



Hoja de Ruta de la Industria
del Cemento y Concreto
Colombia
para la Carbono Neutralidad

2050

en el Concreto



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 Concreto de Colombia a la sostenibilidad, la adaptación y mitigación al cambio climático, estableciendo una ruta para alcanzar los objetivos de mitigación de las emisiones directas e indirectas de GEI relacionadas al sector cemento y concreto. 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 la Cámara Colombiana del Cemento y el Concreto (PROCEMCO) y las principales compañías de cemento del país.

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 concreto más sostenible y resiliente.

Esta **Hoja de Ruta hacia la Carbono Neutralidad Neta 2050** se alinea con las trayectorias de descarbonización global del cemento y concreto, 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.

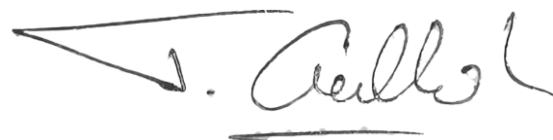


PRESENTACION

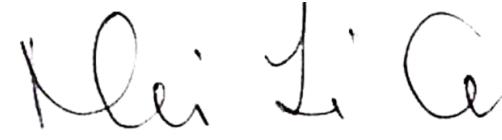
FICEM, a nivel regional, ha liderado y representado por más de una década los esfuerzos de la industria en la reducción de las emisiones de CO₂ y el aporte del cemento para el desarrollo sostenible y resiliente de nuestra región y desde al año 2021 está comprometida con la carbono neutralidad neta al 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**.

PROCEMCO representa a la industria del cemento y concreto local, priorizando la sostenibilidad en su producción y uso, y en este sentido se publicó el año 2021, la *Hoja de Ruta hacia 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 de la Industria del Cemento y el Concreto Colombia para la Carbono Neutralidad Neta 2050 en el Concreto**, que representa la ambición de nuestro sector y su aporte a la agenda climática global.

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



Thomas Guillot
Director Ejecutivo
GGCCA



Maria Jose Garcia
Directora Ejecutiva
FICEM



Manuel Lazcarro
Director Ejecutivo
PROCEMCO

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 CO₂ y de metano.

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

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.

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

Por último, este Informe releva la importancia del secuestro del CO₂ en la infraestructura en base cemento, pudiendo llegar a compensar cerca de la mitad de las emisiones de CO₂ generadas por la actual producción de cemento.

Carbono Neutralidad Neta

Según el IPCC, la carbono neutralidad neta se consigue cuando estas emisiones netas (emisiones menos absorciones) son iguales a cero (net zero emissions).

Estas emisiones netas iguales a cero se consiguen cuando las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero que se liberan en la atmósfera se equilibran mediante las absorciones antropogénicas en un período específico. Cuando se miden varios gases de efecto invernadero, la cuantificación de las emisiones netas iguales a cero depende de los parámetros climáticos que se eligen para comparar las emisiones de diferentes gases (p. ej. el potencial de calentamiento global, el potencial de cambio en la temperatura global o el plazo elegido).

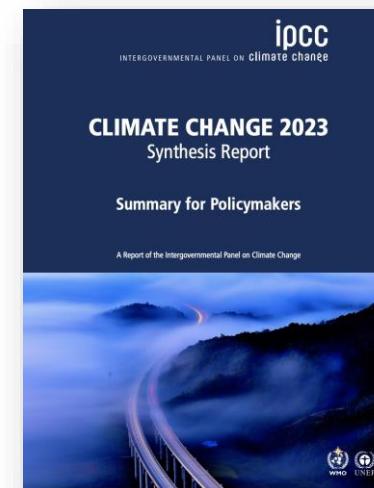


Imagen 1: Sexto Informe Evaluación IPCC

Hoja de Ruta Carbono Neutralidad 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 CO₂ 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 concreto, como en seguir reduciendo las emisiones directas e indirectas de CO₂.

Al año 2030 se establecen metas de reducción emisiones de CO₂ de un 20% por tonelada de cemento y de un 25% por metro cúbico de concreto. Estas metas de corto plazo, evitarán que casi 5.000 millones de toneladas de emisiones de CO₂ 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 CO₂ en la industria del cemento, e incluye tecnologías emergentes que apuntan a lograr emisiones netas de CO₂ 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

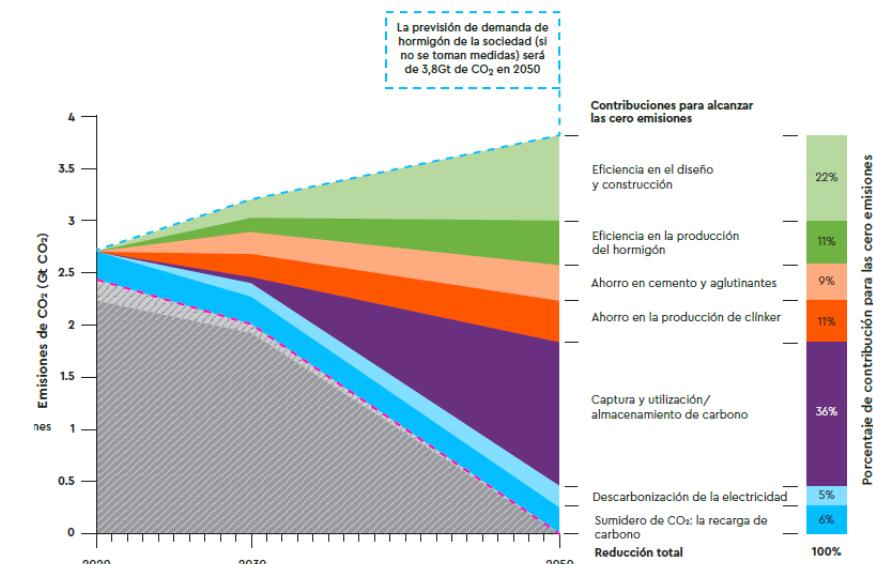
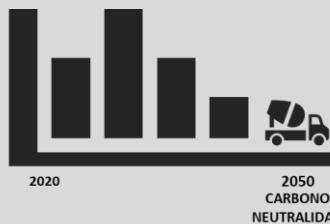


Figura 1: Trayectoria Net Zero GCCA 2050

"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

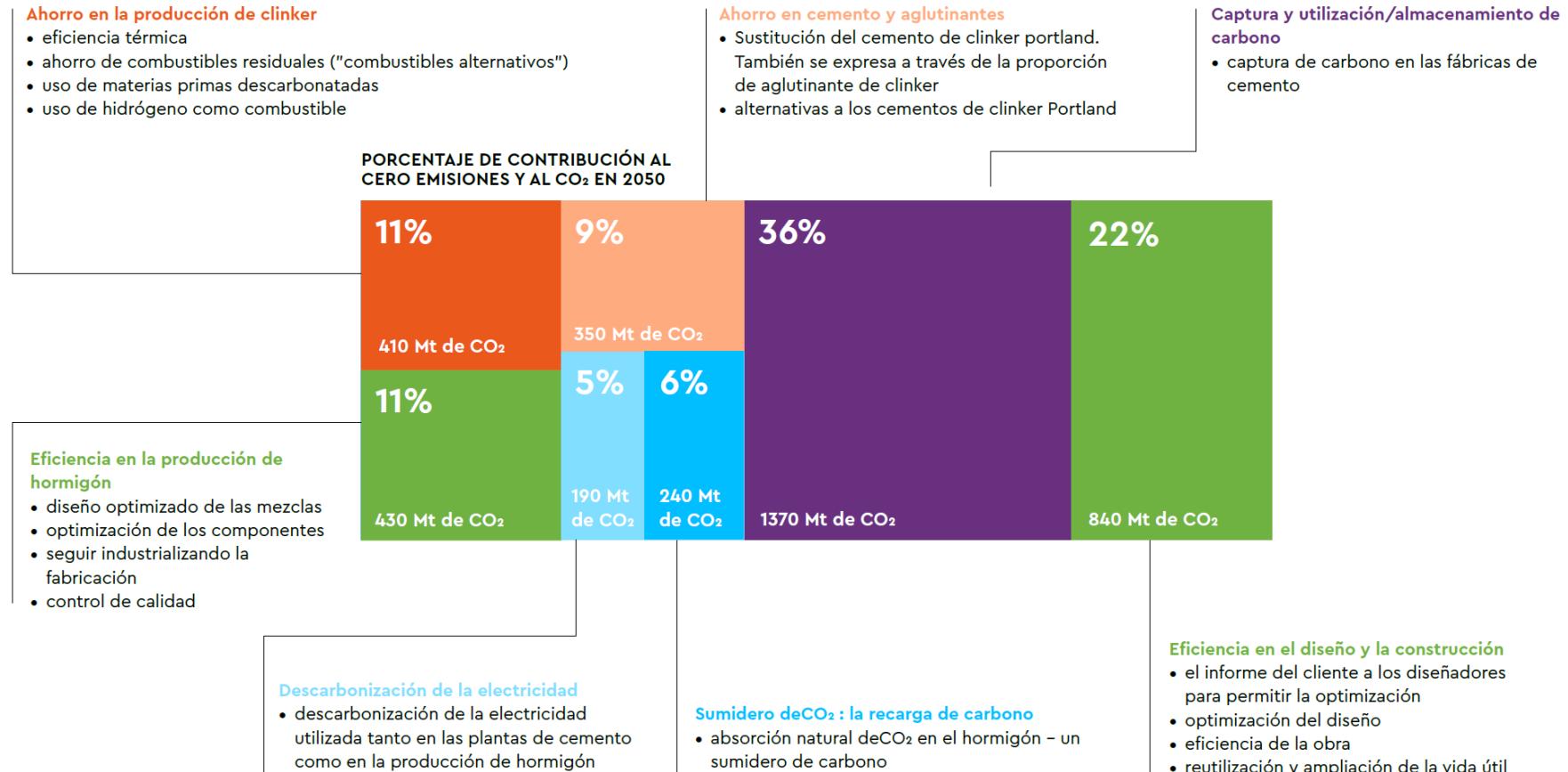
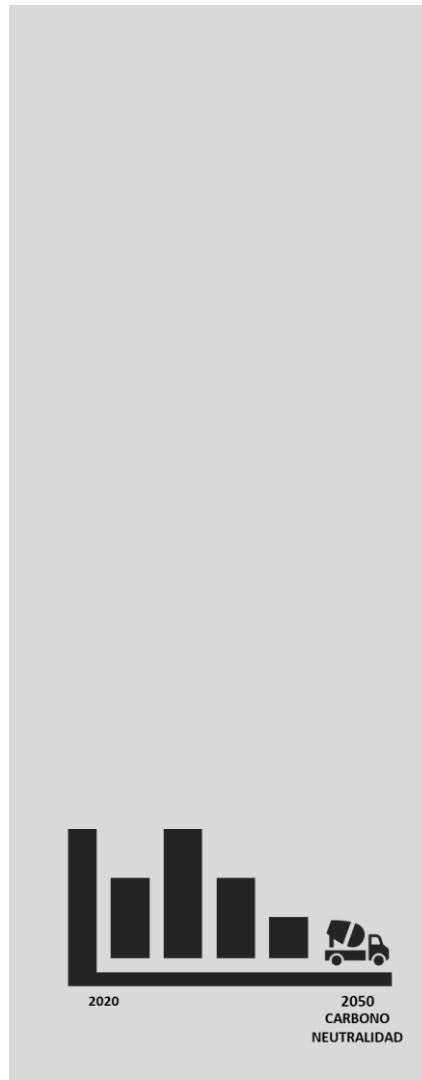


Figura 2: Aportes Ejes Reducción GCCA 2050

<https://gccassociation.org/>



Documentos Tecnológicos ECRA

La industria cementera viene trabajando en soluciones técnicas no sólo para hacer sus procesos energéticamente eficientes, sino 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 CO₂. 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 CO₂ neto cero para 2050. Estos incluyen el papel de los materiales cementicios suplementarios como las arcillas calcinadas, las diferentes tecnologías para capturar CO₂ en la planta de cemento, y formas de recarbonatar el cemento para el secuestro permanentemente del CO₂.

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.

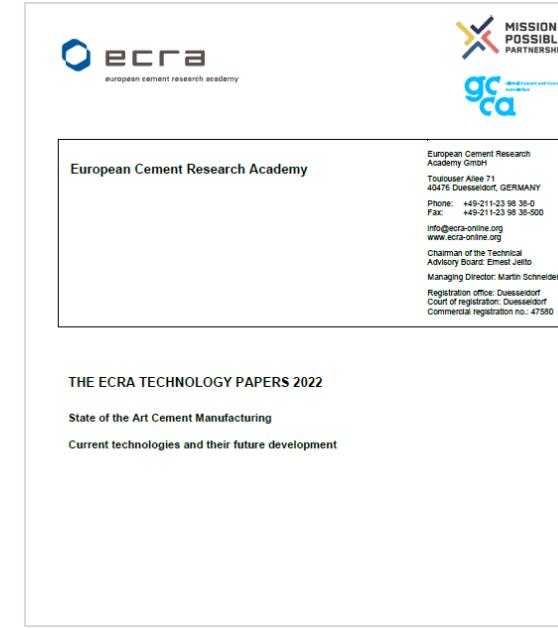


Imagen 2: Paper Tecnológicos ECRA 2022

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



Programa Carbono Neutralidad Neta 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 CO₂. El plan global para eliminar estas emisiones para 2050 requiere que todas las partes del mundo aceleren sus reducciones en emisiones de CO₂. El programa Accelerator ayuda a identificar las barreras locales para la descarbonización en los países objetivo y recomienda acciones clave.

PROGRAMA NZA GCCA - FICEM

FICEM en su rol de apoyar a la industria del cemento y el concreto en su trayectoria hacia la neutralidad de carbono coordina las bajadas locales del Programa Acelerador de GCCA en la región y basa su trabajo en la adecuación de las 11 Hojas de Ruta País de CO₂ 2030 elaboradas por FICEM en conjunto con la industria y asociaciones locales de cemento durante los últimos cinco años.

El programa NZA GCCA-FICEM reconoce la importancia de contar con una metodología sistemática, que consta de 9 pasos (Ver Figura siguiente) y debe considerar los distintos marcos regulatorios, niveles de desarrollo económico, condiciones geográficas, y disponibilidad de recursos, entre otras, para cada país en el cual se implemente.

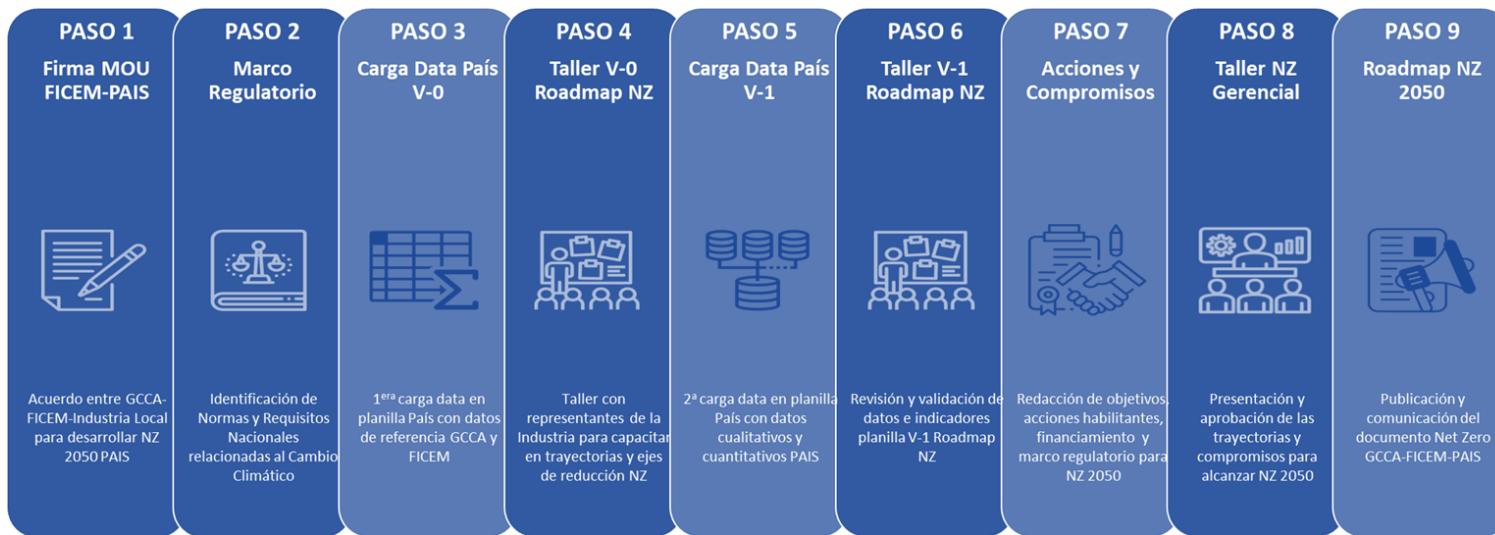
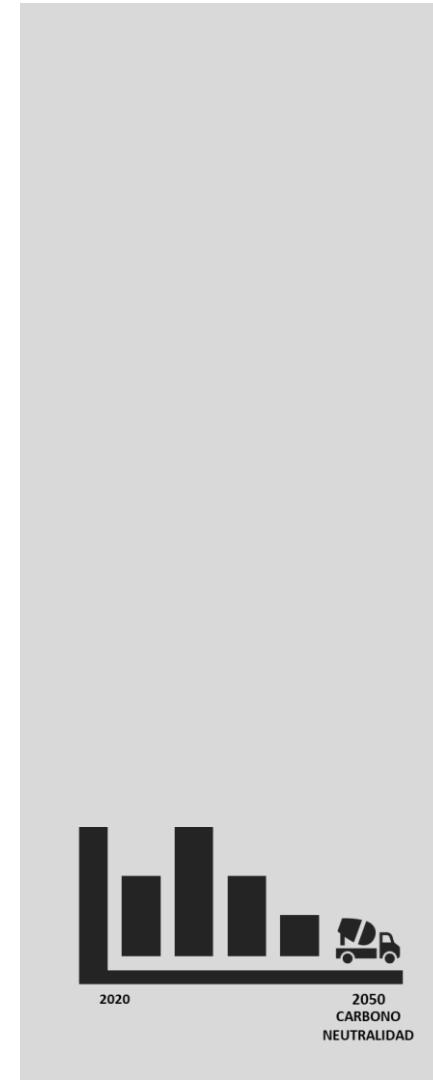


Figura 3: Metodología FICEM NZA - 9 Pasos

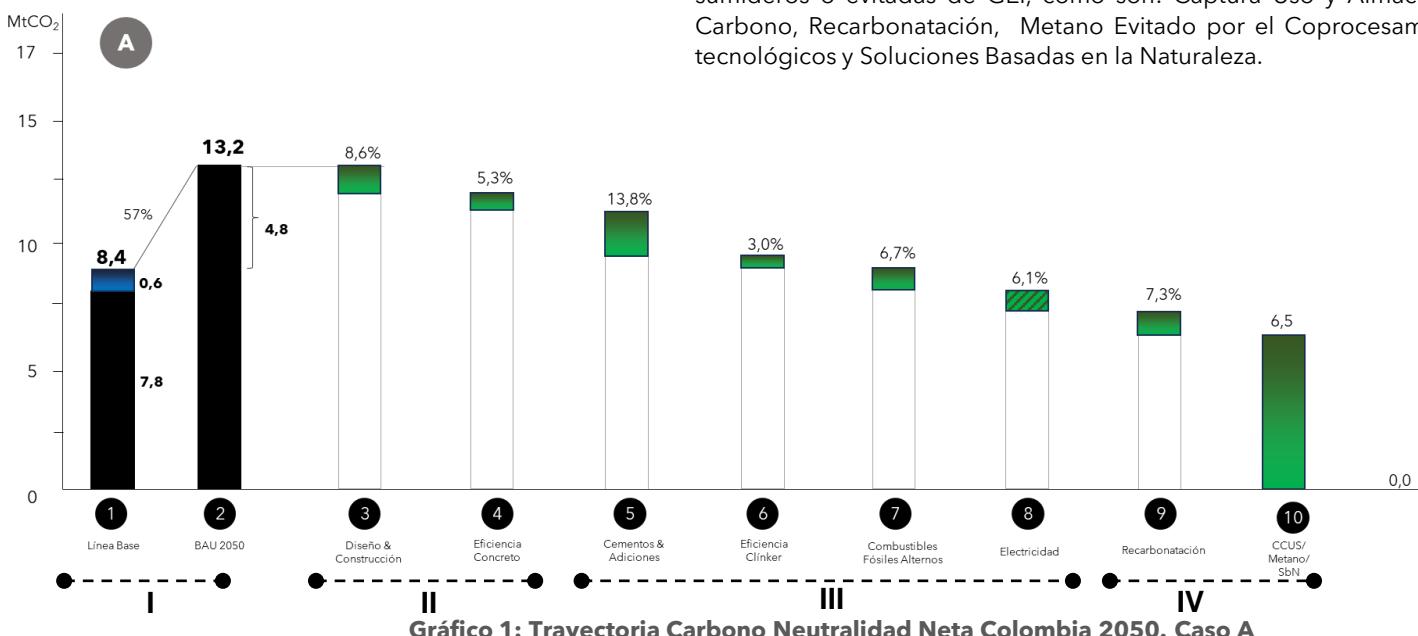
Trayectoria Carbono Neutralidad Neta Colombia



Trayectoria Net Zero Colombia 2050

Esta Hoja de Ruta se elaboró basada en el *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 Colombia 2021. A nivel local, fue liderada por la Cámara Colombiana del Cemento y el Concreto (PROCEMCO) con el apoyo de las principales compañías productoras de cemento del país.

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:



	2020	2050	Crecimiento	Emisiones 2050	Nota
A. Consumo Cemento Proyectado Colombia 2050	12,4 Mt	19,5 Mt	57%	13,2 MtCO ₂	Nota 1
B. Consumo Cemento Proyectado Colombia Escenario Demanda Promedio Mundial 2050	12,4 Mt	24,9 Mt	101%	16,9 MtCO ₂	Nota 2

Nota 1: Este consumo se proyectó a partir del volumen de cemento despachado en el país en el año 2020, incrementándolo sobre la base de información de crecimiento en años anteriores, siendo un crecimiento moderado (57% en 30 años).

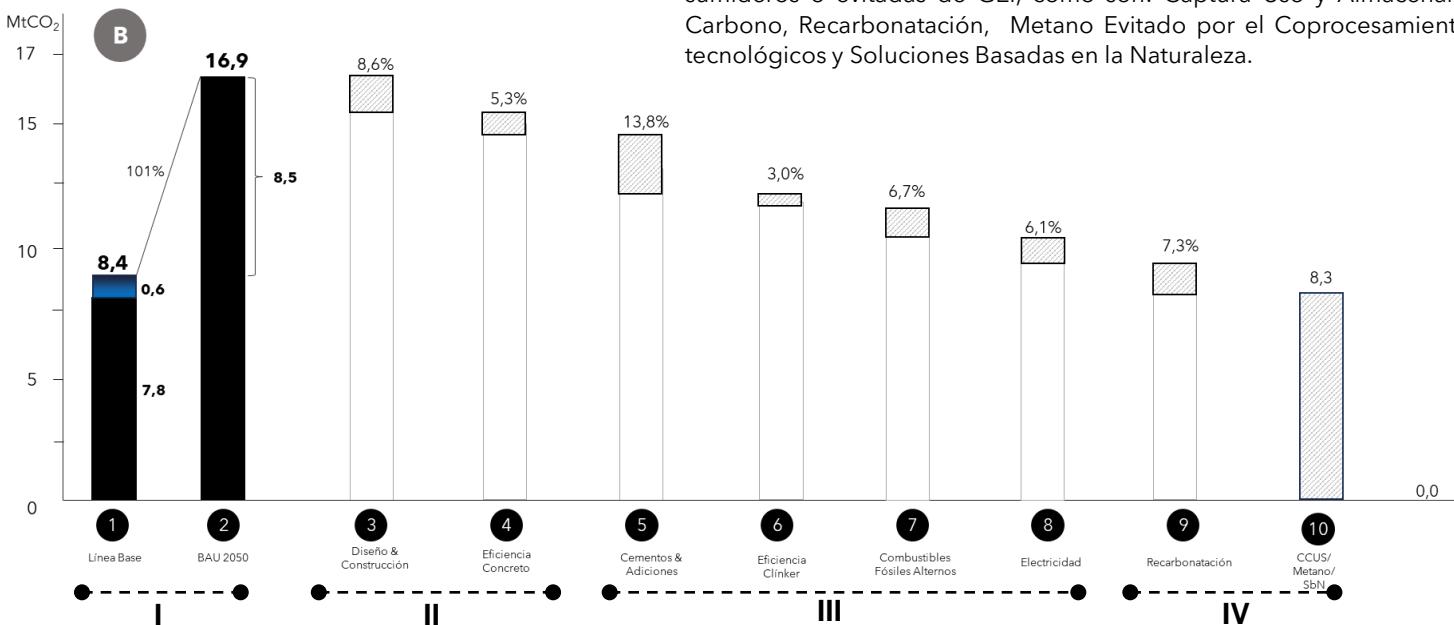
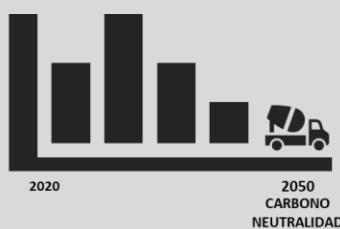
Grupos de Indicadores NZ

- I. Emisiones CO₂ Directas (Alcance 1) e Indirectas (Alcance 2):** Comprende la línea base al año 2020 y sus proyecciones al 2050.
- II. Eficiencias en el uso:** Incluye las optimizaciones en la utilización del cemento, clíker y concreto tanto en construcción como en productos.
- III. Eficiencia en la producción de cemento y concreto:** considera la eficiencia térmica, eléctrica, uso de materias primas y nuevas tecnologías en plantas productoras.
- IV. Reducciones sink/avoidance:** Agrupa otras reducciones calificadas como sumideros o evitadas de GEI, como son: Captura Uso y Almacenamiento de Carbono, Recarbonatación, Metano Evitado por el Coprocesamiento, Offsets tecnológicos y Soluciones Basadas en la Naturaleza.

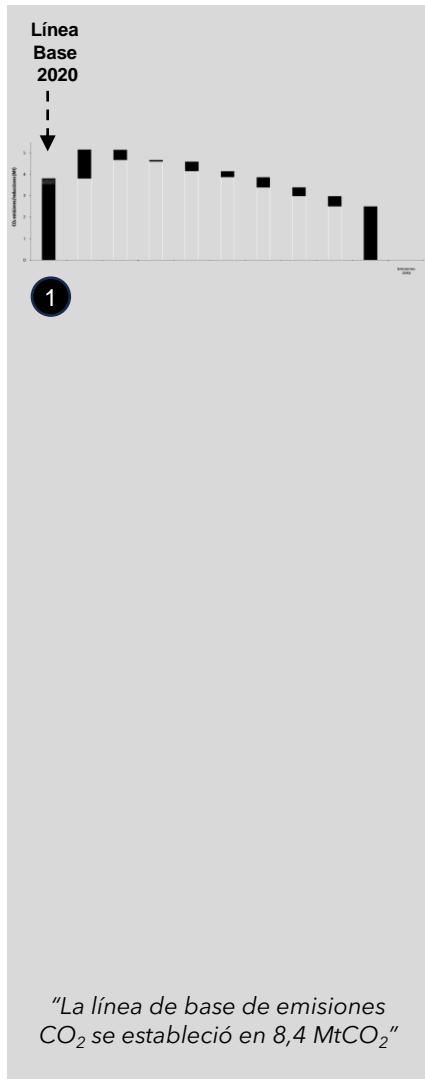
Trayectoria Net Zero Colombia 2050

Esta Hoja de Ruta se elaboró basada en el *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 Colombia 2021. A nivel local, fue liderada por la Cámara Colombiana del Cemento y el Concreto (PROCEMCO) con el apoyo de las principales compañías productoras de cemento del país.

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:



Nota 2: Este consumo se considera un escenario promedio que tendrá el mundo en el año 2050 sobre la base de proyecciones de la Agencia Internacional de Energía para la producción de cemento; y de Naciones Unidas para el caso de la población. En este sentido, se aplica una medida de consumo per cápita de 450 kg de cemento por habitante. Para referencia al año 2020, la media colombiana con infraestructura y vivienda por desarrollar, es de 252 kg de cemento por habitante, mientras que la media europea es de 343 kg de cemento por habitante



1 Línea de base CO₂ 2020 NZ Colombia

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 concreto en Colombia.

Se definió como LB de emisiones de carbono, el año 2020, de acuerdo al Informe Validado por PwC - 2020.

En la LB 2020 se consideró el consumo de clínker y su factor de emisión ponderado, considerando, tanto el clínker producido localmente (90%), como el clínker importado (10%).

El factor de emisión de clínker propio es la sumatoria de los elementos que participan en las emisiones de CO₂: calcinación, CO₂ de la caliza, combustibles tradicionales fósiles y alternativos.

El factor de emisión de clínker importado se define por estándares internacionales (865 kgCO₂/t clínker GNR) y se considera el CO₂ del transporte naviero (0,06 MtCO₂/año). Para esta LB, se consideró 60 kgCO₂/t clínker adicionales, asumiendo una distancia de 10,000 kilómetros navieros desde su puerto de origen.

La intensidad de emisiones del clínker nacional son 915 kgCO₂ por cada tonelada de clínker y 925 kgCO₂ por tonelada de clínker importado.

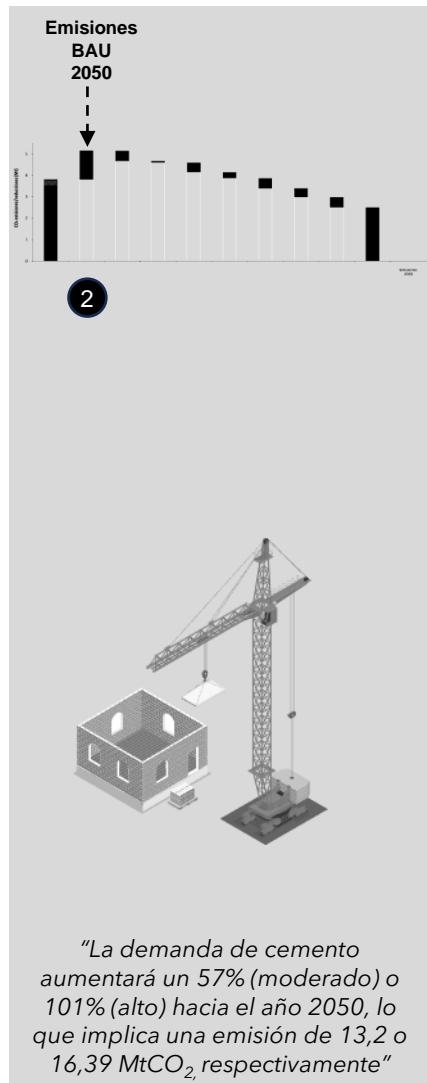
Esta LB también incluye las emisiones de CO₂ debido al consumo eléctrico en la producción de cemento y concreto, que resulta del producto entre el factor de la red eléctrica nacional (0,419 kgCO₂/kWh) y el consumo eléctrico total (1,47 TWh).

En conclusión, la LB 2020, alcanzó los 8,4 Mt de CO₂, que se compone de 7,8 MtCO₂ provenientes del consumo de clínker y 0,6 MtCO₂ 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 ₂	UNIDAD	2020
Participación Clínker Local (90%)	kgCO₂ / t clínker	915
Emisiones Calcinación	kgCO ₂ / t clínker	525
Emisiones Carbono Orgánico Piedra Caliza	kgCO ₂ / t clínker	11
Emisiones Combustibles Fósiles	kgCO ₂ / t clínker	356
Emisiones Combustibles Alternativos Fósiles	kgCO ₂ / t clínker	23
Participación Clínker Importado (10%)	kgCO₂ / t clínker	925
Factor Emisión	kgCO ₂ / t clínker	865
Transporte Naviero	kgCO ₂ / t clínker	60
Emisión Clínker	MtCO₂	7,8
Factor Emisión Eléctrico	kgCO ₂ /kWh	0,419
Consumo Eléctrico Total	TWh	1,47
Emisión Directa	MtCO₂	7,8
Emisión Indirecta Electricidad	MtCO₂	0,6
Emisiones Totales Línea Base 2020	MtCO₂	8,4

Tabla 1: Emisiones CO₂ Línea de Base Colombia 2020



2 Emisiones CO₂ 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 concreto 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 CO₂ y el incremento de estas emisiones, producto de la mayor demanda.

Se estima como emisiones mínimas las que corresponden al escenario actual y como máximas emisiones, las que se proyectan al año 2050, en un Escenario BAU, sólo considerando el aumento de la demanda de cemento, igualando el consumo de cemento per cápita en mercados desarrollados, que sería necesario para cubrir este déficit en vivienda e infraestructura.

Para el caso de Colombia, se proyectaron dos escenarios de aumento en el consumo de cemento para el año 2050.

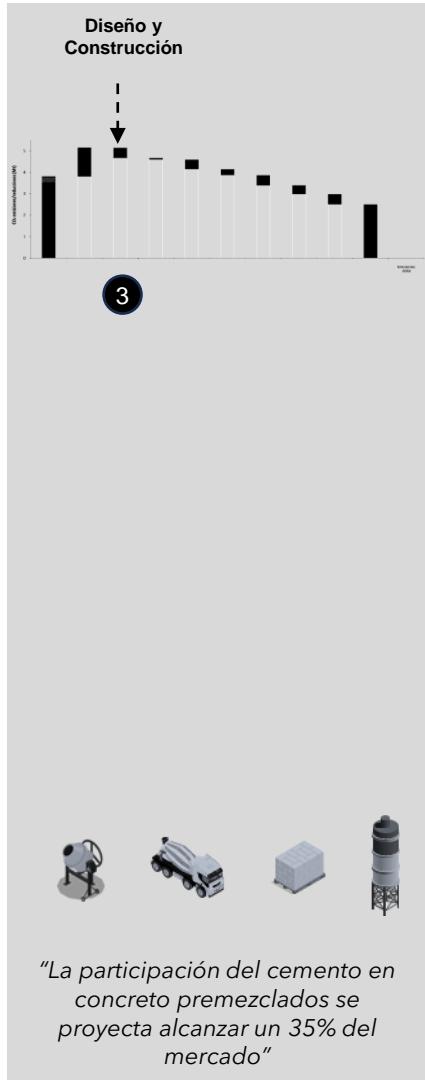
Escenario A. Proyección a partir del volumen de cemento despachado en el país en el año 2020, incrementándolo sobre la base de información de crecimiento en años anteriores, siendo un crecimiento moderado (57% en 30 años). Este escenario es el que se utilizará para el análisis de los datos en cada eje de reducción.

Escenario B. Consumo promedio que tendrá el mundo en el año 2050 sobre la base de proyecciones de la Agencia Internacional de Energía para la producción de cemento; y de Naciones Unidas para el caso de la población. En este sentido, se aplica una medida de consumo per cápita de 450 kg de cemento por habitante. Para referencia al año 2020, la media colombiana con infraestructura y vivienda por desarrollar, es de 252 kg de cemento por habitante, mientras que la media europea es de 343 kg de cemento por habitante (101% en 30 años)

A continuación, tabla indicativa proyección emisiones según demanda proyectada al año 2050 en Colombia.

	2020	2050 A	2050 B
Consumo Cemento Colombia	12,4 Mt	19,5 Mt	24,9 Mt
Emisiones CO ₂	8,4 Mt	13,2 Mt	16,9 Mt
Aumento Respecto 2020	N/A	57%	101%

Tabla 2: Proyección Demanda Consumo Cemento Colombia 2050



3 Eficiencia en el Diseño y Construcción

El enfoque en la optimización del diseño y la construcción busca reducir el consumo del concreto, 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: concreto 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 CO₂ debido al efecto de optimización del uso de producto en obra.

La distribución en sacos es el principal canal de distribución en Colombia, el cual representa el 71% del consumo de cemento, y se proyecta una reducción de 21 puntos porcentuales al año 2050.

El concreto premezclado representa el 21% al 2020 y se proyecta un incremento de 14 puntos porcentuales al 2050.

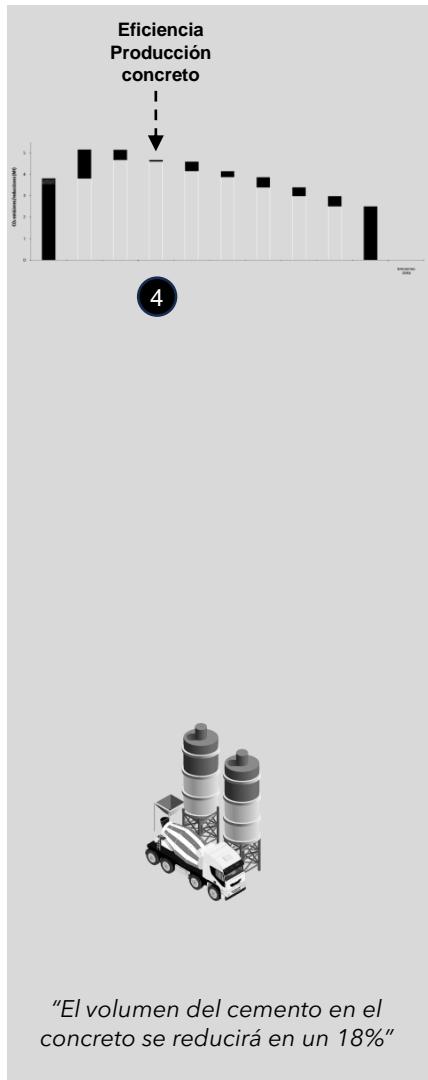
Estos indicadores a nivel global se consideran para determinar el nivel de industrialización o informalidad del uso del cemento y así poder determinar el potencial de reducción de CO₂ en este eje. Se pudo apreciar que Colombia presenta un alto nivel de manualidad, en concordancia de lo que ocurre en el resto de la región, donde el saco representa más del 60% del uso del cemento.

Este eje aportaría el 8,6% del total de las reducciones al 2050.

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

CANALES DISTRIBUCIÓN CEMENTO	2020	2030	2050
Concreto Premezclado	21%	24%	35%
Factor Clínker	81%	79%	71%
Sacos	71%	64%	50%
Factor Clínker	64%	58%	43%
Silo en Obra	6%	7%	10%
Factor Clínker	71%	65%	59%
Prefabricados	3%	5%	5%
Factor Clínker	91%	79%	71%

Tabla 3: Canales Distribución de Cemento en Colombia



4 Eficiencia en Producción de concreto

La producción de concreto ofrece oportunidades para reducir significativamente el consumo de cemento, su principal fuente de CO₂. 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 e aplicaciones eficientes. Además, automatizar las plantas de concreto premezclado, reducirá las emisiones de CO₂ producto de mezclas y dosificaciones optimizadas.

Los parámetros que se utilizan para determinar las ganancias en eficiencia en la producción de concreto, 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 concreto premezclado, reducción de residuos, diseños de mezcla con I.A., entre otros.

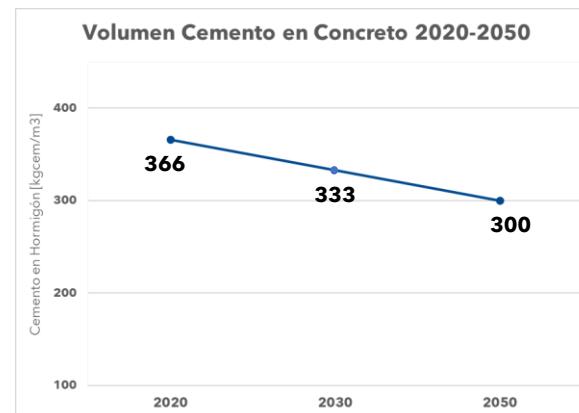


Gráfico 3: Proyección Contenido de Cemento 2020-2050

En Colombia, actualmente, el volumen total de concreto producido corresponde a 34 millones de metros cúbicos, proyectándose un aumento a 54 Mm³ al año 2050 (+59%).

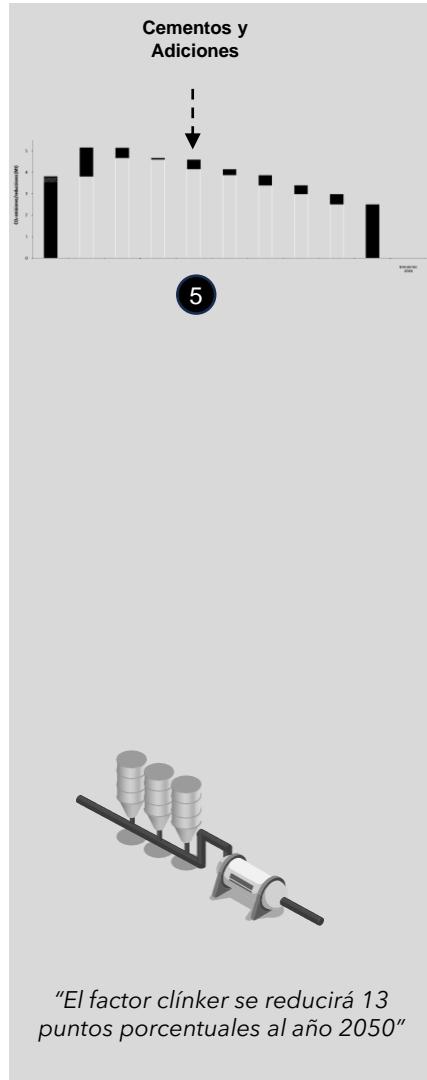
Se proyecta un fuerte aumento de concreto producido en silos en obra; fabricados con elementos prefabricados; y con concreto pre mezclado.

Actualmente, cada metro cúbico de concreto contiene 366 kg de cemento y al año 2050 se proyectan 324 kg/m³ de cemento en concreto, lo que refleja un 18% menos de dosificación de cemento.

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

CONTENIDO CEMENTO EN CONCRETO	2020	2030	2050
Cemento Producido (Mt)	12,4	14,9	16,2
Volumen Total concreto [Mm ³]	34	45	54
concreto RMX [Mm ³]	7,1	11,4	16,6
concreto desde sacos [Mm ³]	24,0	27,9	29,2
concreto desde silos [Mm ³]	1,9	3,1	6,1
concreto en prefabricados [Mm ³]	0,9	2,4	2,2
Cemento en concreto [kg cem/m ³]	366	333	300

Tabla 4: Volumen de Cemento en el Concreto Colombia



5 Cementos y Adiciones

El contenido de clínker en el cemento, representa la principal fuente de CO₂, por lo que al reducir 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 siderúrgicos

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

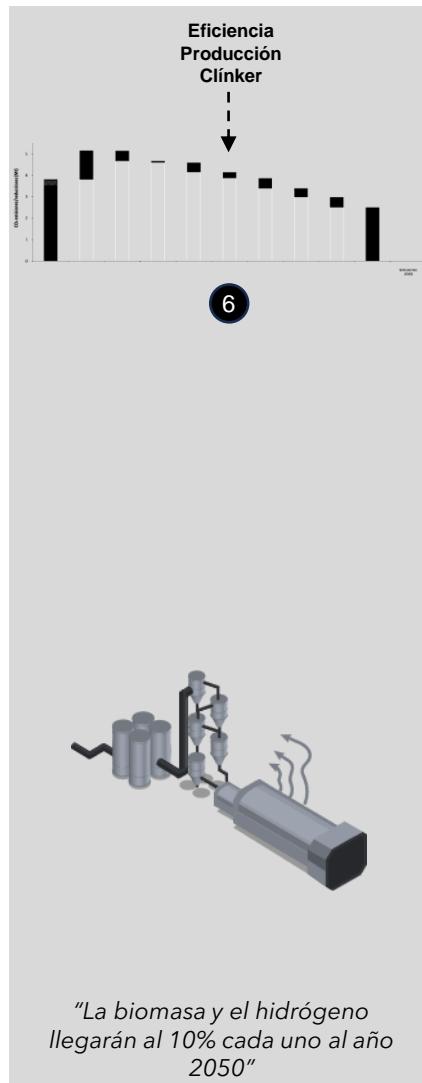
En Colombia, la participación del clínker en el cemento proyecta una disminución de 13 puntos porcentuales, con respecto al 69% actual.

Esta reducción se debe principalmente al aumento de las arcillas calcinadas que alcanzarían el 10% de participación para el año 2050 y las denominadas "otras adiciones" con 12%. Además, las Calizas a pesar de disminuir su uso en 5 puntos porcentuales, seguirán siendo relevantes con un 10% de participación.

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

COMPONENTES DEL CEMENTO	2020	2030	2050
Clínker	69%	65%	56%
Yeso	5%	5%	5%
Caliza	15%	12%	10%
Escoria	4%	2%	2%
Cenizas	1%	1%	1%
Puzolana	5%	5%	4%
Arcilla Calcinada	0%	3%	10%
Otras Adiciones	1%	7%	12%

Tabla 5: Componentes del Cemento en Colombia



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 4052 MJ/tclínker al año 2020, 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 los combustibles residuales o de biomasa. Sin embargo, existen ciertas limitaciones técnicas, como el poder calorífico y el contenido de cloro, por ejemplo.

El uso de hidrógeno verde (H2V) como reemplazo de combustibles convencionales, tiene un gran potencial para reducir las emisiones de CO₂. El mayor desafío es la disponibilidad de suficiente energía eléctrica neutra en carbono, necesaria para producir H2V.

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

Por su parte, se proyecta disminuir la demanda de energía térmica a 3500 MJ/t clínker al año 2050, con respecto a los actuales 4052 MJ/tclinker.

A continuación, gráfico y tabla combustibles y eficiencia térmica relacionada.

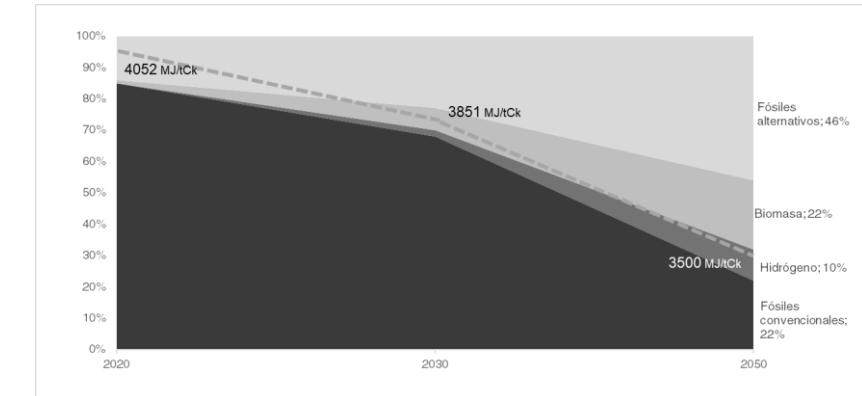
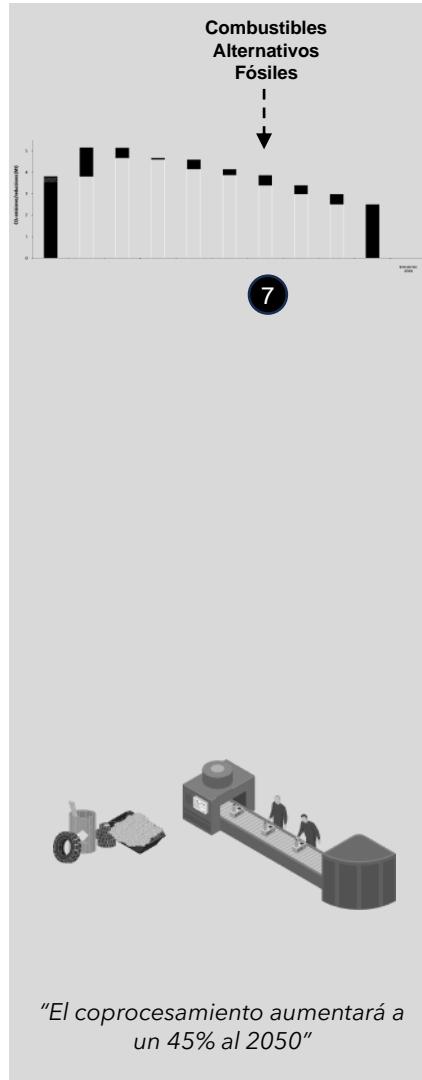


Gráfico 4: Participación Combustibles y Eficiencia Térmica

	2020	2030	2050
Biomasa	1%	3%	10%
Hidrógeno	0%	0%	10%
Eficiencia Térmica [MJ/tCk]	4052	3851	3500

Tabla 6: 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 inorgánica de los residuos, tales como, neumáticos fuera de uso, aceites industriales, residuos urbanos, plásticos. 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 técnicas del coprocesamiento de Basilea.

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%)

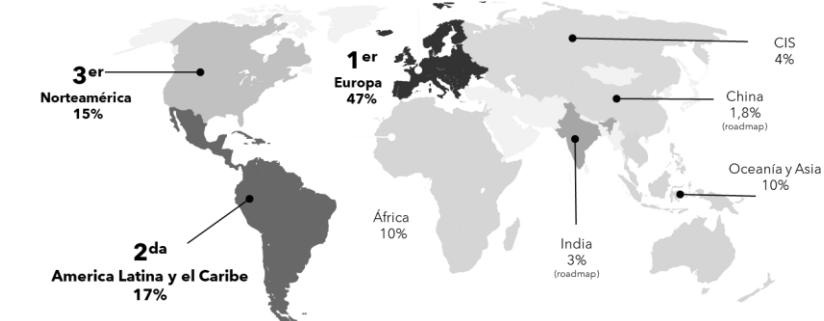
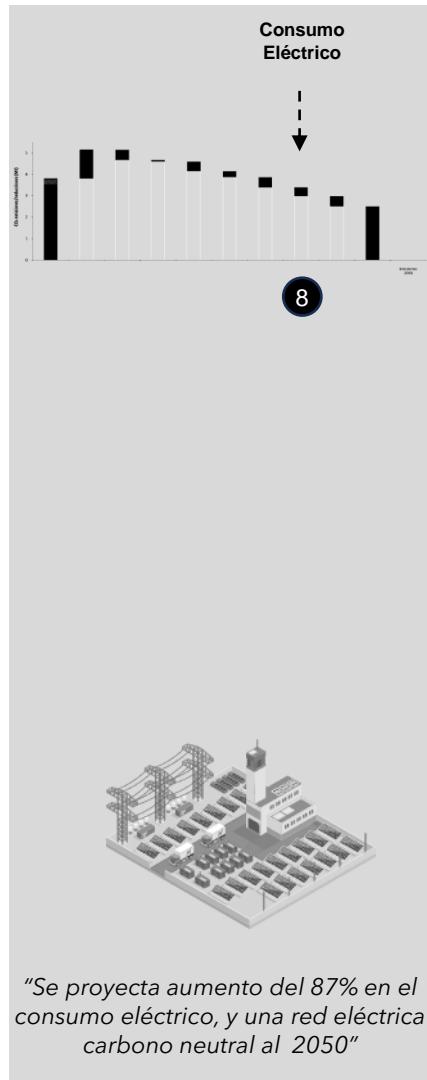


Figura 4: Coprocesamiento a nivel global

Para el caso de Colombia al año 2050, se proyecta que el coprocesamiento alcance un 45%, el cual se compone con un 35% de combustibles fósiles alternativos y 10% de biomasa, en comparación con el actual 8% de coprocesamiento.

MATRIZ COMBUSTIBLES	2020	2030	2050*
Carbón	77%	72%	35%
Petcoke	0%	0%	0%
Gas Natural	15%	13%	10%
Fósiles Convencionales (%)	92%	85%	45%
Fósiles Alternativos	7%	12%	35%
Biomasa	1%	3%	10%
Coprocesamiento	8%	15%	45%
Hidrógeno	0%	0%	10%

Tabla 7: 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 energía eléctrica. 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 de captura de CO₂. 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 CO₂ proveniente del consumo eléctrico, es el uso de 100% de energía eléctrica de fuentes renovables no convencionales.

En Colombia, la demanda eléctrica por tonelada de cemento disminuirá de 116 kWh (2020) a 103 kWh por tonelada cemento para 2050.

Para la fabricación de concreto se proyecta un aumento desde los actuales 3 kWh/m³ a 5 kWh/m³ al 2050.

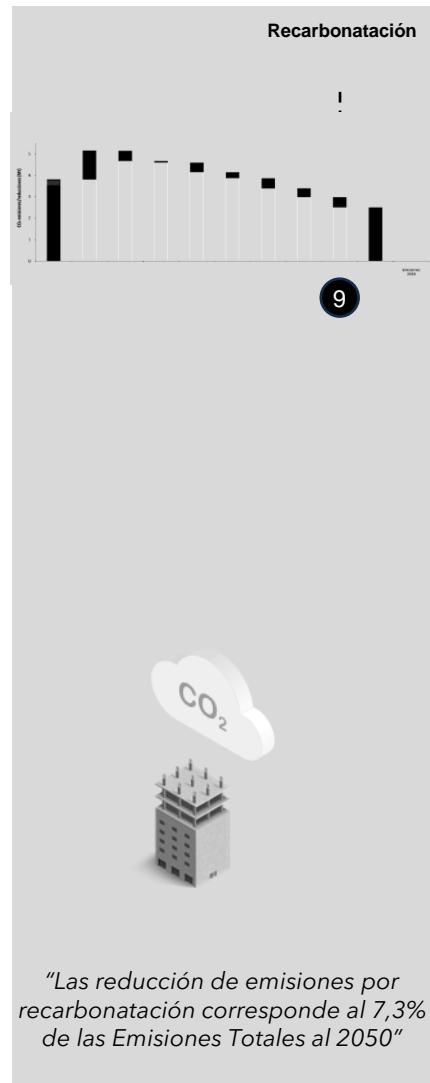
Para la captura de carbono se proyecta un incremento de 100 kWh por cada tonelada de clínker, asumiendo que sólo un tercio de la producción de clínker será cubierta con esta tecnología. De acuerdo a los Paper de la ECRA, la captura incrementa, en promedio, 300 kWh por tonelada de clínker producido, indicador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

En conclusión, el consumo eléctrico total en la industria del cemento y concreto en Colombia, aumentará de los actuales 1,46 TWh, a 2,64 TWh para el año 2050, lo que implica casi duplicar la actual demanda eléctrica.

A continuación, tabla indicativa consumo eléctrico de cemento, concreto y CCUS y las emisiones Alcance 2 correspondientes.

EMISIONES INDIRECTAS (ALCANCE 2)	2020	2030	2050
Factor Emisión Red Eléctrica [gCO ₂ /kWh]	419	200	0
Consumo Específico Cemento [kWh/t cem]	116	103	103
Consumo Eléctrico Cemento [TWh]	1,44	1,53	1,67
Consumo Específico concreto [kWh/m ³]	3	3	5
Consumo Eléctrico concreto [TWh]	0,03	0,04	0,1
Consumo Específico CCUS* [kWh/t ck]	0	0	100
Consumo Eléctrico CCUS [TWh]	0	0	0,9
Consumo Eléctrico Total [TWh]	1,46	1,57	2,64
Emisiones Indirectas Electricidad [MtCO ₂]	0,6	0,3	0,0

* Considerando solo un tercio producción de clínker con captura
Tabla 8: Emisiones Indirectas Electricidad (Alcance 2)



9 Recarbonatación

La recarbonatación se define como una reacción química por la cual el CO₂ de la atmósfera es absorbido por el concreto durante su ciclo de vida, formando principalmente carbonato cálcico en las estructuras.

Además de absorber CO₂ de la atmósfera, este proceso puede fortalecer el concreto al aumentar la densidad de su estructura porosa. De acuerdo al IPCC, en condiciones óptimas, este proceso puede absorber hasta el 50% del CO₂ 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.

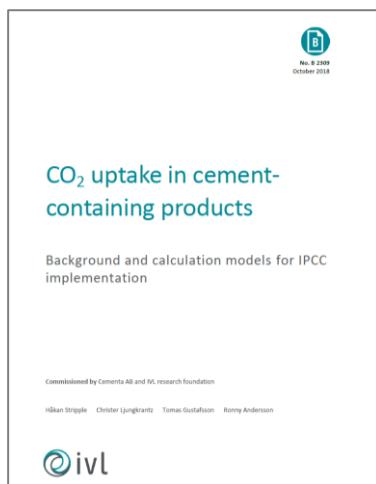


Imagen 3: Estudio IVL sobre absorción de CO₂ por recarbonatación

Según el estudio de IVL *CO₂ uptake in cement containing products*, la recarbonatación en la etapa de uso del concreto se puede estimar como el factor de 20% multiplicado por la emisión reportada por la calcinación del clinker de cemento consumido.

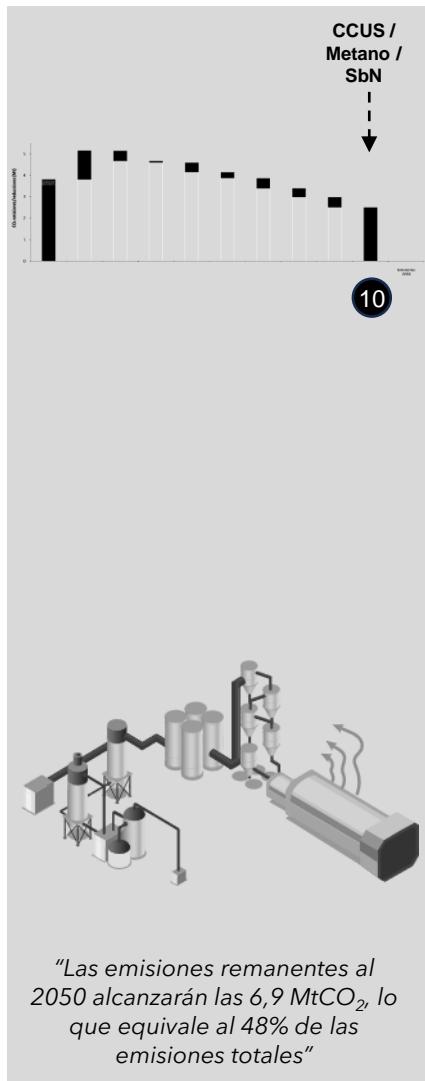
Sin embargo, la cantidad de CO₂ que será absorbida por la carbonatación depende de varios factores, entre otros, la curva de absorción temporal, dado que esta no es constante en el tiempo, y el nivel de exposición del concreto al CO₂ ambiente.

En Colombia, la recarbonatación aportará un 7,3% de la reducción total de emisiones al año 2050.

A continuación, la tabla resumen del proceso de recarbonatación para esta Hoja de Ruta Carbono Neutral.

RECARBONATACION	2020	2030	2050
Consumo Clíker NZA [MtCk]	8,5	8,8	9,0
Factor Emisión Calcinación [kgCO ₂ /kgCk]	0,525	0,525	0,525
Factor Recarbonatación [%]	20%	20%	20%
Reducción Emisiones [MtCO₂]	0,9	0,9	1,0

Tabla 9: Absorción de CO₂ por Recarbonatación



10 Reducciones sink/avoidance

La aplicación de los Ejes 3 al 9, permitirá reducir la huella de carbono, pero aún quedarán considerables emisiones remanentes, que alcanzarán un 48% de las emisiones totales en Colombia. Estas emisiones serán reducidas de acuerdo a la siguiente jerarquía de soluciones:

1. Captura, uso y/o almacenamiento de CO₂.
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 CO₂ capturado, debido a que los mercados de uso de CO₂ 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 tabla de referencia.

- 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 CO₂: Productos químicos básicos, urea, ácido fórmico, polímeros; power-to-gas (CH₄); Transformación de líquidos (metanol); recuperación mejorada de petróleo o gas (EOR/EGR); captura de algas y producción de combustible, biocombustibles

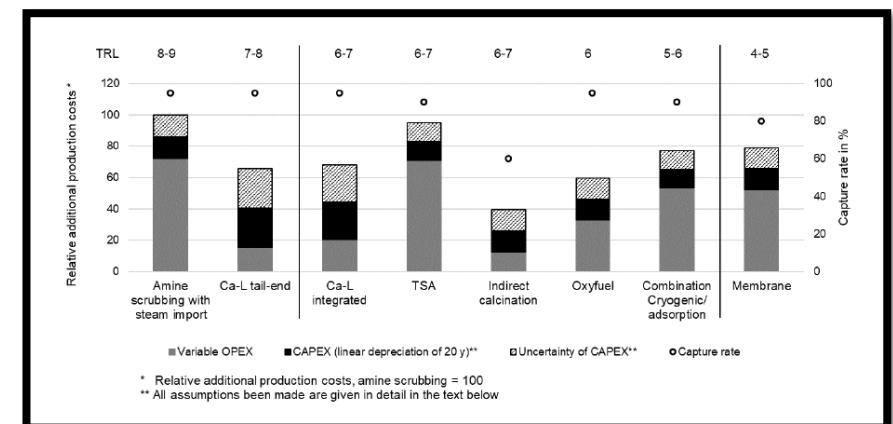
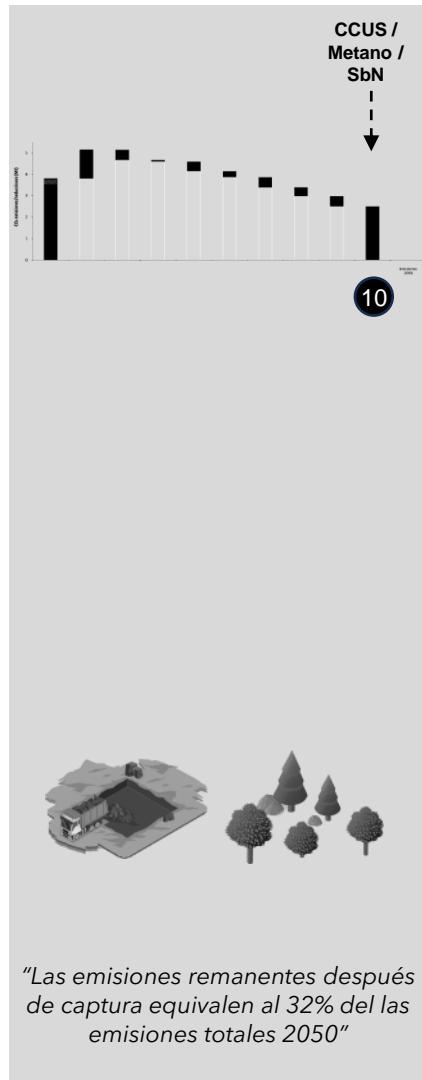


Gráfico 5: costos adicionales producción, tasa de captura y TRL de diferentes tecnologías de captura, ECRA Technology Papers 2022

En esta Hoja de Ruta, se considera la captura de CO₂ como la tecnología para mitigar un tercio del total de emisiones remanentes, que equivale a 2,2 MtCO₂ 2050.



Con respecto a los dos tercios restantes de las emisiones remanentes, que equivalen a 4,3 MtCO₂, deberán ser mitigadas mediante las siguientes soluciones, de acuerdo a la jerarquía ya señalada.

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 la matriz de combustibles en el horno de clíker. Esta metodología deberá considerar el contenido porcentual de la fracción de biomasa y el tipo de disposición final que hubiese ocurrido sin coprocesamiento. En particular, el principal proceso en el cual la biomasa se metaniza, se genera cuando se dispone en rellenos, debido a los procesos anaeróbicos que existen en este tipo de rellenos.

De acuerdo a la literatura de referencia, evitar la metanización de la biomasa puede aportar adicionalmente más del doble del CO_{2eq} evitado por el uso de estas biomasas en el horno.

3. Offsets Tecnológicos

Consisten en poder generar un mercado voluntario de carbono que permita adquirir créditos de carbono de proyectos de reducción de CO₂ desarrollados en otras plantas de cemento no reguladas y/o que tengan mayor potencial de reducción de CO₂.

Este mecanismo es equivalente a los mercados de carbono regulados en la Comunidad Europea, California, Canadá, entre otros.

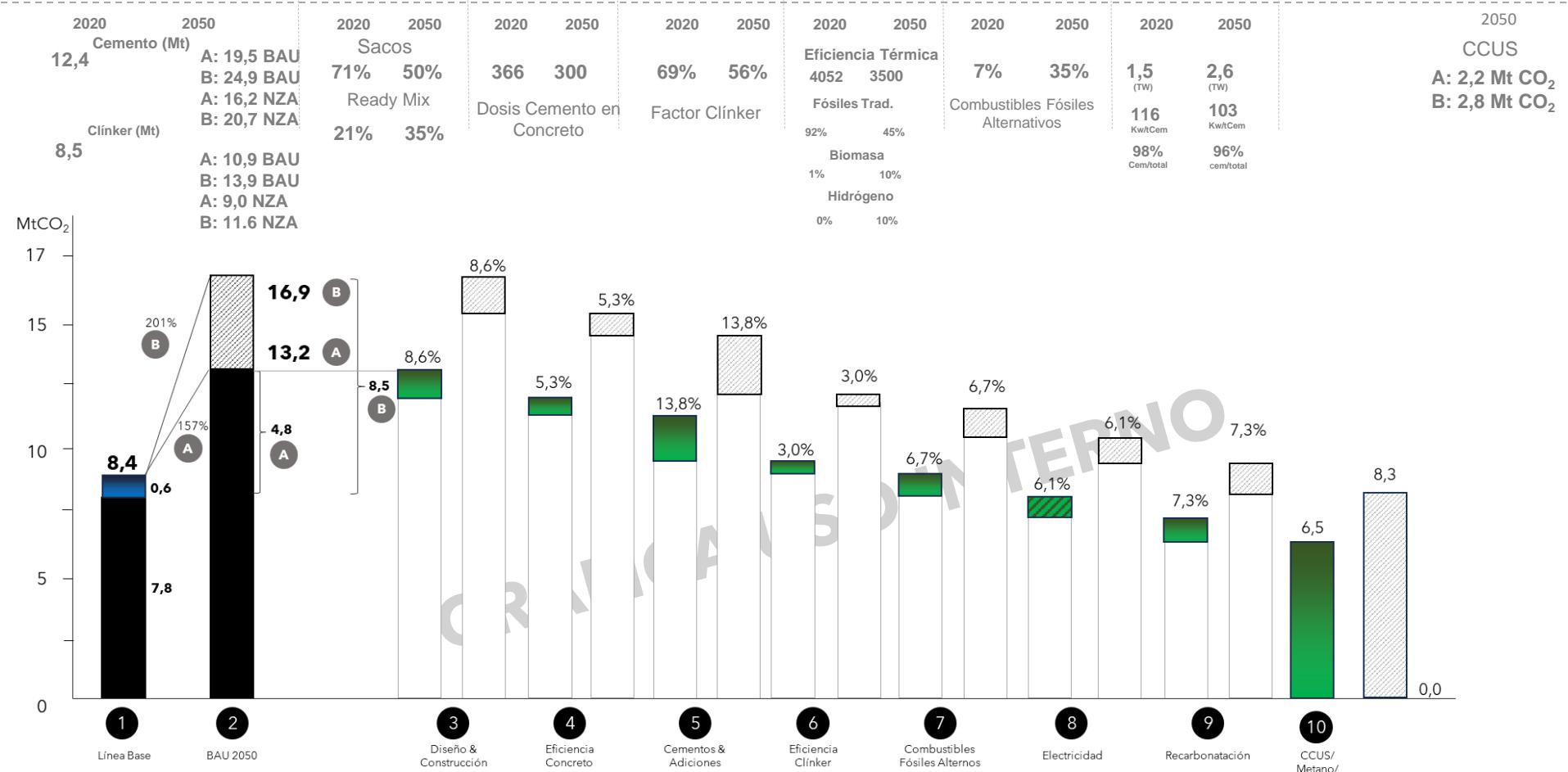
4. Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN)

De acuerdo al último Informe del Banco Mundial, este tipo de offsets es el que genera mayor potencial de reducción de CO₂ 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*).

Metodología FICEM para el uso de offsets

FICEM se encuentra elaborando colaborativamente el conjunto de reglas y metodología para el uso de offsets en las emisiones remanentes de esta Hoja de Ruta, mediante la verificación y validación que se han realizado las acciones razonables y disponibles técnica y financieramente necesarias en los Ejes anteriores (3 al 9).

COLOMBIA
**Aumento
Demanda BAU**
A: 45%
B: 49%
REMANENTES


	2020	2050	Crecimiento	Emisiones 2050	Nota
A Consumo Cemento Proyectado Colombia 2050					
B Consumo Cemento Proyectado Colombia Escenario Demanda Promedio Mundial 2050	12,4 Mt	19,5 Mt	57%	13,2 MtCO ₂	Nota 1
<i>Nota 1: Este consumo se proyectó a partir del volumen de cemento despachado en el país en el año 2020, incrementándolo sobre la base de información de crecimiento en años anteriores, siendo un crecimiento moderado (57% en 30 años).</i>					
<i>Nota 1: Este consumo se considera un escenario promedio que tendrá el mundo en el año 2050 sobre la base de proyecciones de la Agencia Internacional de Energía para la producción de cemento; y de Naciones Unidas para el caso de la población. En este sentido, se aplica una medida de consumo per cápita de 450 kg de cemento por habitante. Para referencia al año 2020, la media colombiana con infraestructura y vivienda por desarrollar, es de 252 kg de cemento por habitante, mientras que la media europea es de 343 kg de cemento por habitante</i>					

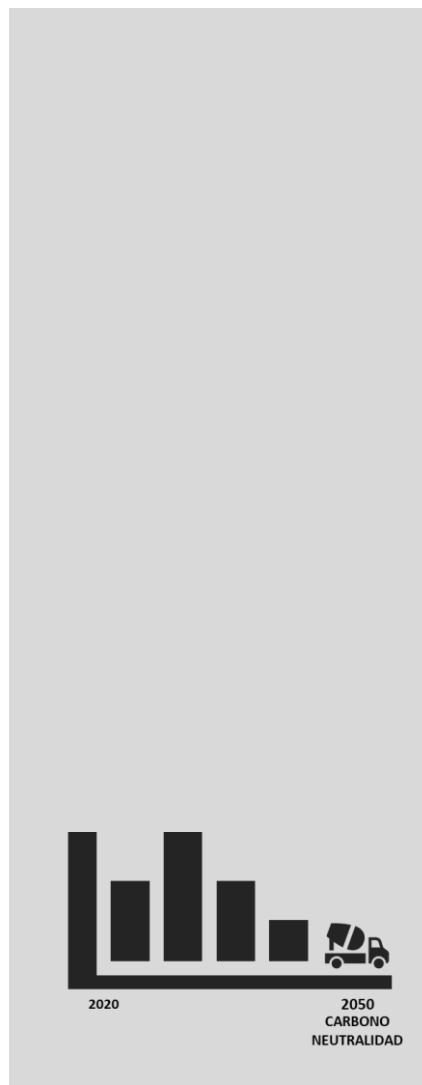
Acciones y Compromisos

1. Lograr la carbono neutralidad neta en la industria del cemento y concreto de Colombia al año 2050.
2. Reducir un 20% las emisiones actuales al 2030, teniendo como referencia los $586 \text{ kgCO}_2/\text{t cemento}$ Emisiones Netas al 2015, esto es, llegar a los $469 \text{ kgCO}_2/\text{t cemento}$ en Emisiones Netas, aumentando la ambición de la Hoja de Ruta 2DS 2021, que establecía una meta de $569 \text{ kgCO}_2/\text{t cemento}$ al año 2030.
3. Alcanzar Coprocesamiento del 15% al año 2030 y un 45% (35% Fósiles Alternativos y 10% Biomasa) al año 2050,
4. Incorporar un 10% de hidrógeno verde en la matriz de combustibles al 2050.
5. Alcanzar Factor Clínker en el cemento del 65% al año 2030 y de 56% al año 2050, respecto del 69% actual.
6. Lograr la aceptación del metano evitado en rellenos sanitarios producto del uso de biomasa en los hornos de cemento, mediante la tecnología del coprocesamiento.
7. Lograr la aceptación de la recarbonatación del concreto como una palanca de reducción de emisiones al año 2050
8. Uso de 100% de energía eléctrica carbono neutral al año 2050
9. Adopción de Soluciones basadas en la Naturaleza
10. Aportar a la Economía Circular mediante la tecnología del coprocesamiento y adiciones provenientes de residuos
11. Mantener un seguimiento periódico de los compromisos adquiridos en esta Hoja de Ruta e incorporar las adecuaciones necesarias, basadas en la agenda global Net Zero del cemento y el concreto.



Alcanzar las metas propuestas en esta Hoja de Ruta, no dependerá exclusivamente de los esfuerzos propios de la industria, sino además de adecuados marcos regulatorios, financiamiento verde y fundamentalmente del trabajo colaborativo entre los distintos sectores, como la academia, la industria, clientes y gobiernos, entre otras partes interesadas.

Bibliografía



1. GCCA Net Zero Roadmap, GCCA, 2021
2. IPCC Sexto Informe Evaluación, IPCC, 2023
3. Hoja de Ruta FICEM – Colombia 2021, PROCEMCO-FICEM, 2021
4. The ECRA Technology Papers 2022, European Cement Research Academy GmbH, 2022
5. CO₂ uptake in cement containing products, IVL, H. Stripple, Ch. Ljungkrantz, T. Gustafsson, R. Andersson, 2018



