA

El Programa Acelerador de la Hoja de Ruta Net Zero de GCCA está diseñado para ayudar a las industrias nacionales de cemento y concreto a descarbonizarse de acuerdo con la Hoja de Ruta de la Industria Global 2050 Net Zero de GCCA, con el objetivo de acelerar las implementaciones locales de la hoja de ruta global.

A nivel mundial, la fabricación de cemento y concreto representa alrededor del 7% de las emisiones de CO<sub>2</sub>. El plan global para eliminar estas emisiones para 2050 requiere que todas las partes del mundo aceleren sus reducciones en emisiones de CO<sub>2</sub>. El programa Accelerator ayuda a identificar las barreras locales para la descarbonización en los países objetivo y recomienda acciones clave.

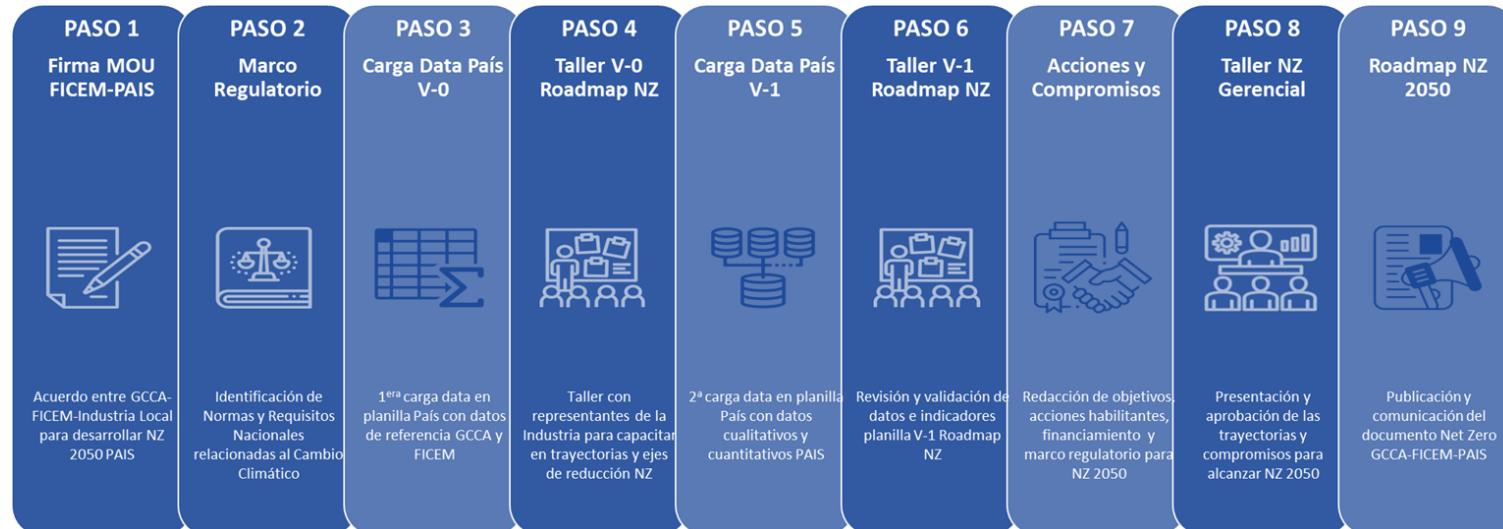
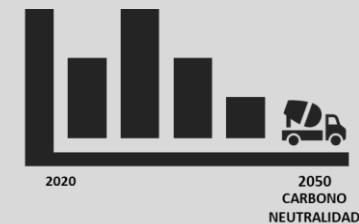


Figura 3: Metodología FICEM NZA - 9 Pasos

# Trayectoria Net Zero Chile

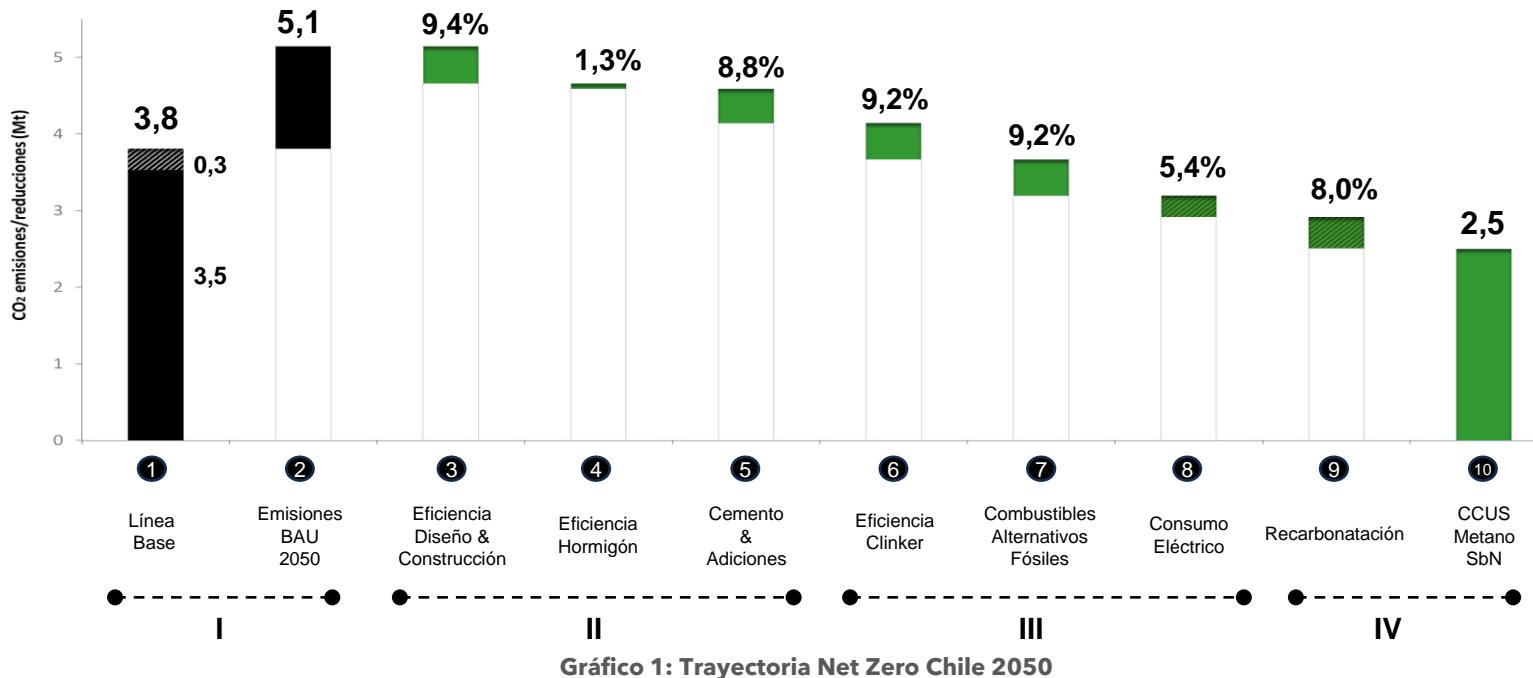


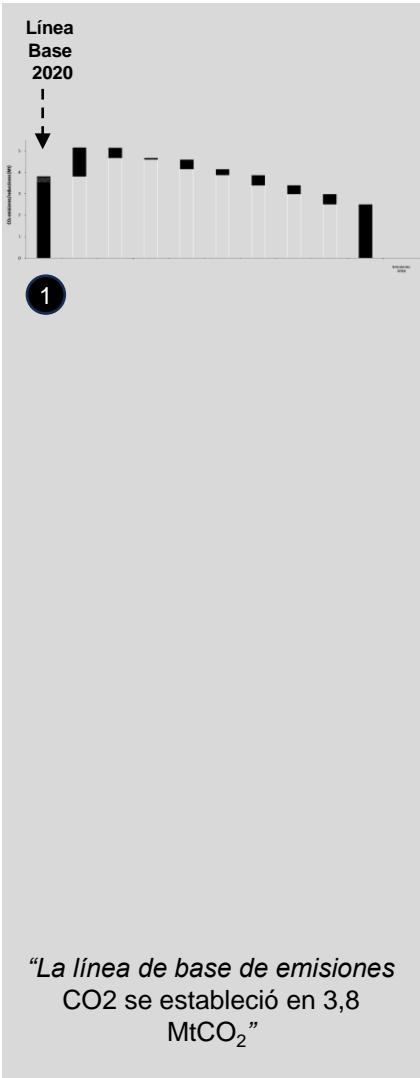
## Trayectoria Net Zero Chile 2050

Esta Hoja de Ruta, tal como se ha indicado, se elaboró sobre la base del Accelerator Program del Roadmap GCCA Net Zero Cement & Concrete 2050, usando la metodología FICEM de 9 pasos y los antecedentes de la Hoja de Ruta Chile 2019.

A nivel local, fue liderada por el Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (ICH) y con la participación del 100% de la producción integrada de cemento, representado por las compañías CBB, Melón y Polpaico.

Esta hoja de ruta se estructura en base a 2 Ejes de emisiones y 8 Ejes de reducción, expresados en los siguientes 4 grupos de **Indicadores NZ**:





## 1 Línea de base CO<sub>2</sub> 2020 NZ Chile

La línea de base (LB) corresponde a la información de inicio, respecto de ella, se medirán los avances de descarbonización de la Industria del cemento y hormigón en Chile.

Se definió como LB representativa para el año 2020, las emisiones indicadas en el Informe Validado por PwC - 2018.

En esta LB, se consideró el consumo de clínker y su factor de emisión ponderado, considerando, tanto el clínker producido localmente (40%), como el clínker importado (60%).

El factor de emisión de clínker propio es la sumatoria de los elementos que participan en las emisiones de CO<sub>2</sub>: calcinación, CO<sub>2</sub> de la caliza, combustibles tradicionales fósiles y alternativos.

El factor de emisión de clínker importado se define por estándares internacionales (865 kgCO<sub>2</sub>/t clínker GNR) y se considera el CO<sub>2</sub> del transporte naviero (6 grCO<sub>2</sub> por tonelada por kilómetro transportado). Para esta LB, se consideró 120 kgCO<sub>2</sub>/t clínker adicionales, asumiendo una distancia de 20,000 kilómetros navieros desde su puerto de origen.

La intensidad de emisiones del clínker nacional son 930 kgCO<sub>2</sub> por cada tonelada de clínker y 985 kgCO<sub>2</sub> por tonelada de clínker importado.

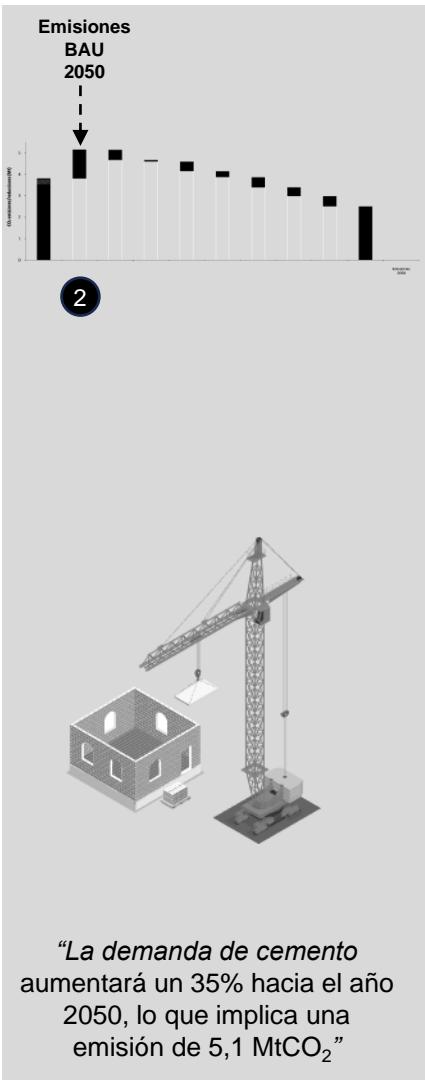
Esta LB también incluye las emisiones de CO<sub>2</sub> debido al consumo eléctrico en la producción de cemento y hormigón, que resulta del producto entre el factor de la red eléctrica nacional (0,419 kgCO<sub>2</sub>/kWh) y el consumo eléctrico total (0,66 TWh).

En conclusión, la LB, alcanzó los 3,8 Mt de CO<sub>2</sub>, que se compone de 3,5 MtCO<sub>2</sub> provenientes del consumo de clínker y 0,3 MtCO<sub>2</sub> que provienen del consumo eléctrico.

A continuación, la tabla resumen de los principales antecedentes para estimar la Línea de Base 2020.

EMISIONES LINEA DE BASE CO <sub>2</sub>	UNIDAD	2020
<b>Participación Clínker Local (40%)</b>	<b>kgCO<sub>2</sub> / t clínker</b>	<b>930</b>
Emisiones Calcinación	kgCO <sub>2</sub> / t clínker	525
Emisiones Carbono Orgánico Piedra Caliza	kgCO <sub>2</sub> / t clínker	11
Emisiones Combustibles Fósiles	kgCO <sub>2</sub> / t clínker	351
Emisiones Combustibles Alternativos Fósiles	kgCO <sub>2</sub> / t clínker	43
<b>Participación Clínker Importado (60%)</b>	<b>kgCO<sub>2</sub> / t clínker</b>	<b>985</b>
Factor Emisión	kgCO <sub>2</sub> / t clínker	865
Transporte Naviero	kgCO <sub>2</sub> / t clínker	120
<b>Emisión Clínker</b>	<b>MtCO<sub>2</sub></b>	<b>3,5</b>
Factor Emisión Eléctrico	kgCO <sub>2</sub> /kWh	0,419
Consumo Eléctrico Total	TWh	0,66
<b>Emisión Directa</b>	<b>MtCO<sub>2</sub></b>	<b>3,5</b>
<b>Emisión Indirecta Electricidad</b>	<b>MtCO<sub>2</sub></b>	<b>0,3</b>
<b>Emisiones Totales Línea Base 2020</b>	<b>MtCO<sub>2</sub></b>	<b>3,8</b>

Tabla 1: Emisiones CO<sub>2</sub> Línea de Base Chile 2020



## 2 Emisiones CO<sub>2</sub> Proyectadas 2050

A nivel global, es necesario considerar que en economías en desarrollo con déficit de vivienda e infraestructura y la urgente necesidad de adaptación al cambio climático, demandarán altos niveles de cemento y hormigón en las próximas 3 décadas, teniendo como consecuencia un significativo aumento de sus emisiones en un escenario Business as Usual (BAU). Esto, a diferencia de economías desarrolladas donde el consumo de cemento tiende a mantenerse constante e incluso reducirse. Lo anterior demuestra el gran desafío que debe enfrentar la industria del cemento en economías en desarrollo, dado que deben bajar sus actuales emisiones de CO<sub>2</sub> en un escenario de incremento en la demanda.

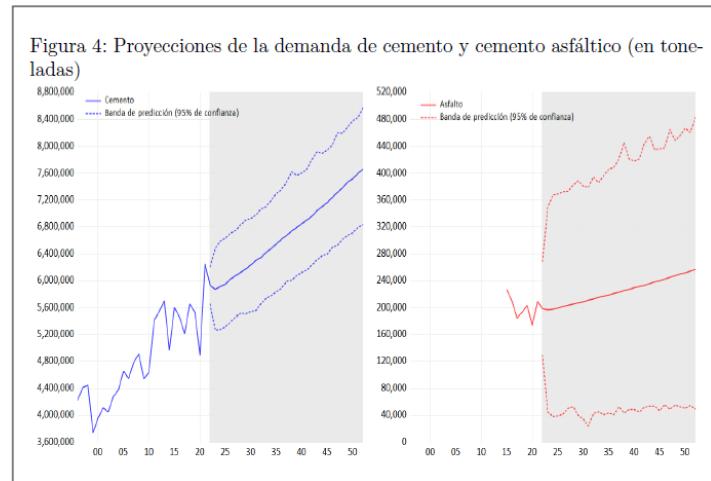


Figura 3: Proyecciones demanda cemento, CChC, 2022

Para el caso de Chile, se consideró un aumento en el consumo de cemento para el año 2050 de un 35%, como escenario BAU con respecto a la línea de base 2020, de acuerdo al estudio de la Cámara Chilena de la Construcción “Una Aproximación de la Demanda de Áridos de Largo Plazo en Chile”, del año 2022

El Escenario BAU llevaría las emisiones de CO<sub>2</sub> a 5,1 Mt en 2050, al considerar las proyecciones del aumento de demanda de cemento.

Las proyecciones de consumo se estiman en 6,9 millones de toneladas de cemento y 4,9 millones de toneladas de clínker, en un escenario que no considera la aplicación de eficiencia en la industria de la construcción (Escenario BAU). Lo anterior, versus el 21% de incremento en un escenario con eficiencia en la producción y uso del producto.

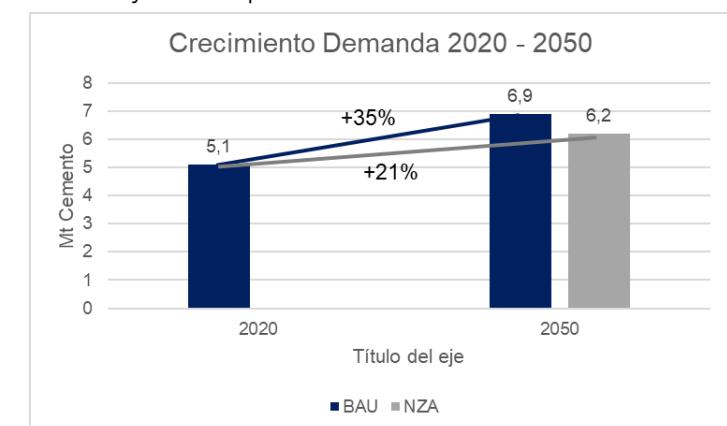
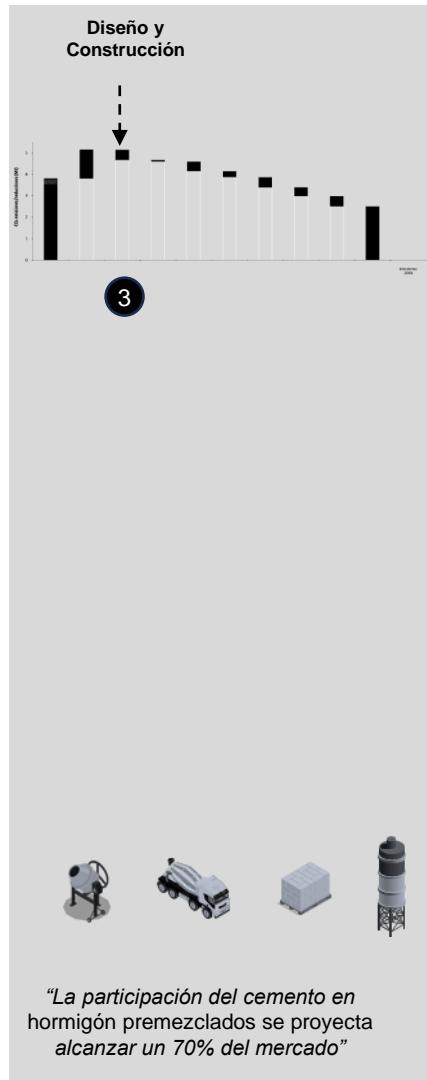


Gráfico 2: Crecimiento Demanda Cemento Chile 2050



### 3 Eficiencia en el Diseño y Construcción

El enfoque en la optimización del diseño y la construcción busca reducir el consumo del hormigón, cemento y/o clínker a través de estrategias de eficiencia en su uso. Se consideran mejoras en la planificación del diseño, gestión de proyectos, reutilización y prolongación de la vida útil de construcciones, transición a procesos industrializados, cumplimiento de normas de desempeño y adaptación de métodos de diseño específicos para cada componente constructivo.

Para determinar cuantitativamente la eficiencia en el diseño y construcción, se consideran los siguientes 4 canales de distribución para el cemento: hormigón premezclado, silo en obra, prefabricados y en sacos.

La distribución de la participación del cemento en estos 4 canales determina el nivel de la industrialización del mercado y el potencial de reducción de CO<sub>2</sub> debido al efecto de la optimización del uso de producto en obra.

El hormigón premezclado es el principal canal de distribución del cemento en Chile, alcanzando el 55% al 2020 y se proyecta un incremento de 15 puntos porcentuales al 2050.

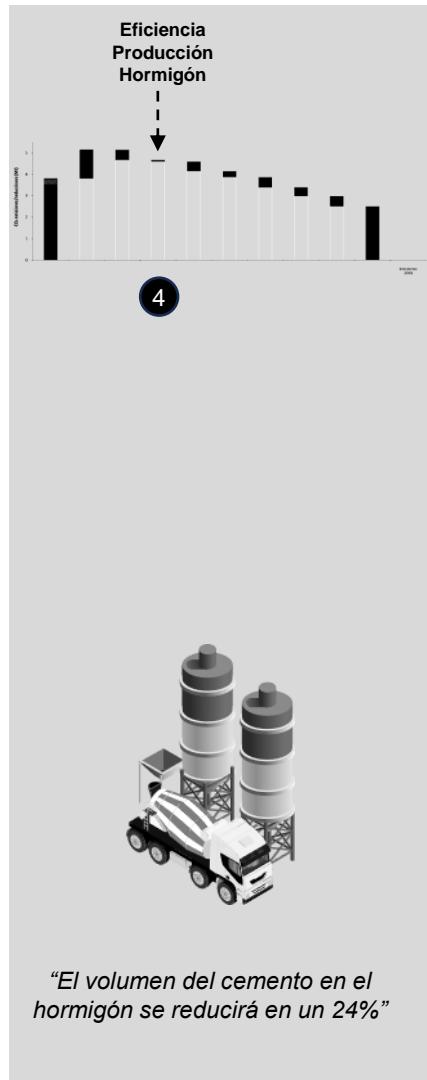
La distribución en sacos representa el 30% del consumo de cemento, y se proyecta una reducción de 20 puntos porcentuales al año 2050.

Estos indicadores a nivel global se consideran para determinar el nivel de industrialización o informalidad del uso del cemento y así poder determinar el potencial de reducción de CO<sub>2</sub> en este eje. Se pudo apreciar que Chile presenta un alto nivel de industrialización, a diferencia de lo que ocurre el resto de la región donde el saco representa más del 60% del uso del cemento. Este eje aportaría el 9,4% del total de las reducciones al 2050.

A continuación, la tabla resumen de los principales canales de distribución del cemento en Chile y la participación del clínker.

CANALES DISTRIBUCION CEMENTO	2020	2030	2050
<b>Hormigón Premezclado</b>	<b>55%</b>	<b>60%</b>	<b>70%</b>
Factor Clínker	80%	75%	65%
<b>Sacos</b>	<b>30%</b>	<b>25%</b>	<b>10%</b>
Factor Clínker	50%	47%	45%
<b>Silo en Obra</b>	<b>10%</b>	<b>5%</b>	<b>5%</b>
Factor Clínker	80%	75%	65%
<b>Prefabricados</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>
Factor Clínker	80%	75%	65%

Tabla 2: Canales Distribución de Cemento en Chile



#### 4 Eficiencia en Producción de Hormigón

La producción de hormigón ofrece oportunidades para reducir significativamente el consumo de cemento, su principal fuente de CO<sub>2</sub>. Por ejemplo, cambiar el uso de cemento en sacos a cemento a granel puede disminuir entre un 10-20% del material cementante utilizado, sin afectar la resistencia, mediante dosificaciones precisas y técnicas de transporte adecuadas y aplicaciones eficientes. Además, automatizar las plantas de hormigón premezclado, reducirá las emisiones de CO<sub>2</sub> producto de mezclas y dosificaciones optimizadas.

Los parámetros que se utilizan para determinar las ganancias en eficiencia en la producción de hormigón son: volumen de mezcla con mayor o menor contenido de aditivos para una trabajabilidad adecuada, curvas granulométricas de los áridos, control de calidad en plantas de hormigón premezclado, reducción de residuos, diseños de mezcla con I.A., entre otros.

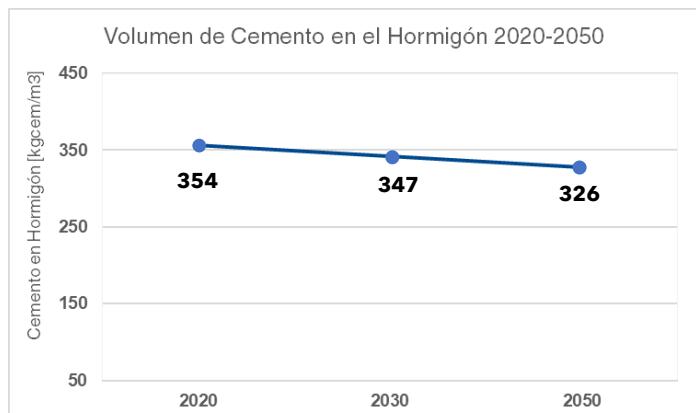


Gráfico 3: Proyección Contenido de Cemento 2020-2050

En Chile, actualmente, el volumen total de hormigón producido corresponde a 14,5 millones de metros cúbicos, proyectándose un aumento a 19 Mm<sup>3</sup> al año 2050 (+31%).

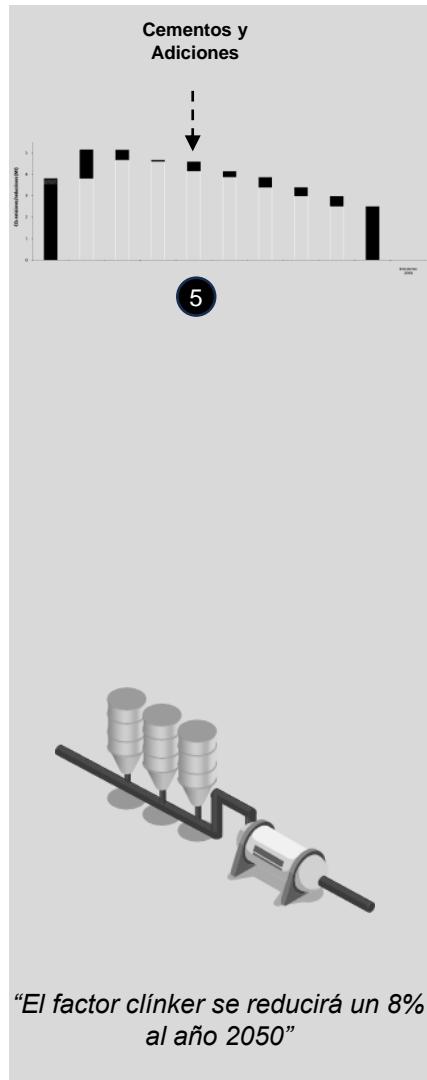
Se proyecta un fuerte aumento de hormigón producido con elementos prefabricados y hormigón premezclado, disminuyendo el hormigón producido con cemento en sacos y silos en obra.

Actualmente, cada metro cúbico de hormigón contiene 354 kg de cemento y al año 2050 se proyectan que este valor alcance los 326 kg de cemento por metro cúbico, lo que refleja un 8% menos de dosificación de cemento en el hormigón.

A continuación, la tabla resumen de los principales indicadores del contenido de cemento en el hormigón en Chile.

CONTENIDO CEMENTO EN HORMIGON	2020	2030	2050
Cemento Producido (Mt)	5,1	5,4	6,2
Volumen Total hormigón [Mm <sup>3</sup> ]	14,5	15,5	19,0
Hormigón RMX [Mm <sup>3</sup> ]	7,9	9,2	13,2
Hormigón desde sacos [Mm <sup>3</sup> ]	4,4	3,9	1,9
Hormigón desde silos [Mm <sup>3</sup> ]	1,6	0,8	0,9
Hormigón en prefabricados [Mm <sup>3</sup> ]	0,6	1,6	3,0
Cemento en hormigón [kg cem/m <sup>3</sup> ]	354	347	326

Tabla 3: Volumen de Cemento en el Concreto Chile



## 5 Cementos y Adiciones

El contenido de clínker en el cemento, representa la principal fuente de CO<sub>2</sub>. La reducción de su uso en la producción de cemento, sin comprometer la calidad, e incluso mejorándola, es uno de los principales objetivos de esta Hoja de Ruta, por tanto, la incorporación de Materiales Cementicios Suplementarios (SCM) en reemplazo de clínker en el cemento, disminuye proporcionalmente la huella de carbono en el producto final. Lo anterior, depende, además de la calidad final del producto, de los marcos regulatorios y la aceptación del mercado de los cementos con alto contenido de adiciones.

Algunos SCM en el cemento, son:

**Ceniza volante:** residuo sólido que se obtiene de los gases de combustión en centrales termoeléctricas a carbón.

**Puzolana:** material silíceo o aluminio-silíceo que se obtiene de los depósitos de ceniza provenientes de erupciones volcánicas

**Escoria:** residuo sólido resultante del proceso de producción de acero en los altos hornos siderúrgico

**Caliza:** roca sedimentaria formada principalmente por carbonato de calcio. Este material se utiliza como relleno (filler calizo).

**Arcilla calcinada:** se producen mediante la calcinación de arcillas y actúan como una puzolana artificial en el cemento

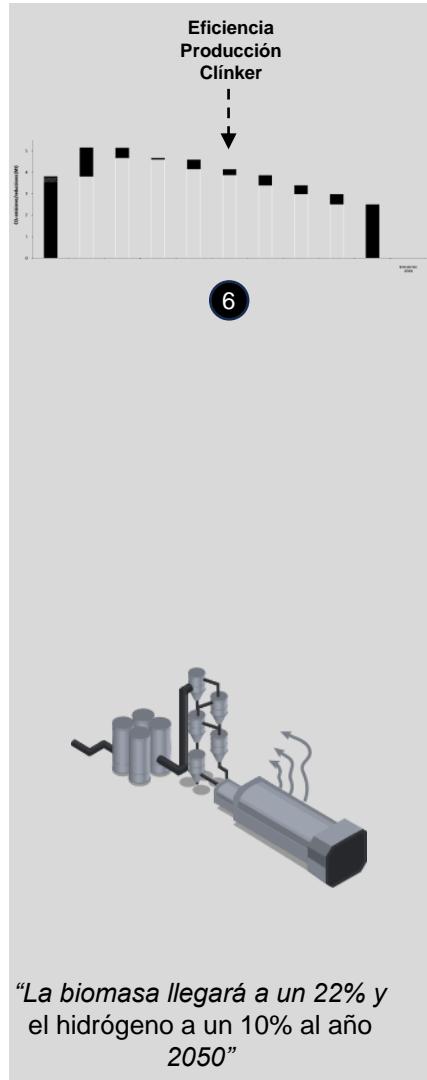
En Chile, la participación del clínker en el cemento proyecta una disminución de 8 puntos porcentuales, con respecto al 71% actual.

La puzolana seguirá siendo la principal adición en el cemento al 2050, debido a su alta disponibilidad y calidad. Lo anterior, debido a que Chile presenta una de las más altas concentraciones de volcanes a nivel mundial.

A continuación, tabla indicativa de los componentes del cemento en Chile.

COMPONENTES DEL CEMENTO	2020	2050
<b>Clínker</b>	<b>71%</b>	<b>63%</b>
Yeso	5%	5%
Escoria	2%	1%
Cenizas	2%	0%
Puzolana	20%	20%
Otras Adiciones	0%	11%

Tabla 4: Componentes del Cemento en Chile



## 6 Eficiencia en la Producción de Clínker

Reducir las emisiones en la producción de clínker requiere una estrategia doble: mejorar la eficiencia térmica de los hornos y usar combustibles bajos en carbono. La mejora en la eficiencia térmica de los hornos en la industria nacional se presenta como una oportunidad, ya que los 3887 MJ/t clínker reflejan que aún existe margen de reducción en comparación con la "Planta de Referencia" de los Papers ECRA. Además, combustibles neutros en carbono, como la biomasa o el hidrógeno verde, deberán ser priorizados en la matriz energética futura, según su disponibilidad y costos comparativos.

Los combustibles provenientes de biomasa pura utilizados hoy en día en la industria del cemento son principalmente residuos de agricultura, madera, lodos de depuradora y harinas animales, entre otros. Los residuos que contienen fracción de biomasa son principalmente residuos industriales y domésticos pretratados (que contienen determinadas partes de fibras y textiles orgánicos, papel, etc.), así como neumáticos en desuso, que contienen entre un 20 y un 35% de caucho natural.

En principio, los hornos de cemento pueden utilizar hasta el 100% de combustibles basados en residuos y/o biomasa. Sin embargo, existen ciertas limitaciones técnicas, como el poder calorífico y el contenido de cloro, por ejemplo.

El uso de hidrógeno verde (H2V), en el corto y mediano plazo presenta el potencial de ser un mejorador del poder calorífico para el uso de combustibles alternativos como reemplazo de combustibles convencionales. En el largo plazo, tiene potencial para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, siendo sus principales desafíos los costos asociados y la disponibilidad de energías renovables para su producción.

Para el año 2050, se proyecta una participación de la biomasa de un 22% y un 10% de H2V en la matriz energética de los hornos de producción de clínker.

Por su parte, se proyecta disminuir la demanda de energía térmica a 3300 MJ/t clínker al año 2050, con respecto a los actuales 3887 MJ/t clínker.

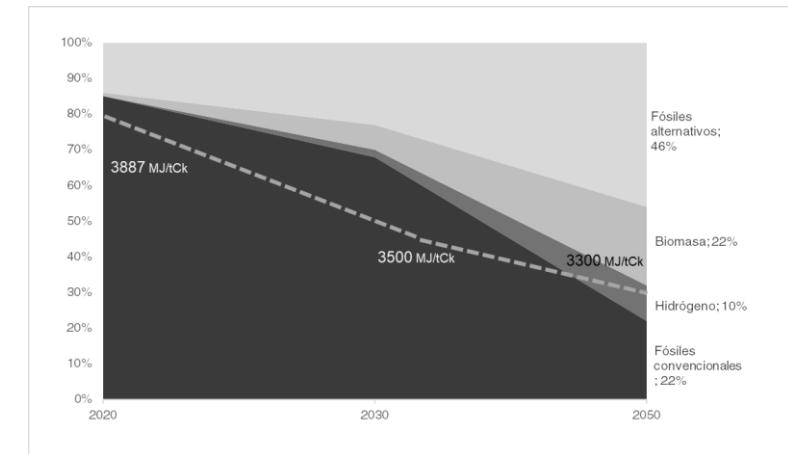
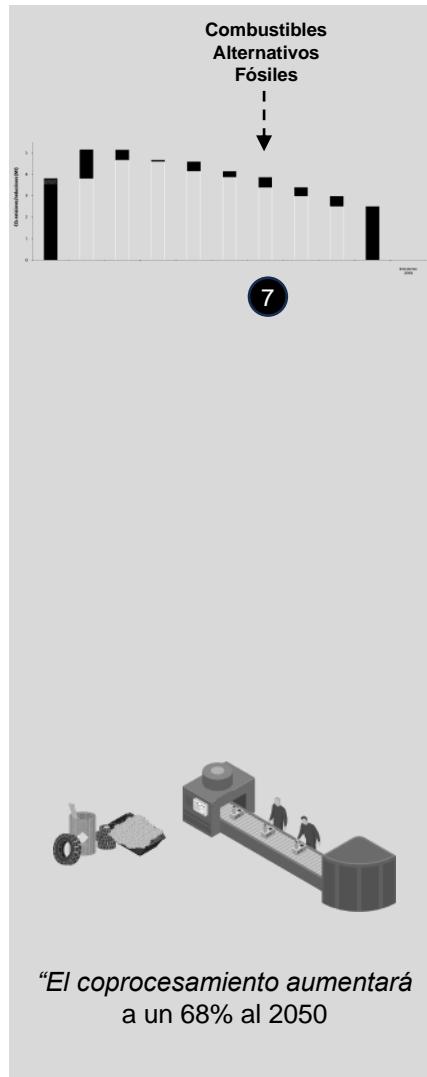


Gráfico 4: Participación Combustibles y Eficiencia Térmica

	2020	2030	2050
Biomasa	1%	7%	22%
Hidrógeno	0%	2%	10%
Eficiencia Térmica [MJ/tCk]	3887	3500	3300

Tabla 5: Contenido Biomasa e Hidrógeno Matriz Combustibles y Eficiencia Térmica Correspondiente



## 7 Combustibles alternativos fósiles

Los hornos de producción de clínker poseen la capacidad técnica para emplear, simultáneamente, diversos tipos de combustibles, como alternativas a los combustibles fósiles tradicionales. Entre ellos, además de la biomasa y el H2V, se encuentran: la fracción energética de los residuos, tales como neumáticos fuera de uso, aceites industriales, residuos urbanos, plásticos, entre otros. Esta valorización energética de residuos se realiza mediante la tecnología del coprocesamiento, que proporciona una solución segura y ambientalmente racional para este tipo de residuos. Lo anterior, de acuerdo a lo establecido en las directrices de Basilea sobre coprocesamiento.

Actualmente, el coprocesamiento es una tecnología ampliamente utilizada en economías desarrolladas, dado que aporta una fuente de energía baja o nula en carbono y que contribuye a una eliminación segura y final de los residuos, aportando al despliegue de la economía circular en estos países.

A continuación, el ranking 2021 para los 5 países con mayor nivel de coprocesamiento de acuerdo a GNR y las tasas de coprocesamiento en distintas regiones del mundo:

1. Austria (76%)
2. Polonia (76%)
3. República Checa (75%)
4. Alemania (70%)
5. Reino Unido (43%)

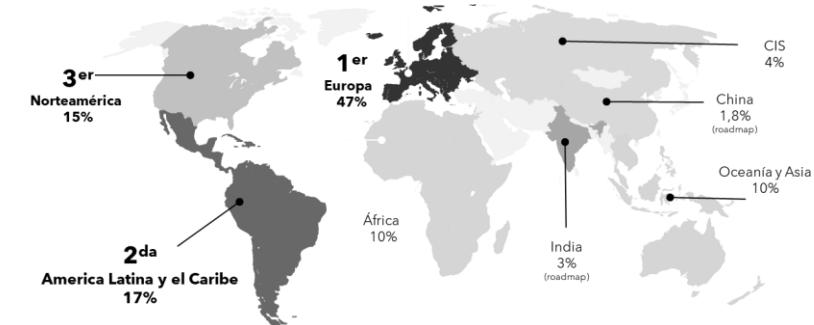
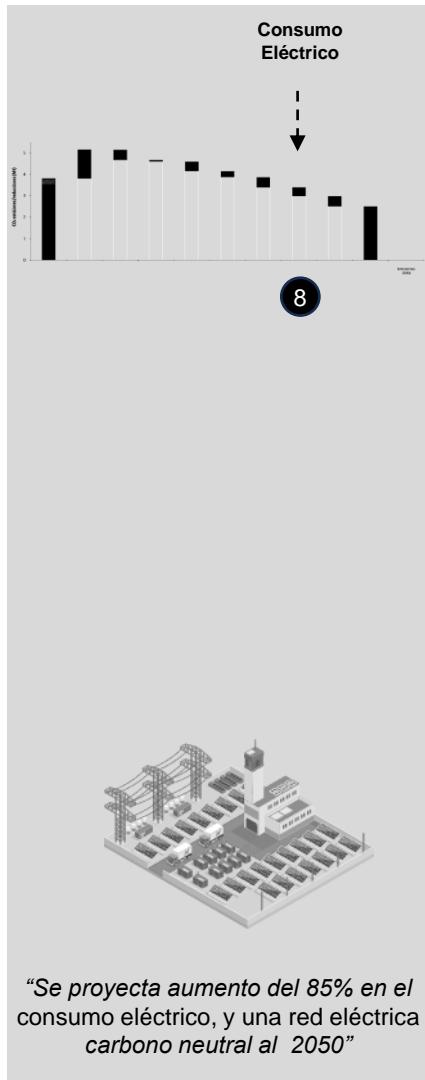


Figura 4: Coprocesamiento a nivel global

Para el caso de Chile, se proyecta al año 2050 un 46% de combustibles fósiles alternativos, con respecto al 14% actual. Con este aporte, el coprocesamiento alcanzará un 68% del total de la energía que demandarán los hornos al 2050.

MATRIZ COMBUSTIBLES	2020	2030	2050
Carbón	1%	0%	0%
Petcoke	84%	66%	10%
Gas Natural	0%	2%	12%
<b>Fósiles Convencionales (%)</b>	<b>85%</b>	<b>68%</b>	<b>22%</b>
Fósiles Alternativos	14%	23%	46%
Biomasa	1%	7%	22%
<b>Coprocesamiento</b>	<b>15%</b>	<b>30%</b>	<b>68%</b>
<b>Hidrógeno</b>	<b>0%</b>	<b>2%</b>	<b>10%</b>

Tabla 6: Matriz de combustibles y coprocesamiento



## 8 Consumo eléctrico

Actualmente, el consumo eléctrico en las plantas de cemento, tiene a los procesos de molienda como principal demandante de este tipo de energía. A futuro, se proyecta un incremento significativo de la demanda eléctrica debido a la electrificación de los procesos en las plantas y principalmente por la implementación de las instalaciones captura de CO<sub>2</sub>. Este tipo de instalaciones pueden llegar a triplicar el actual factor de consumo eléctrico de una planta.

Por lo anterior, la principal estrategia para neutralizar la huella de CO<sub>2</sub> proveniente del consumo eléctrico, es el uso de 100% de energía eléctrica de fuentes renovables no convencionales.

En Chile, la demanda eléctrica por tonelada de cemento se mantendrá constante en 124 kWh al año 2050.

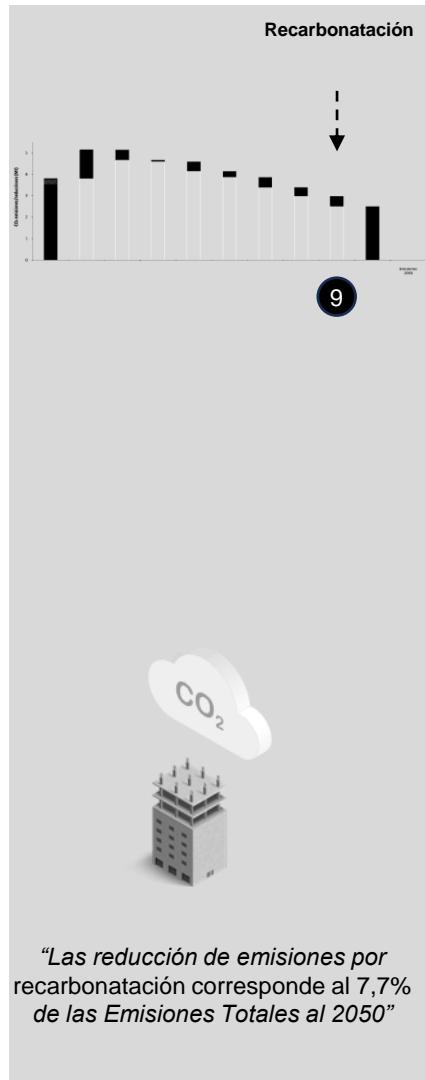
Para la captura de carbono se proyecta un incremento de 100 kWh por cada tonelada de clínker, asumiendo que sólo un tercio de la producción de clínker será cubierta con esta tecnología. De acuerdo a los Paper de la ECRA, la captura incrementa, en promedio, 300 kWh por tonelada de clínker producido, indicador que depende de la tecnología aplicada.

En conclusión, el consumo eléctrico total en la industria del cemento y hormigón en Chile, aumentará de los actuales 0,66 TWh, a 1,24 TWh para el año 2050, lo que implica casi duplicar la actual demanda eléctrica.

EMISIONES INDIRECTAS (ALCANCE 2)	2020	2030	2050
Factor Emisión Red Eléctrica [gCO <sub>2</sub> /kWh]	<b>419</b>	<b>200</b>	<b>0</b>
Consumo Específico Cemento [kWh/t cem]	124	124	124
Consumo Eléctrico Cemento [TWh]	0,64	0,67	0,77
Consumo Específico Hormigón [kWh/m <sup>3</sup> ]	3	3	5
Consumo Eléctrico Hormigón [TWh]	0,025	0,032	0,081
Consumo Específico CCUS* [kWh/t ck]	0	0	100
Consumo Eléctrico CCUS [TWh]	0	0	0,4
Consumo Eléctrico Total [TWh]	<b>0,66</b>	<b>0,70</b>	<b>1,24</b>
Emisiones Indirectas Electricidad [MtCO <sub>2</sub> ]	<b>0,28</b>	<b>0,14</b>	<b>0,0</b>

\* Considerando solo un tercio producción de clínker con captura

Tabla 7: Emisiones Indirectas Electricidad (Alcance 2)



## 9 Recarbonatación

La recarbonatación se define como una reacción química por la cual el CO<sub>2</sub> de la atmósfera es absorbido por el hormigón durante su ciclo de vida, formando principalmente carbonato cálcico en las estructuras.

Además de absorber CO<sub>2</sub> de la atmósfera, este proceso puede fortalecer el hormigón al aumentar la densidad de su estructura porosa. De acuerdo al IPCC, en condiciones óptimas, este proceso puede absorber hasta el 50% del CO<sub>2</sub> producido por el cemento. Pero de acuerdo a estudios en países desarrollados, este indicador alcanza en promedio un 7% del total de la huella en todo el ciclo de vida.

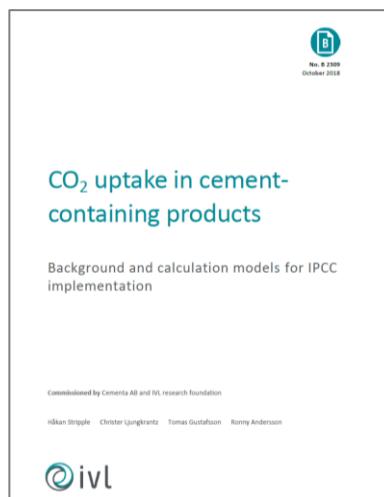


Imagen 3: Estudio IVL sobre absorción de CO<sub>2</sub> por recarbonatación

Según el estudio de IVL *CO<sub>2</sub> uptake in cement containing products*, la recarbonatación en la etapa de uso del hormigón se puede estimar como el 20% de la emisión proveniente de la descarbonatación de la caliza en la producción de clínker.

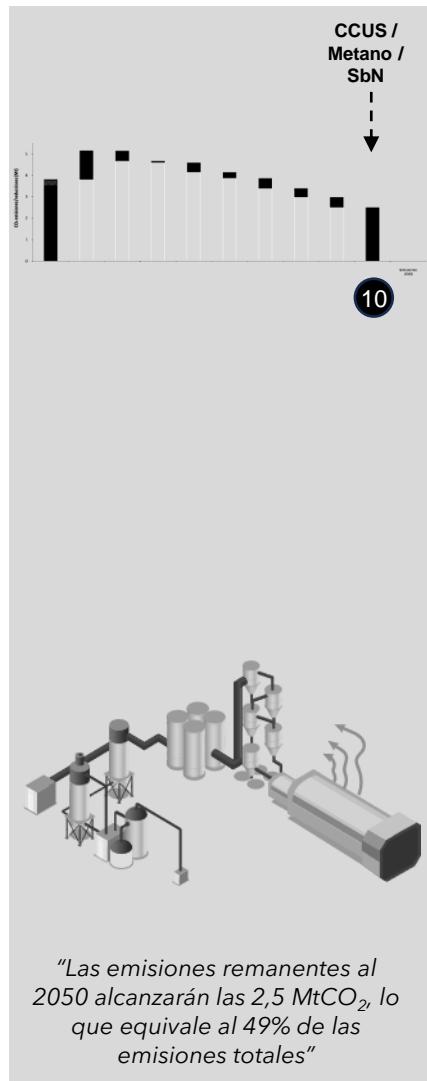
Sin embargo, la cantidad de CO<sub>2</sub> que será absorbida por la carbonatación depende de varios factores, entre otros, la curva de absorción temporal, dado que esta no es constante en el tiempo, y el nivel de exposición del hormigón al CO<sub>2</sub> ambiente.

En Chile, la recarbonatación aportará un 7,7% de la reducción total de emisiones al año 2050.

A continuación, la tabla resumen de la estimación de recarbonatación del hormigón para esta Hoja de Ruta NZA.

RECARBONATACION	2020	2030	2050
Consumo Clínker NZA [MtCk]	3,6	3,7	3,9
Factor Emisión Calcinación (Descarbonatación) [kgCO <sub>2</sub> /kgCk]	0,525	0,525	0,525
Factor Recarbonatación [%]	20%	20%	20%
<b>Reducción Emisiones [MtCO<sub>2</sub>]</b>	<b>0,38</b>	<b>0,38</b>	<b>0,41</b>

Tabla 9: Absorción de CO<sub>2</sub> por Recarbonatación



## 10 Captura y/o emisiones evitadas (sink/avoidance)

La aplicación de los Ejes 3 al 9, permitirá reducir la huella de carbono, pero aún quedarán considerables emisiones remanentes, que para esta Hoja de Ruta, alcanzarán un 49% de las emisiones totales. Estas emisiones serán reducidas de acuerdo a la siguiente jerarquía de soluciones, considerando factores económicos, tecnológicos y ambientales:

1. Captura, uso y/o almacenamiento de CO<sub>2</sub>.
2. Metano Evitado por el coprocesamiento
3. Offsets Tecnológicos.
4. Soluciones Basadas en la Naturaleza

### 1. Captura, Utilización y Almacenamiento de Carbono (CCUS)

Las distintas tecnologías de CCUS actualmente se encuentran en fase de pruebas piloto en plantas de cemento en distintas partes del mundo, principalmente en economías desarrolladas. A la fecha, se proyecta como una solución a gran escala para mitigar las emisiones que no se pueden evitar, como por ejemplo, las provenientes de la descarbonatación de la caliza.

Los principales desafíos que enfrenta esta tecnología se refieren a su alto consumo de energía eléctrica y el destino del CO<sub>2</sub> capturado, debido a que los mercados de uso de CO<sub>2</sub> aún son poco relevantes y los sistemas de almacenamiento definitivos generan complejidades adicionales, como los costos de transporte y los permisos ambientales relacionados.

A continuación, el listado de tecnologías de CCUS de acuerdo a los Paper Tecnológicos ECRA y un gráfico que muestra costos unitarios, eficiencia de captura y nivel de madurez tecnológica para las tecnologías de captura en desarrollo de la industria del cemento.

- Tecnología de oxicombustibles para la captura de carbono
- Captura post-combustión: tecnologías de absorción; procesos de membrana; Procesos de separación física; adsorbentes sólidos: Bucle de Ca (CaL); adsorbentes sólidos
- Calcinación indirecta para la captura de carbono
- Uso CO<sub>2</sub>: Productos químicos básicos, urea, ácido fórmico, polímeros; power-to-gas (CH<sub>4</sub>); Transformación de líquidos (metanol); recuperación mejorada de petróleo o gas (EOR/EGR); captura de algas y producción de combustible, biocombustibles

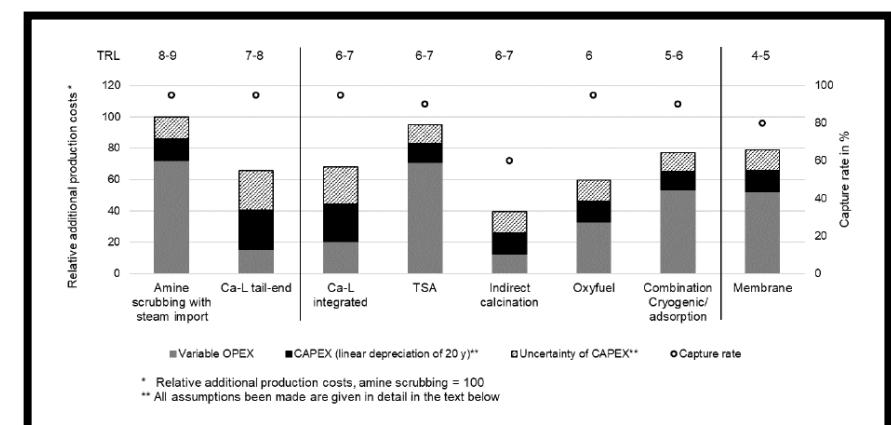
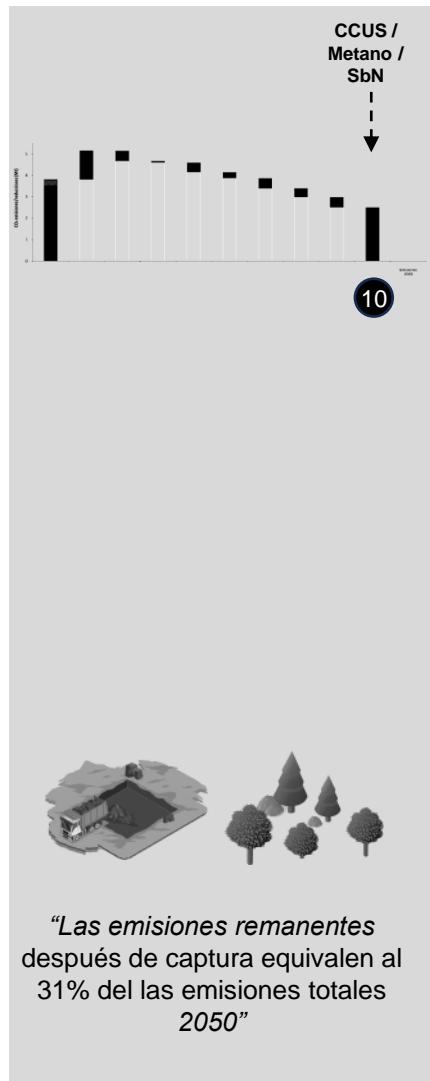


Gráfico 5: costos adicionales producción, tasa de captura y TRL de diferentes tecnologías de captura, ECRA Technology Papers 2022

**En esta Hoja de Ruta, se considera la captura de CO<sub>2</sub> como la tecnología para mitigar un tercio del total de emisiones remanentes, que equivale a 0,83 MtCO<sub>2</sub> 2050.**



## 2. Metano Evitado por el Coprocesamiento

La industria del cemento deberá desarrollar una metodología reconocida para la estimación del metano evitado, producto de la biomasa contenida en los residuos que se coprocesan. Esta metodología deberá considerar la fracción de biomasa en los residuos y el tipo de disposición final que hubiese ocurrido sin coprocesamiento. En particular, el principal proceso en el cual la biomasa experimenta metanogénesis, ocurre cuando se dispone estos residuos en rellenos controlados sanitariamente, debido a los procesos anaeróbicos que existen en este tipo de rellenos.

## 3. Offsets Tecnológicos

Consisten en poder adquirir créditos de proyectos de reducción de CO<sub>2</sub> desarrollados en otras plantas y/o procesos no regulados que tengan mayor potencial de reducción de CO<sub>2</sub>. Este mecanismo es equivalente a los mercados de carbono regulados en la Comunidad Europea, California, Canadá, entre otros.

## 4. Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN)

De acuerdo al último Informe del Banco Mundial, este tipo de offsets es el que genera mayor potencial de reducción de CO<sub>2</sub> a nivel global, y en específico en nuestra región; este potencial se incrementa, debido a que la principal fuente de emisión de GEI proviene del mal uso del suelo. Por ejemplo, debido a la deforestación y práctica poco sostenible en la ganadería.

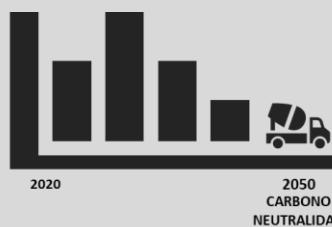
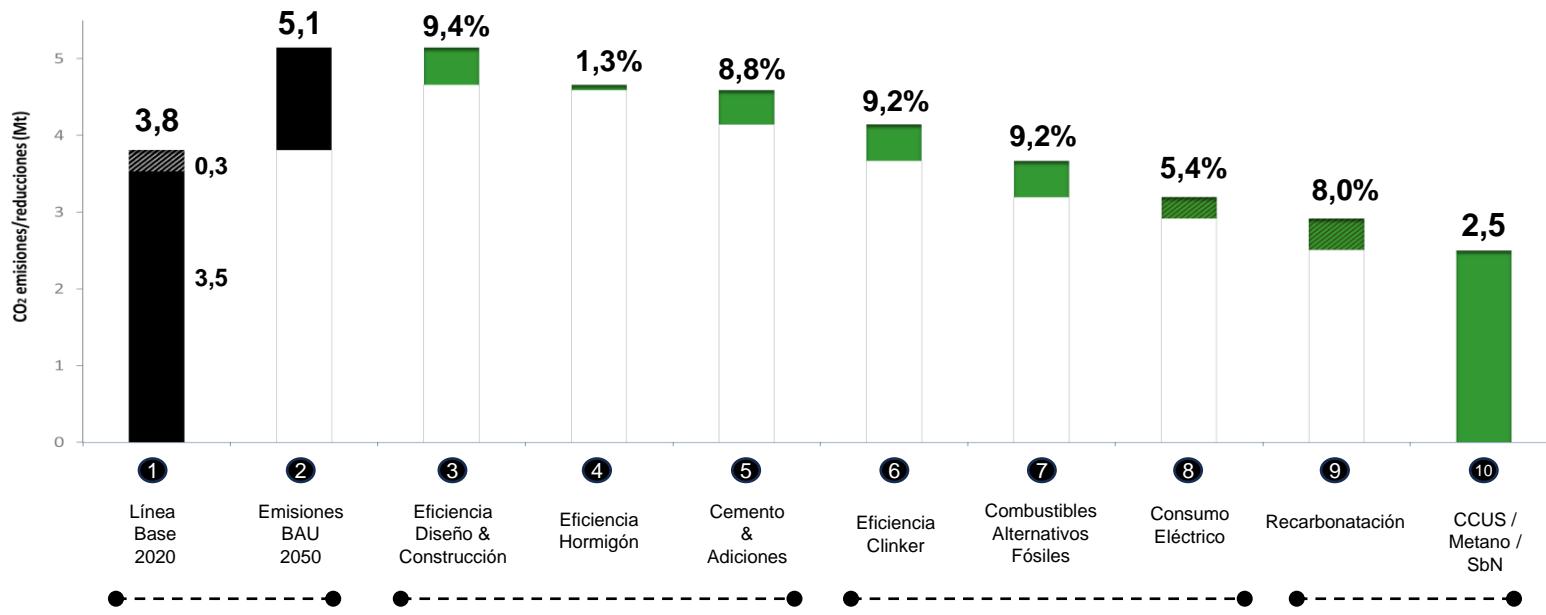
En particular, esta Hoja de Ruta considera las SbN relacionadas a la reforestación en suelos deforestados (*carbon sink*) y/o a la protección de bosque nativo (*avoidance*).

Estas soluciones ya se reconocen normativamente en la legislación de Chile en el marco de las compensaciones a los Impuestos Verdes.

### **Metodología FICEM para el uso de offsets**

FICEM se encuentra elaborando colaborativamente el conjunto de reglas y metodología para el uso de offsets para alcanzar la carbono neutralidad al año 2050.

## Hoja de Ruta NZA Chile 2050



# Acciones y Compromisos



1. Lograr la carbono neutralidad en la industria del cemento y concreto de Chile al año 2050
2. Reducir en un 20% las emisiones netas actuales en la producción de cemento al año 2030
3. Aumentar el Coprocesamiento a un 30% al año 2030 y a un 68% al año 2050
4. Reducir el Factor Clíker en el cemento a un 63% al año 2050
5. Generar la metodología para la estimación del metano evitado en rellenos sanitarios por el coprocesamiento de biomasa y promover su aceptación en los marcos regulatorios
6. Incorporar al menos un 10% de hidrógeno verde en la matriz de combustibles al 2050
7. Acelerar el estudio, pilotaje y despliegue de tecnologías relacionadas con la captura, almacenamiento y uso de carbono
8. Acelerar el uso de 100% de energía eléctrica carbono neutral
9. Validar y promover la aceptación de las metodologías de estimación de la recarbonatación del hormigón
10. Promover el uso de Soluciones Basadas en la Naturaleza para alcanzar la carbono neutralidad al 2050.
11. Aportar a la Economía Circular mediante la tecnología del coprocesamiento y adiciones provenientes de residuos
12. Promover, mediante un trabajo colaborativo, entre las autoridades, la industria y los usuarios, la adopción de marcos regulatorios que habiliten el despliegue de nuevas tecnologías y productos bajos en carbono
13. Mantener un seguimiento periódico de los compromisos e indicadores establecidos en esta Hoja de Ruta y su cumplimiento



# Bibliografía



1. GCCA Net Zero Roadmap, GCCA, 2021
2. IPCC Sexto Informe Evaluación, IPCC, 2023
3. Hoja de Ruta FICEM – Chile 2019, ICH-FICEM, 2019
4. The ECRA Technology Papers 2022, European Cement Research Academy GmbH, 2022
5. Una Aproximación de la Demanda de Áridos de Largo Plazo en Chile, CCHC, 2022
6. CO2 uptake in cement containing products, IVL, H. Stripple, Ch. Ljungkrantz, T. Gustafsson, R. Andersson, 2018

