

Hoja de Ruta

México

Industria del Cemento



FICEM
Hoja de Ruta CO₂

CÁMARA NACIONAL DEL CEMENTO
CANACEM

HACIA UNA ECONOMÍA BAJA EN CARBONO

2023

Tabla de Contenidos

3	Introducción
6	1. Antecedentes Generales
47	2. Medición, Reporte y Verificación
61	3. Hoja de Ruta FICEM
77	4. México y el Cambio Climático
94	5. Hoja de Ruta FICEM - México
120	6. Acciones y Compromisos HR
122	7. Referencias Bibliográficas
125	8. Anexos

Introducción

La Federación Interamericana del Cemento (FICEM), en conjunto con la Cámara Nacional del Cemento (CANACEM), y las empresas CEMEX, Cruz Azul, Cementos Chihuahua, Cementos Fortaleza, Holcim México y Cementos Moctezuma, han elaborado la Hoja de Ruta México - FICEM: "Hacia una economía baja en carbono", en la cual se incorporan los esfuerzos realizados a nivel global por la Cement Sustainability Initiative (CSI) iniciativa asumida a partir del año 2019 por la Global Cement and Concrete Association (GCCA). En esta Hoja de Ruta también se consideran las necesidades locales de mitigación y adaptación al cambio climático.

El trabajo realizado por FICEM, desde ya casi una década, ha tenido como uno de sus principales ejes la "Sostenibilidad de la Industria", donde se ha logrado imponer un sello de colaboración y trabajo en equipo, comprendiendo que el beneficio ambiental es un valor para toda nuestra sociedad, y con la convicción que el uso del cemento en los nuevos tiempos es una de las soluciones más eficientes para la mitigación y adaptación requerida al cambio climático.

Lo anterior, debe ser consistente con lograr que las emisiones de CO₂eq se encuentren bajo los niveles comprometidos globalmente, y así evitar que la tierra aumente su temperatura en más de 1,5°C con respecto a la era preindustrial. Como se mencionó al comienzo, el desafío aquí planteado encuentra como referente mundial a CSI y, más específicamente, su denominado "Technology Roadmap Low - Carbon Transition in the Cement Industry" del año 2018, actualización de su Roadmap del año 2009, que en conjunto con la International Energy Agency (IEA), definió los objetivos de reducción de emisiones de CO₂eq en la producción de cemento para distintos escenarios, y con hitos cronológicos hasta el año 2050.

En este contexto, y considerando los Objetivos Mundiales de Desarrollo Sostenible (ODS) de Naciones Unidas, los desafíos del Acuerdo de París (COP 21) y las iniciativas de CSI, la industria del cemento de México ha desarrollado su "Hoja de Ruta FICEM - México hacia una economía baja en carbono" (HR México), evaluando las mejores prácticas disponibles para la acción climática en la mitigación de Gases Efecto Invernadero (GEI), considerando sus adecuaciones locales y posicionando al cemento como el material de construcción líder en resiliencia para la necesaria adaptación al cambio

climático de México, país con una alta vulnerabilidad frente a eventos climáticos. Las condiciones socioeconómicas como la pobreza y las desigualdades, la fragilidad de los ecosistemas naturales y las características geográficas y climáticas del país, hacen que México sea sumamente vulnerable al cambio climático. En los últimos 50 años, las temperaturas promedio en el país han aumentado, lo que corresponde con el incremento global reportado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). A diferencia de la aridez, que es una condición natural per se de una región, la sequía se considera como una condición climática temporal, en la cual el nivel de la precipitación es significativamente menor a la normal, lo que puede ocasionar serios desequilibrios hidrológicos que afectan negativamente a los sistemas ecológicos y productivos (UNCCD, 1996).

En línea con los ejes globales de mitigación para el sector cemento, los principales indicadores para la reducción de CO₂ revisados en la HR México son: el Factor Clínter/Cemento, el Coprocesamiento y la Eficiencia Energética, sin dejar de lado las nuevas tecnologías emergentes e innovadoras en captura de CO₂, que, si bien requieren mayor investigación, pueden ser claves para el cumplimiento de las metas en el tramo comprendido entre los años 2030 y 2050.

Del mismo modo, la economía circular pasa a ser un eje central de las estrategias presentes y futuras, pues cuando se piensa en la reducción, reutilización y reciclaje de elementos, el rol del mundo cementero no es menor, puesto que a través del coprocesamiento y las materias primas alternativas, con foco en la valorización de residuos, se está haciendo un aporte sustancial a esta visión de la economía y del medioambiente, el cual no sólo genera reducción de CO₂, sino que también aporta al despliegue de la economía circular.

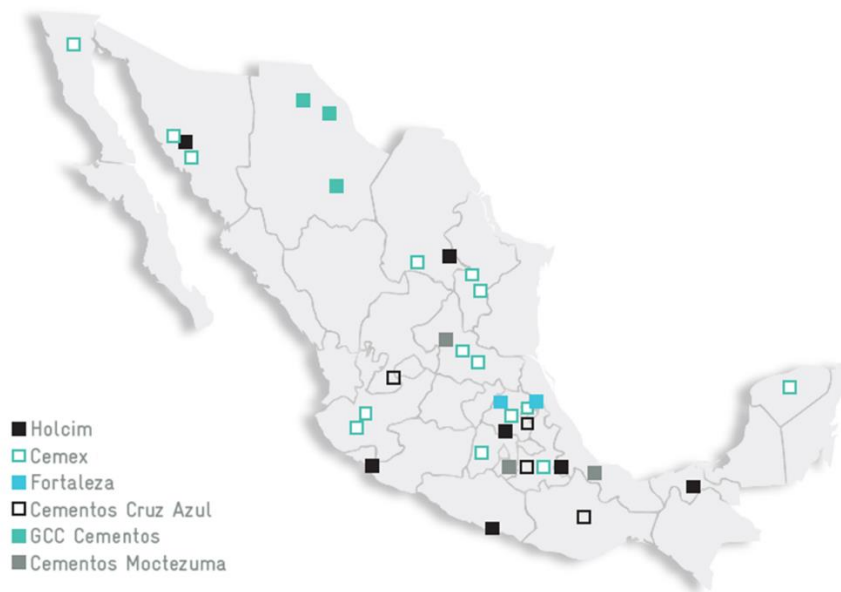
La HR México se organiza en seis capítulos. En el Capítulo 1 se describen las estrategias internacionales de la industria del cemento para enfrentar el cambio climático. El Capítulo 2 revisa los sistemas de Medición, Reporte y Verificación (MRV), tanto para su aplicación a países, como a procesos industriales, y a la producción de cemento. Además, se detalla el sMRV FICEM, un MRV elaborado por FICEM para ser aplicado en Latinoamérica, basado en los criterios internacionales. El Capítulo 3 revisa la Hoja de Ruta FICEM 2017, con sus objetivos, herramientas, instrumentos y pasos para apoyar la construcción de las Hojas de Ruta País. El Capítulo 4 repasa algunas de las particularidades de México: su contexto, vulnerabilidades al cambio climático, y políticas climáticas.

El Capítulo 5 aborda los principales indicadores ambientales para México (análisis comparado de los principales ejes de

reducción). Adicionalmente, en este capítulo se estiman las reducciones alcanzadas y el potencial de reducción al año 2030, con base en la revisión de los *papers* de la *Academia Europea de Investigación del Cemento* (ECRA, por sus siglas en inglés).

Finalmente, el Capítulo 6 contiene las acciones y compromisos de la industria para la implementación de la HR México.

Este documento es resultado del trabajo realizado por FICEM en conjunto con las industrias cementeras mexicanas que, sobre la base de antecedentes sólidos, reconocidos y confiables, han elaborado una trayectoria para acompañar a la Industria del Cemento en su transición hacia una economía baja en carbono, posicionando al cemento como el material líder en construcción para la necesaria adaptación a los efectos del cambio climático en México.





POSICIONANDO AL CEMENTO COMO MATERIAL
LÍDER PARA LAS NECESIDADES DE MITIGACIÓN Y
ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO.

1

Antecedentes Generales

En este capítulo se describen los dos pilares principales que fueron estudiados para la definición de la Hoja de Ruta de México.

Como primer pilar se consideró la estrategia mundial para enfrentar las causas y efectos del cambio climático, partiendo de la base del Acuerdo de París, sus antecedentes, partes interesadas y sus compromisos de Mitigación y Adaptación.

Como segundo pilar, se consideraron los desafíos que la producción de cemento a nivel mundial ha determinado y que se ven materializados en la publicación en Octubre del año recién pasado de su Roadmap para la carbono neutralidad del concreto liderado por la Asociación Global del Cemento y Concreto (GCCA), trabajo basado en esfuerzos anteriores, tales como, el Cement Technology Roadmap 2009 y su actualización del año 2018, ambos documentos desarrollados por el WBCSD y su iniciativa para la sostenibilidad del cemento (CSI).

1.1

Estrategia global para enfrentar el cambio climático

1.1.1

Visión del cambio climático

De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), el cambio climático puede definirse como la "*importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado, normalmente decenios o incluso más*" (IPCC, 2001)¹, incremento que se ha atribuido al aumento en la concentración en la atmósfera de GEI de origen antropogénico – CO₂, metano (CH₄), entre otros – generando así un aumento en la temperatura media global de la superficie terrestre denominado "Calentamiento Global".

En relación con lo anterior, el IPCC entrega un panorama del cambio observado en la temperatura media en superficie entre los años 1901 y 2012, mostrando que casi la totalidad del planeta ha experimentado un aumento de la temperatura en superficie, y señalando que la temperatura promedio de la superficie ha aumentado 0,85°C en comparación con el período preindustrial (1880 - 2012).² Actualmente, el IPCC ha reportado que el calentamiento global ya supera los 1°C, lo que incrementa en forma significativa los efectos de este aumento de temperatura en el cambio climático.

En la Figura 1 se aprecian los incrementos de temperatura en promedio globales para la superficie terrestre y oceánica.

¹ Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, CMNUCC, Artículo 1 Definiciones, 1992

² Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC, Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2013

Figura 1. Comparación del cambio climático observado y simulado
Fuente. Climate Change Informe 3 IPCC 2014

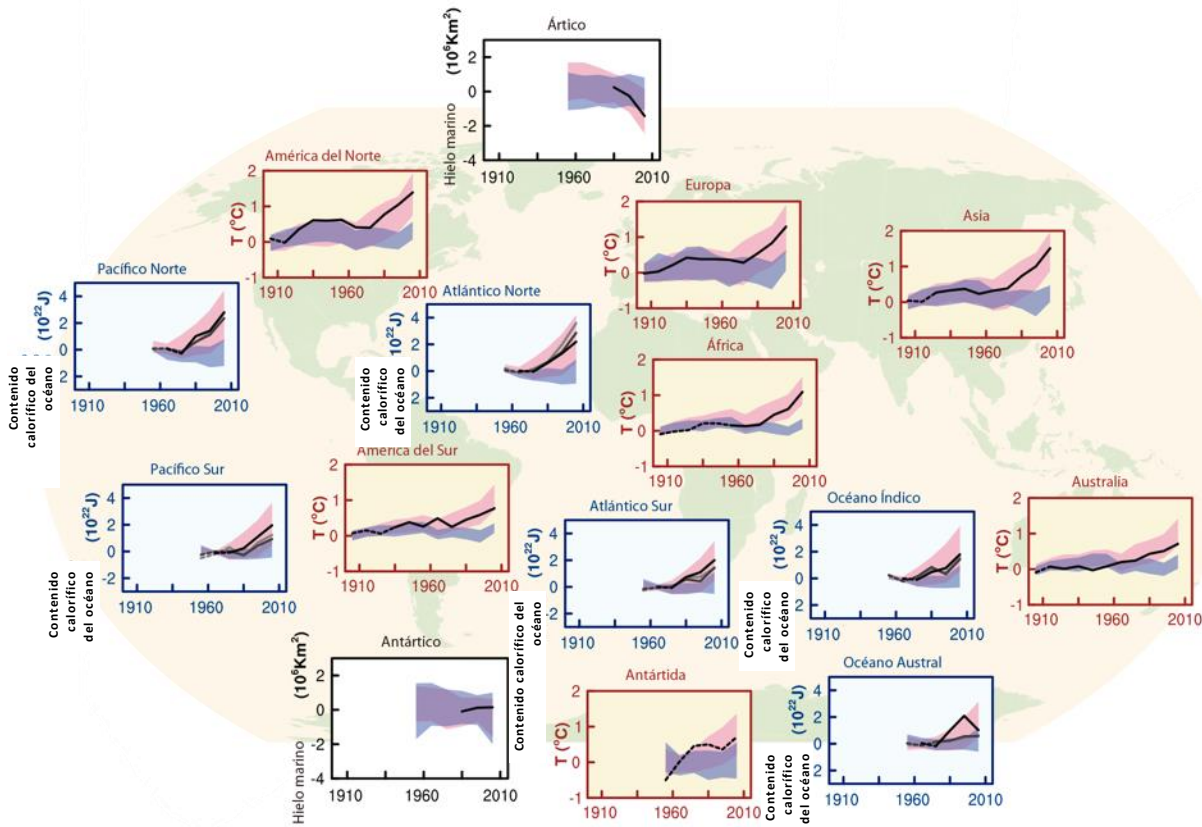


Figura RRP6: Comparación del cambio climático observado y simulado, basada en tres indicadores a gran escala en la atmósfera, la criósfera y el océano: cambio en las temperaturas del aire en la superficie terrestre continental ($^{\circ}\text{C}$), extensión del hielo marino en septiembre en el Ártico y el Antártico (Km^2) y contenido calorífico en las capas superiores del océano de las principales cuencas oceánicas (J). También se muestran los cambios en el promedio global. Las anomalías se describen en relación con el período 1880-1919, por lo que respecta a las temperaturas en superficie, con el período 1960-1980, por lo que refiere al contenido calorífico del océano, y con el período 1979-1999, por lo que respecta al hielo marino. Todas las series temporales se componen de promedios decenales, representados en la mitad del decenio.

En los gráficos de temperaturas, las observaciones se señalan con líneas discontinuas cuando la cobertura espacial de las regiones examinadas es inferior al 50%. En los gráficos relativos al contenido calorífico del océano y de hielo marino, la línea continua muestra las zonas donde la cobertura de datos es buena y de mayor calidad y la línea discontinua muestra las zonas donde la cobertura de datos sólo es suficiente, en las que, por lo tanto, la incertidumbre es mayor. Los resultados de los modelos mostrados representan gamas de conjuntos por para varios modelos de la quinta fase del Proyecto de comparación de modelos acoplados (CMIP5), con bandas sombreadas que muestran unos intervalos de confianza entre el 5% y 95%. Para más detalles técnicos, incluidas las de definiciones de las regiones, véase el material complementario del Resumen Técnico (figura 10.21: guía RT.12)

Considerando los incrementos graficados en la Figura 1, y con el objeto de entender las proyecciones de aumento de las emisiones de GEI y sus efectos en las temperaturas medias de la tierra, el IPCC desarrolló los denominados RCP (Trayectorias de Concentraciones Representativas, por sus siglas en inglés), que proyectan el cambio en la temperatura media en superficie para cuatro escenarios diferentes de emisiones de GEI. Estas proyecciones son para finales del siglo XXI, en relación con el período 1986 - 2005.

En la Figura 2, la proyección de la izquierda está basada en un escenario RCP 2,6 con emisiones relativamente limitadas de gases de efecto invernadero, mientras que la proyección de la derecha está basada en un escenario RCP 8,5 con emisiones muy altas de GEI. Los otros dos escenarios, que no se visualizan en la Figura 2, son de emisiones medias de GEI y se denominan RCP 4,5 y RCP 6,0. El RCP 2,6 proyecta un aumento de 0,3 a 1,7°C de la temperatura media de la superficie de la tierra, mientras el RCP 8,5 proyecta un aumento de 2,6 a 4,8°C.

El escenario RCP 2,6 contempla la reducción de las emisiones al 50% de la línea base actual en el año 2050, llegando a 0 emisiones netas para el año 2100. En cuanto al escenario RCP 8,5, contempla el crecimiento de las emisiones actuales sin acciones de reducción, quedando en evidencia los cambios que se producirían en el caso de no realizar acciones climáticas globales.

El cambio climático tiene un impacto sobre casi todos los aspectos de nuestras vidas. Nuestros ecosistemas sufren la pérdida de la biodiversidad y del hábitat, y los sistemas humanos, como la salud, se ven afectados negativamente, por ejemplo, mediante la propagación de vectores de enfermedades, como los mosquitos. El cambio climático también nos insta a repensar nuestros sistemas urbanos (el transporte y los edificios, entre otros) y el modo en que desarrollamos nuestra actividad económica (incluidas las oportunidades de negocios verdes). Lo anterior se puede ejemplificar en la forma inadecuada de generar y usar la energía en los dos últimos siglos.

Los efectos del cambio climático también pueden provocar conflictos u obligar a las personas a migrar (por ejemplo, desde las zonas costeras bajas).

Estos antecedentes demuestran la urgencia que supone la reducción de las emisiones de GEI y la necesidad que ésta sea una acción global, en la que todos los países deban contribuir en la lucha contra las causas antropogénicas que han generado el calentamiento global, y cuyas proyecciones son la alerta para nuestra generación.

Figura 2. Cambio de la temperatura y precipitación medias, extensión del hielo marino y del pH del océano superficial, proyectados al 2100

Fuente. Climate Change Informe 3 IPCC 2014

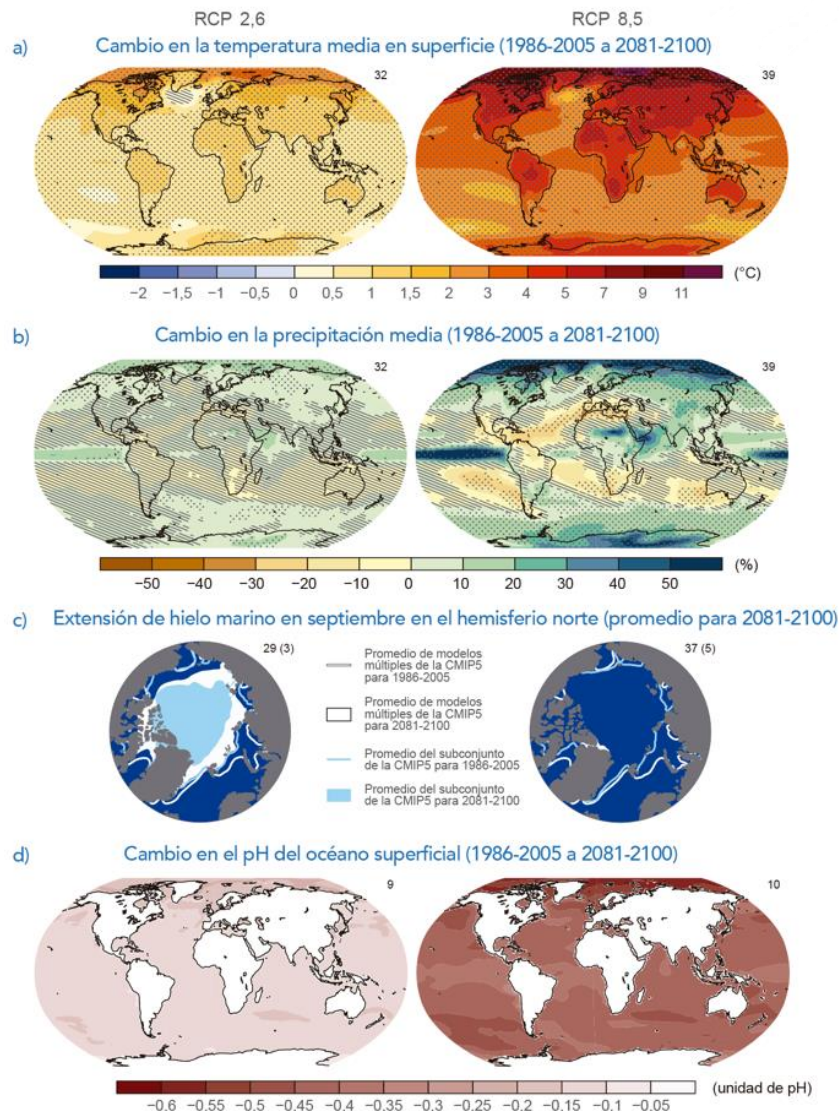


Figura RRP8: Mapas de resultados medios de modelos múltiples de la quinta fase del Proyecto de comparación de modelos acoplados (CMIP5) de los escenarios RCP2.6 y RCP8.5, correspondientes al período 2081-2100, relativos a: a) el cambio anual en la temperatura media en superficie; b) el cambio de la media porcentual de la precipitación media anual; c) la extensión de hielo marino en septiembre en el hemisferio norte; y d) el cambio en el pH del océano superficial. Los cambios en los mapas a), b) y d) se muestran en relación con el período 1986-2005. El número de modelos de la CMIP5, utilizados para calcular la media de los modelos múltiples, se muestra en la esquina superior derecha de cada mapa. En los mapas a) y b), las tramas sombreadas indican las regiones donde la media de los modelos múltiples es pequeña en comparación con la variabilidad interna natural (esto es, inferior a una desviación típica de la variabilidad interna natural en medias de 20 años).

Las tramas punteadas indican las regiones donde la media de los modelos múltiples es grande en comparación con la variabilidad interna natural (esto es, superior a dos desviaciones típicas de la variabilidad interna natural en medias de 20 años) y donde, por lo menos, el 90% de los modelos concuerdan con el signo del cambio (véase el recuadro 12.1). En la imagen c), las líneas son las medias de los modelos para 1986-2005, las áreas rellenas corresponden al final del siglo. Se indica en blanco la media de los modelos múltiples CMIP5, y en celeste la proyección de la extensión media del hielo marino de un subconjunto de modelos (número de modelos indicado entre paréntesis), que reproduce con mayor aproximación el estado medio climatológico y la tendencia registrada entre 1979 y 2012 de la extensión de hielo marino del Ártico. Para mapas detalles técnicos, véase el material complementario del Resumen técnico (Figuras 6.28, 12.11 y 12.29, figuras RT.15, RT.16, RT.17 y RT.20)

1.1.2

Marco internacional para abordar el cambio climático IPCC y CMNUCC

En la Declaración Ministerial de la Segunda Conferencia Mundial sobre el Clima, el IPCC solicitó un tratado que abordara el problema del cambio climático antropogénico. La Asamblea General de las Naciones Unidas abordó formalmente las negociaciones en torno a una convención marco, siendo su primera reunión del Comité Intergubernamental de Negociación (CIN) en 1991. Luego de 15 meses, el CIN aprobó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

El objetivo de la CMNUCC es “impedir interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático mediante la estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera”. Las principales respuestas para abordar el cambio climático son la mitigación y la adaptación. La Convención no enumera los GEI que se deben regular, solo hace referencia al dióxido de carbono y a otros gases de efecto invernadero (CO₂ eq).

Asimismo, establece el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas, lo que refleja la idea que la responsabilidad de las partes para responder al cambio climático debería ser compartida sobre la base de las contribuciones históricas y actuales, así como su capacidad para responder al problema. Este principio tiene diversas aplicaciones en la Convención y los países desarrollados deben tomar la iniciativa en lo que respecta a combatir el cambio climático. Del mismo modo, se deberían considerar las necesidades específicas y las circunstancias especiales de los países en desarrollo.

La Figura 3 muestra los impactos generalizados del cambio climático en las diferentes regiones del planeta. En el caso de América del Norte, los impactos se asocian, principalmente a la pesca, glaciares, recursos hídricos, ecosistemas, erosión y asentamientos humanos.

Figura 3. Impactos generalizados atribuidos al cambio climático sobre la base de la documentación científica disponible desde el Cuarto Informe de Evaluación IPCC

Fuente. Climate Change Informe 3 IPCC 2014

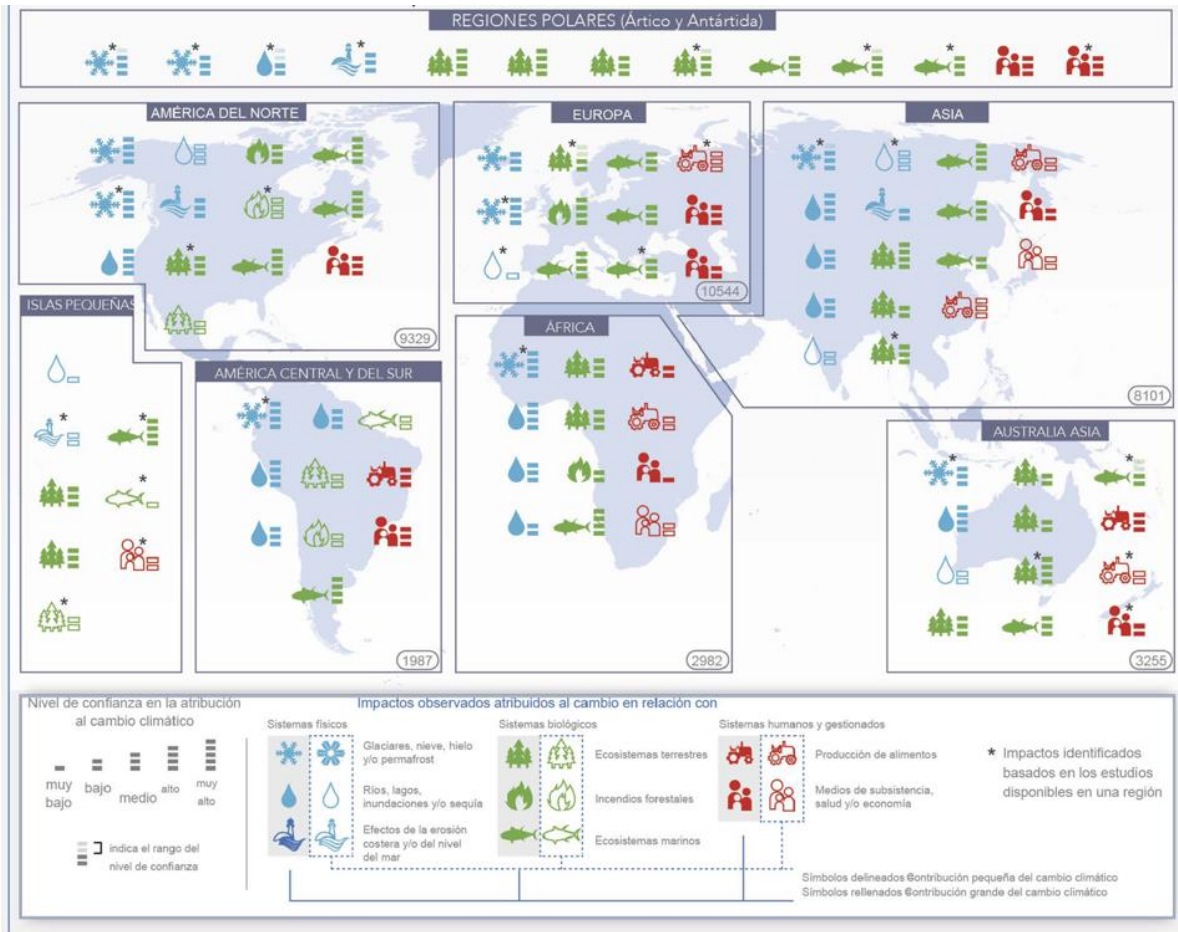


Figura RRP4: Sobre la base de la documentación científica disponible desde el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC, hay un número sustancialmente mayor de impactos en las últimas décadas atribuidos al cambio climático. La ausencia en el mapa de otros impactos atribuidos al cambio climático no implica que esos impactos no hayan ocurrido. Las publicaciones que sustentan los impactos atribuidos reflejan una base de conocimientos cada vez mayor, aunque las publicaciones siguen siendo limitadas para muchas regiones, sistemas y procesos, lo que pone de relieve las lagunas en los datos y estudios. Los símbolos indican categorías de impactos atribuidos, la relativa contribución del cambio climático (grande o pequeña) al impacto observado y el nivel de confianza en la atribución. Cada símbolo hace referencia a una o más entradas en GTII cuadro RRP1, de modo que se agrupan impactos conexos a escala regional.

Las cifras en los óvalos indican totales regionales de publicaciones relativas al cambio climático de 2001 a 2010, según la base de datos bibliográfica Scopus para publicaciones en inglés en que el nombre de un país se menciona en el título, en el resumen con las palabras clave (en julio de 2011). Estas cifras proporcionan una idea general de la documentación científica disponible sobre el cambio climático en las regiones, no indican el número de publicaciones que apoyan la atribución de los impactos del cambio climático en cada región. Los estudios relativos a las regiones polares e islas pequeñas se agrupan con las regiones continentales vecinas. La inclusión de publicaciones para la evaluación de la atribución se ajustó a los criterios del IPCC sobre evidencia científica definidos en GTII capítulo 18. Las publicaciones incluidas en los análisis de atribución proceden de una gama más amplia de documentos evaluados en el GTII IE5. Véase el GTII cuadro RRP1 para la descripción de los impactos atribuidos (figura 1.11)

Otros principios rectores de la CMNUCC se centran en la importancia del derecho al desarrollo sostenible y la obligación de las partes de la Convención en cooperar para promover un sistema económico internacional abierto y propicio que conduzca al crecimiento y desarrollo sostenible; en particular, de las regiones en desarrollo, como es el caso de México en Norteamérica, región donde no sólo se deben evaluar los impactos del

cambio climático, sino también la capacidad de adaptación a sus efectos.

Esta región está expuesta a impactos que afectan directamente sus actividades económicas o reservas relevantes, como los ecosistemas y la pesca, por lo que esta región deberá destinar importantes recursos a la adaptación a estos impactos.

La **Conferencia de las Partes (COP)** es el órgano supremo de la Convención y se encarga de supervisar su aplicación, además de cualquier instrumento legal asociado. Todas las Partes de la Convención aceptan una serie de compromisos generales. El artículo 4 enumera los compromisos que todas las Partes deben cumplir, teniendo en cuenta sus responsabilidades comunes, pero diferenciadas, y el carácter específico de sus prioridades nacionales y regionales de desarrollo, de sus objetivos y de sus circunstancias³.

Uno de los compromisos de todas las Partes es desarrollar inventarios nacionales de GEI, y entregar reportes a la COP sobre información relacionada a la implementación de los compromisos asociados a la Convención. Éstas se llaman Comunicaciones Nacionales y traen consigo un conjunto de información sobre cambio climático: inventario GEI, vulnerabilidad, medidas de adaptación, medidas de mitigación, construcción de capacidades y necesidades tecnológicas.

La primera versión de la COP (COP 1) fue realizada en Berlín, en el año 1995. Posteriormente, se pueden destacar los acuerdos alcanzados en las reuniones:

COP 3 “Kioto, 1997”, en la que se estableció el conocido “Protocolo de Kioto”; COP 13 “Bali, 2007”, de la que surgió el concepto de NAMA “Acciones de mitigación apropiadas a cada país”; COP 15 “Copenhague, 2009”, que acordó la creación del Fondo Verde del Clima; COP 19 “Doha, 2012”, cuando se extendió el Protocolo de Kioto hasta el 2020 y se confirmó la falta de acuerdos y compromisos de los países; COP 20 “Lima, 2014”, que generó las bases de los acuerdos comprometidos en la COP 21 realizada en París en el año 2015, siendo ésta la ocasión en la que se alcanzó, por primera vez, un acuerdo mundial con la participación de más de 150 líderes mundiales, además de observadores y sociedad civil, denominado “Acuerdo de París para la mitigación y adaptación al cambio climático”.

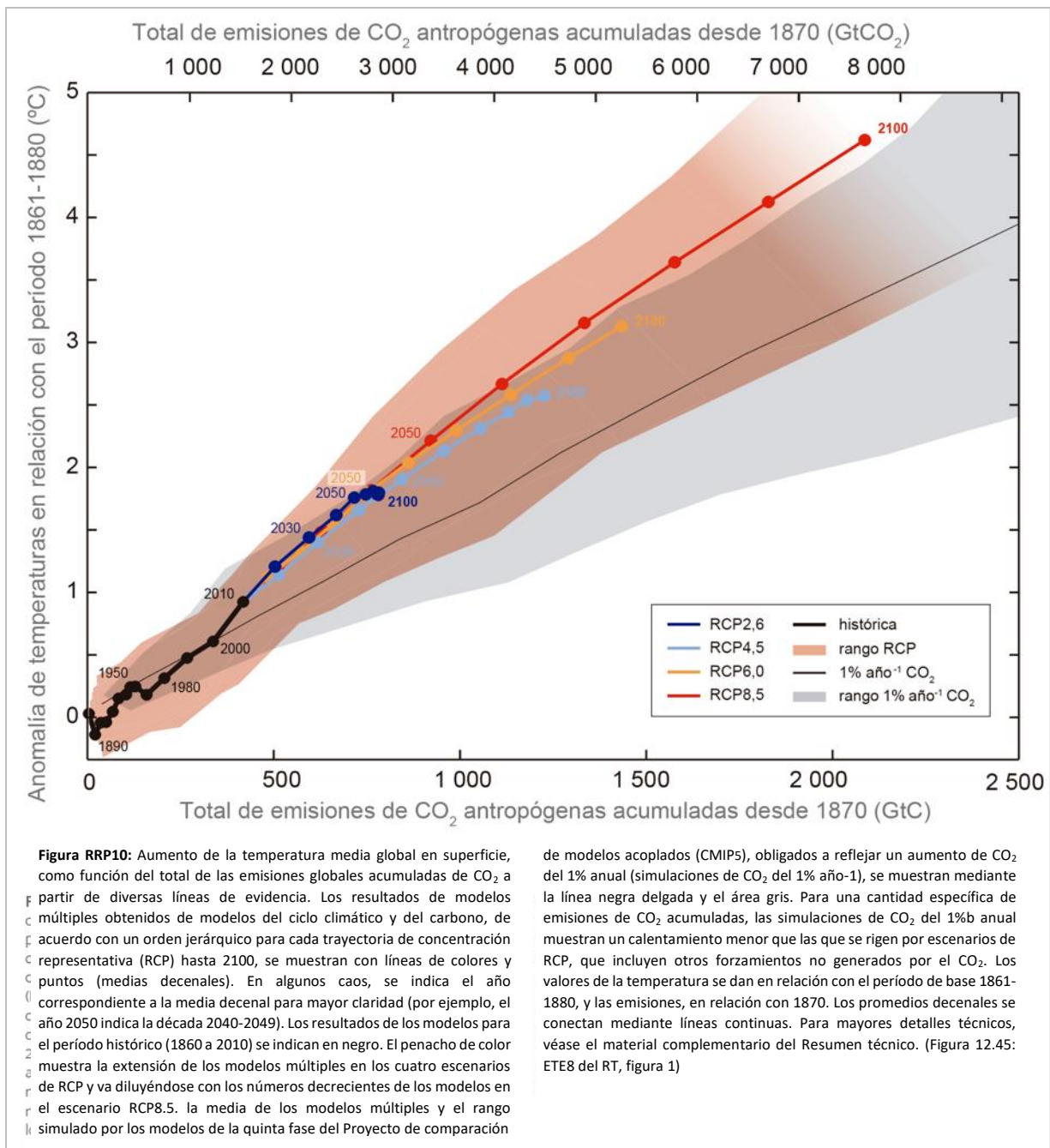
En la siguiente figura, se puede apreciar que los esfuerzos por reducir GEI, destacándose el Protocolo de Kioto del año 1997, no han tenido los resultados esperados; es más, se aprecia un incremento en las emisiones. Por ello, la importancia del éxito de los compromisos planteados en la COP 21. Además, la figura proyecta el efecto de las emisiones de CO₂ y su potencial incremento de temperaturas al 2100.



Convención Marco de las Naciones Unidas
sobre el Cambio Climático

³ Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, CMNUCC, Manual, 2006

Figura 4. Emisiones antropógenas acumuladas
Fuente. Climate Change Informe 3 IPCC 2014



El Acuerdo de París entró en vigor el 4 de noviembre del año 2016, y fue ratificado por más de 100 países que cubren casi el 80% de emisiones de GEI⁴. Este Acuerdo ONU es legalmente vinculante, y tiene por objetivo que los países se comprometan a mantener la temperatura media mundial “muy por debajo” de 2°C respecto a los niveles preindustriales al año 2050, para lo que se deberá reducir drásticamente las emisiones de GEI proyectadas. Lo anterior se ve reflejado en el instrumento internacional denominado “Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional” (NDC, por sus siglas en inglés), los que entrarán en vigor el año 2020 y se revisarán cada 5 años mediante un mecanismo transparente de seguimiento al cumplimiento.

Además, se podrán utilizar mecanismos de mercado (compraventa de emisiones) para cumplir sus objetivos.

También se considera financiamiento de los países desarrollados para la mitigación y adaptación en los países en vías de desarrollo, movilizándolo un mínimo de 100.000 millones de dólares anualmente, a partir del año 2020.

Es importante cuantificar la incidencia de los distintos GEI, con el fin determinar las acciones más eficientes de reducción de emisiones.

En la siguiente figura se muestran los aportes de los distintos tipos de GEI.

Figura 5. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de origen antropogénico, anuales, totales y por grupos de gases, de 1970 a 2010.

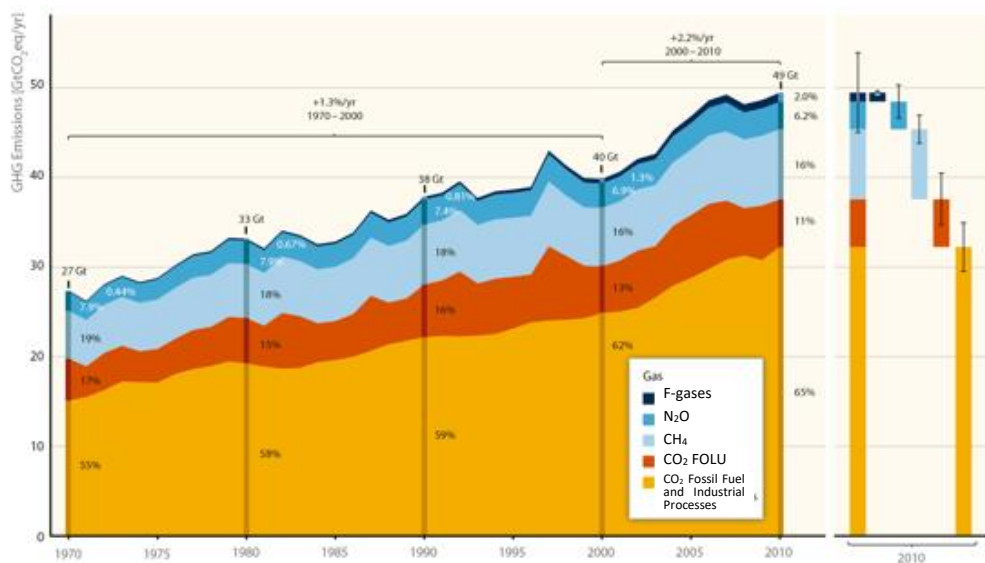


Figura RRP2: Emisiones antropógenas anuales totales de gases de efecto invernadero (GEI) (gigatonelada de CO₂-equivalente al año, GtCO₂-eq/año) para el período comprendido entre 1970 y 2010, por gases CO₂ procedente de la quema de combustibles fósiles y procesos industriales.; CO₂ procedente de la silvicultura y otros usos del suelo (FOLU); metano (CH₄); óxido nitroso (N₂O); gases fluorados abarcados en el Protocolo de Kyoto. A la derecha se muestran las emisiones de 2010, con ponderaciones de emisiones de CO₂-equivalente basadas en valores de los Informes de Evaluación segundo y quinto del IPCC. A menos que se indique de otro modo, las emisiones de CO₂-equivalente en el presente

informe incluyen los gases citados en el Protocolo de Kyoto (CO₂, CH₄, N₂O y los gases fluorados) calculados sobre la base de valores del potencial de calentamiento global con un horizonte temporal de 100 años (PCG₁₀₀) procedentes del Segundo Informe de Evaluación (IE₂) (véase el glosario). La utilización de valores de PCG₁₀₀ más recientes del Quinto Informe de Evaluación (IE₅) (barras a la derecha) daría un mayor número de emisiones anuales totales de gases de efecto invernadero (52 GtCO₂-eq/año) a raíz de una mayor contribución del metano, pero ello no cambiaría la tendencia a largo plazo de manera significativa (figura 16, recuadro 3.2)

⁴ Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, CMNUCC, Acuerdo de París, 2015

Posteriormente, en la COP 22, llevada a cabo en Marrakech (Marruecos) desde el 7 al 18 de noviembre del año 2016, se trabajó en la consolidación de las estrategias asociadas a la COP 21, y se abordó el estado de avance de los financiamientos y herramientas de mayor apoyo para reducciones de GEI pre - 2020.

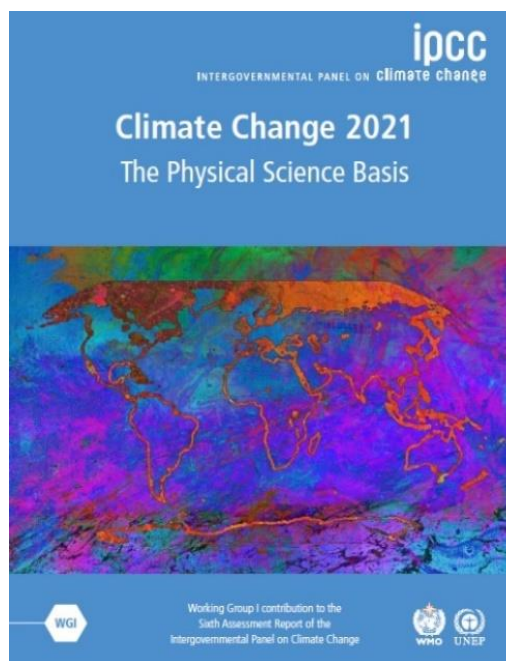
A la fecha, se han desarrollado una serie de instrumentos oficiales para la mitigación y adaptación. Por ejemplo, en el caso de las Emisiones Provocadas por la Deforestación y la Degradación Forestal (REDD), a través de ofrecer incentivos a los países en desarrollo para reducir las emisiones de las zonas forestales, e invertir en un desarrollo con bajas emisiones de carbono, mejorando al mismo tiempo los medios de subsistencia.

REDD+ amplía el alcance de REDD, e incluye la conservación, la gestión sostenible de los bosques y el aumento de las reservas forestales de carbono. Otro ejemplo son las "Acciones Nacionales de Mitigación Apropriadas" (NAMA, por sus siglas en inglés), que generan políticas y medidas voluntarias para reducir las emisiones de GEI.

La última Conferencia de las Partes (COP26) realizada en Glasgow, Escocia, se desarrolló en el mes de noviembre del año 2021, y sus conclusiones fueron basadas principalmente en el 6° Informe del IPCC publicado el 07 de agosto del 2021. Este Informe determina la necesidad de reducir a la mitad las emisiones al año 2030 y ser carbono neutral al 2050. Tanto este informe, como las conclusiones de la COP26, aumentan las ambiciones en la reducción de los GEI, haciendo necesario revisar las metas de nuestro sector. Debido a lo anterior, FICEM publica en noviembre del año 2021 su Ambición Climática, en la cual se reconoce la carbono neutralidad

del cemento y concreto al 2050 como la única trayectoria aceptada por la industria.

Los acuerdos de la COP26 fueron firmados por los casi 200 países que participaron y se espera que establezcan una agenda global y local más ambiciosa contra el cambio climático. Como ejemplo, se destaca la mención sin precedentes de que el carbón es la principal fuente del calentamiento global y existe un compromiso para reducir su uso. India y China, al final, impidieron que se firmara el término de eliminación gradual de su uso como fuente de energía.



A continuación, los cinco puntos clave de esta COP26.

5 puntos clave

- Se insta (en lugar de comprometer) a los países desarrollados a duplicar los fondos para los países en desarrollo en ayuda a su adaptación al cambio climático.
- Se solicita a los países a actualizar a más tardar el año entrante sus metas de reducción de carbono para 2030.
- Se establecerá un diálogo para examinar el tema de dinero a cambio del daño que el cambio climático ya ha causado
- Se hace un llamado para reducir gradualmente "el uso del carbón como fuente de energía y los subsidios a los combustibles fósiles ineficientes".
- Se hace énfasis en la necesidad de "aumentar significativamente el apoyo" a los países en desarrollo más allá de los US\$100.000 millones al año.

1.1.3

NDC, MDL, NAMAS Y LCTPI como instrumentos para la mitigación y adaptación al cambio climático

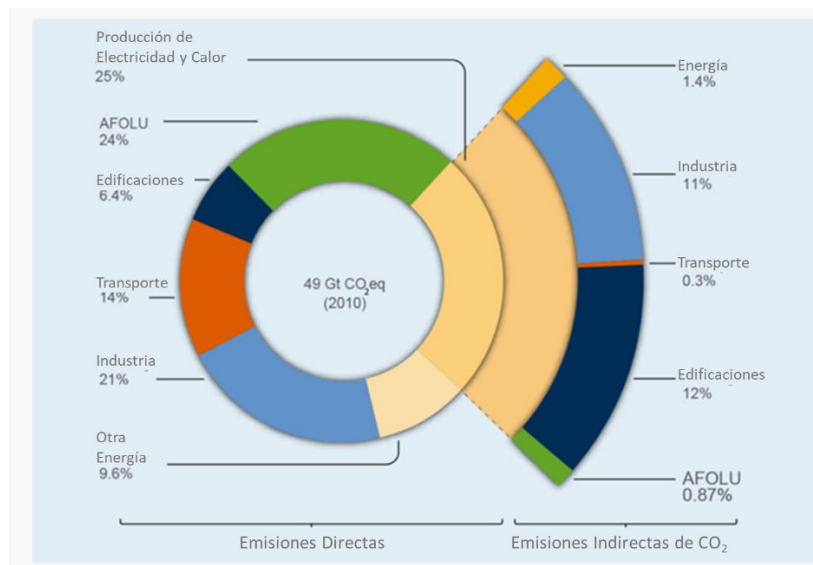
NDC "Contribuciones Nacionalmente Determinadas"

Las NDC son compromisos particulares por sector que los países presentan para reducir sus GEI al año 2030. Ellas son el núcleo del Acuerdo de París y de la consecución de esos objetivos a largo plazo. Las contribuciones determinadas a nivel nacional encarnan los esfuerzos de cada país para reducir las emisiones nacionales y adaptarse a los efectos del cambio climático. En algunos casos se reporta específicamente a la industria del cemento con contribuciones que van desde el 2% al 6% de los GEI del país. Esta información es parte del estudio desarrollado por Factor CO₂eq para FICEM en el año 2015, donde se pueden apreciar grandes diferencias en los aportes de los países de la región. Además, estos compromisos incluyen instrumentos de adaptación, financiación y transferencia tecnológica.

A la fecha, más de 170 países responsables de más del 95% de las emisiones han remitido a las Naciones Unidas sus compromisos de reducción. El efecto agregado de estas contribuciones, según la ONU, supondría un aumento de temperatura de 2,7°C al final del siglo, por lo que a pesar del desafío que suponen las contribuciones propuestas, la meta de no aumentar más de 2°C sería superada.

En la siguiente figura se pueden ver las emisiones (directas e indirectas) de GEI asociadas a los distintos sectores económicos.

Figura 6. Emisiones de GEI por sector económico a nivel mundial
Fuente. Climate Change Informe IPCC 2014



MDL "Mecanismos de Desarrollo Limpio"

Los MDL son metodologías para la reducción de emisiones de GEI que nacen del análisis de las mejores técnicas disponibles, y cuyo objetivo es ser replicados en distintos sectores. Ellos se crean a través del artículo doce del Protocolo de Kioto, a objeto que los países desarrollados cumplan con parte de sus compromisos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, y que los países en desarrollo se beneficien de las actividades de proyectos que generen certificados de carbono. Pueden participar en él, en forma voluntaria, países desarrollados y países en desarrollo que hayan ratificado dicho protocolo.

En el caso de los análisis de los proyectos latinoamericanos MDL para el sector cementero, y de las técnicas que se utilizan en éstos, se indican las principales metodologías existentes para la reducción de emisiones:

- Sustitución de combustibles fósiles por combustibles alternativos (biomasa, llantas, residuos sólidos urbanos, por ejemplo).
- Aumentar el uso de adiciones minerales en la producción de cemento (Reducción de factor clínker).
- Reducción de emisiones de CO₂ en la producción de clínker.

- Mejorar la eficiencia energética (instalación de nuevos hornos).
- Industrialización en la construcción (*downstream*), mediante el reemplazo de sistemas tradicionales de mampostería cerámica con morteros de asiento a base cemento, por paneles de concreto y terminaciones de, por ejemplo, revestimientos a base de yeso.

La gran mayoría de los proyectos registrados en Latinoamérica, como Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, México, Perú y Uruguay, utilizan principalmente la metodología de sustitución de combustibles fósiles por combustibles alternos. México es el único país que registra un proyecto MDL que utiliza la metodología referida al incremento en la producción de cementos adicionados, reduciendo el contenido de clínker.

En la precedente Figura 6, la producción de cemento forma parte del sector económico Industria, el cual es responsable del 21% de emisiones directas y del 11% de las emisiones indirectas de GEI a nivel mundial.

NAMA "Acciones nacionales de mitigación apropiadas"

Las NAMA son un conjunto de propuestas para alcanzar un desarrollo sostenible bajo en emisiones de GEI, de manera medible, reportable y verificable. Éstas deben ser factibles, es decir, coherentes con las particularidades del país donde se implementan, y puedan ser apoyadas con financiamiento, tecnología y formación de capacidades por parte de la comunidad internacional. Este concepto fue introducido en la Conferencia de las Partes (COP) en Bali en el 2007 como un medio para que los países en desarrollo indiquen las acciones de mitigación que estaban dispuestos a tomar como parte de su contribución a un esfuerzo global.

A su vez, las NAMA forman parte del componente de mitigación de las NDC y sus sistemas de MRV, habilitando a los países para reportar, de forma transparente, el progreso de sus acciones de implementación para lograr las metas de sus NDC.

En el caso de la realidad cementera latinoamericana, el estudio de Factor CO₂eq para FICEM señala dos NAMA, las cuales señalan el uso de herramientas de corto a mediano plazo en el desarrollo de planes de acción para la mitigación, estas son:

- **NAMA de República Dominicana** en cemento/sector residuos y coprocesamiento.
- **NAMA de Perú** en la industria de la construcción (eficiencia energética y buenas prácticas en la industria del cemento, ladrillo y acero).

En el caso de México, existe en etapa de elaboración una NAMA para el sector cemento relacionada “Sustitución de combustibles primarios por combustible alternativo de RSU”. A la fecha del cierre de esta Hoja de Ruta aún no se encuentra publicada.

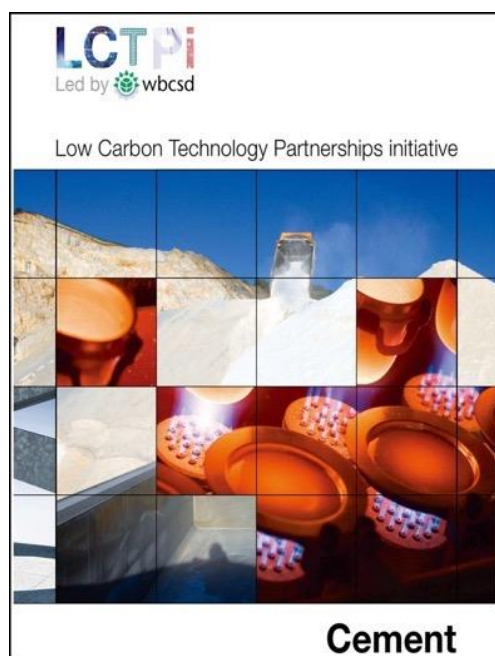
LCTPi “Low Carbon Technology Partnerships”

El LCTPi se enfocó, por un lado, en definir objetivos claros, y por otro en la implementación de los Roadmaps para el desarrollo a largo plazo de tecnologías “claves” para la reducción de emisiones. Actualmente, hay nueve áreas de enfoque en los que se trabaja para desarrollar soluciones de tecnología de bajas emisiones de carbono, entre las que se encuentran: uso de energías renovables, captura y almacenamiento de carbono, eficiencia energética en edificios, uso de combustible y transporte de bajo carbono, uso responsable de suelos, producción baja en CO₂eq en la industria química y de cemento.

Según la evaluación de impacto de PwC, publicada en noviembre de 2015, estos proyectos podrían, si se aplican plenamente, aportar el 65% de las reducciones de emisiones necesarias en el año 2030.

La iniciativa *Low Carbon Technology Partnerships*⁵, dirigida por el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD, por sus siglas en inglés), la Red de Soluciones para el Desarrollo Sostenible (SDSN por sus siglas en inglés) y la IEA (Agencia Internacional de Energía) buscan, a través de esta iniciativa, canalizar acciones para el desarrollo de tecnologías bajas en carbono.

LCTPi ha reunido a más de 150 empresas globales con 70 socios para trabajar colaborativamente. Ésta es una iniciativa del Programa de Soluciones para la COP 21. Después de la COP 21, con su lanzamiento en 2015, se llevaron a cabo reuniones en Durban, San Pablo, Nueva Delhi, Nueva York, Pekín y Londres, donde los planes de acción fueron compartidos y conformados con los aportes de las partes interesadas.



⁵ Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible, WBCSD, *Low Carbon Technology Partnerships initiative*, 2015

1.1.4 Race to Zero (UNFCCC)

Race To Zero impulsada desde las Naciones Unidas y liderada por la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), es una campaña global para reunir el liderazgo y el apoyo de empresas, ciudades, regiones e inversores para una recuperación saludable, resiliente y cero emisiones de carbono que prevenga amenazas futuras, cree empleos dignos y desbloquee un crecimiento inclusivo y sostenible.

Moviliza una coalición de iniciativas líderes de cero emisiones netas, que representan a 733 ciudades, 31 regiones, 3.067 empresas; 173 de los mayores inversores y 622 instituciones de educación superior. Estos actores de la "economía real" se unen a 120 países en la alianza más grande jamás comprometida a lograr cero emisiones netas de carbono para 2050 a más tardar. En conjunto, estos actores ahora cubren casi el 25% de las emisiones globales de CO₂ y más del 50% del PIB.

Liderado por los High Level Climate Champions para la Acción Climática, Race To Zero moviliza a actores fuera de los gobiernos nacionales para unirse a la Alianza de Ambición Climática, que fue lanzada en la Cumbre de Acción Climática 2019.

Estos "meta-criterios" se conocen como las Cuatro 'P's:

1. Promesa: Comprometerse a nivel de jefe de organización a alcanzar cero GEI (netos) lo antes posible, y a mediados de siglo a más tardar, en línea con los esfuerzos globales para limitar el calentamiento a 1.5 °C. Establecer un objetivo provisional para lograr en la próxima década, que refleje el máximo esfuerzo hacia o más allá de una parte justa de la reducción global del 50% en CO₂ para 2030 identificada en el Informe Especial del IPCC sobre el Calentamiento Global de 1.5 °C.

2. Plan: Dentro de los 12 meses posteriores a la adhesión, explique qué acciones se tomarán para lograr las

El objetivo es generar impulso en torno al cambio hacia una economía descarbonizada antes de la COP26, donde los gobiernos deben fortalecer sus contribuciones al Acuerdo de París. Esto enviará a los gobiernos una señal rotunda de que las empresas, las ciudades, las regiones y los inversores están unidos para cumplir con los objetivos de París y crear una economía más inclusiva y resiliente.

Ya en el año 2018, el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), advirtió que el calentamiento global no debe superar los 1,5°C por encima de las temperaturas preindustriales para evitar los impactos catastróficos del cambio climático. Para lograr esto, las emisiones GEI deben reducirse a la mitad para 2030 y caer a cero neto para 2050.

Se requiere que los compromisos presentados por las redes e iniciativas reconocidas en la campaña Race to Zero cumplan con un conjunto mínimo de criterios de procedimiento. Estos criterios de proceso representan la "Línea de Partida" para la carrera, por lo que cumplirlos no implica necesariamente que un actor esté en camino al cero neto, solo que haya comenzado el proceso.

promesas de contribuciones a corto y largo plazo, especialmente a corto y mediano plazo.

3. Proceder: Tomar medidas inmediatas para lograr el cero (neto), de acuerdo con la entrega de los objetivos intermedios especificados.

4. Publicar: Comprometerse a informar públicamente tanto el progreso hacia los objetivos intermedios y a largo plazo, como las acciones que se están tomando, al menos una vez al año. En la medida de lo posible, informe a través de plataformas que alimentan el Portal de Acción Climática Global de la CMNUCC.

1.2

Estrategia de la Industria del Cemento

1.2.1

Global Cement and Concrete Association “GCCA” e Iniciativa para la Sostenibilidad del Cemento “CSI”

La GCCA es una asociación global dedicada al fortalecimiento y desarrollo de la industria del cemento y el concreto en su contribución a la construcción sostenible. Con este fin, la GCCA promueve la construcción de edificios e infraestructuras duraderas, resistentes y ambientalmente sostenibles a nivel global.

Además del desarrollo sostenible y la urbanización, la mitigación y adaptación al cambio climático, y la innovación en toda la cadena de valor de la construcción, son también temáticas prioritarias en la agenda del GCCA.

La GCCA fue fundada a principios de 2018. A partir del 1 de enero de 2019, CSI fue asumida por la GCCA. Este cambio forma parte de una nueva asociación estratégica firmada entre el WBCSD y la GCCA, que tiene por objetivo facilitar el desarrollo sostenible en los sectores de cemento y concreto.

Durante el año 2021, GCCA publicó su *2050 Cement and Concrete Industry Roadmap for Net Zero Concrete*, incorporando en esta estrategia, la mitigación de CO₂ para la producción de cemento y concreto.



Asociación Mundial del Cemento y Concreto



Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible

Iniciativa para la Sostenibilidad del cemento “CSI

Durante sus casi 20 años de historia, Cement Sustainability Initiative (CSI), se centró en definir los contenidos para una gestión responsable en la producción de cemento a nivel global. Entre sus ejes de trabajo se destacó el cambio climático, el consumo de combustibles, la seguridad de los colaboradores, las emisiones en el aire, el reciclaje de concreto y la gestión de canteras.

Además de haber desarrollado el LCTPi de la industria, CSI impulsó el proyecto “*Getting the Numbers Right*”⁶,

más conocido como “GNR”, (traducido al español, “*Obteniendo los Datos Correctos*”) que, mediante una plataforma de datos, entrega información sobre las emisiones de CO₂eq y la eficiencia energética de la industria cementera mundial, facilitando la comprensión de su potencial de mejora.

Basado en la iniciativa CSI, el objetivo para la industria cementera será reducir las emisiones CO₂ eq entre el 20% y 25% al 2030 a través de las siguientes acciones

- 1** Aumentar la cobertura de la base de datos de CO₂eq y uso de energía del sector, centrándose específicamente en China que representa alrededor del 60% de la producción mundial de cemento.
- 2** Aumentar la eficiencia energética del proceso de fabricación del cemento.
- 3** Ampliar la recopilación, disponibilidad y el uso de combustibles y materias primas alternativas de buena calidad, incluidos los residuos de otros sectores en un concepto de economía circular.
- 4** Reducir aún más el contenido de clínker en los cementos para minimizar la parte del proceso intensivo en energía.
- 5** Desarrollar cementos nuevos con menores requerimientos de energía y calcinación.
- 6** Implementar el análisis de ciclo de vida completo para edificios y proyectos de infraestructura, que permita identificar y reducir las emisiones GEI mediante soluciones basadas en el uso de cemento y productos de concreto.
- 7** Evaluar iniciativas intersectoriales; en particular, la oportunidad de capturar, usar y almacenar carbono a gran escala.

⁶ The Cement Sustainability Initiative, CSI, Cement Industry Energy and CO₂ Performance “*Getting the Numbers Right*”, 2009

1.2.2

Obteniendo los datos correctos GNR (Getting the Numbers Right)

GNR es una base de datos, sobre el desempeño en emisiones de CO₂ y consumo de energía en la industria global del cemento (849 instalaciones individuales que representan el 19% de la producción mundial de cemento). Todas las compañías participantes y grupos de interés tienen acceso a reportes estandarizados; también es posible realizar y obtener solicitudes adicionales sobre temas específicos, siempre dentro de estrictos lineamientos de confidencialidad.

Los objetivos de GNR son:

- Ofrecer una base de datos confiable y verificable.
- Reconocer las áreas de oportunidad y su contribución a las metas de reducción de CO₂ eq.
- Fortalecer la reputación de la industria cementera ante las autoridades.

La base de datos GNR suministra información uniforme, exacta y verificada para que la industria comprenda su desempeño actual, como también potencial. Igualmente, ofrece información vigente y relevante para procesos de análisis y toma de decisiones para los diseñadores de políticas.

Además, cumple con la normativa legal y es administrada y auditada por un proveedor independiente. Los participantes individuales únicamente tienen acceso a reportes elaborados a partir de los datos de su propia compañía, o de datos agregados del sector. La

información confidencial de empresas o plantas no es divulgada, no puede ser consultada y está protegida por medidas de seguridad técnicas y contractuales.

En origen, las entidades-miembros de GNR fueron 24 compañías cementeras que integran, conjuntamente, una tercera parte de la producción mundial de cemento. Desde el año 2011, FICEM es parte de esta iniciativa, con lo que se ha logrado incluir las empresas que operan en Latinoamérica. Desde el año 2018, GCCA toma este proyecto, GNR, como propio.

En la Tabla 1 se muestra el nivel de cobertura por región, destacando Europa y Norteamérica con el 90% y 86%, respectivamente. En el caso de Latinoamérica, se encuentra muy por sobre el promedio global, con una cobertura del 74%, pero con una brecha importante que cubrir para aumentar la representatividad del GNR y así poder proyectar los reales potenciales de reducción de CO₂eq de la región.

A la base de datos del año 2012, se aplicó la versión 3 del CSI "Protocolo de CO₂ y energía: Norma de Contabilidad e Informe de CO₂ para la Industria del Cemento" (publicada en el año 2011), cuyos nuevos índices incluyen datos sobre el uso de electricidad en la fabricación de clínker y en la generación de electricidad usando calor residual.

Tabla 1. Cobertura del Proyecto GNR por región año 2019
 Fuente. GNR Project Reporting CO₂, 2019

COBERTURA DEL PROYECTO GNR POR REGION				
Región	Número Plantas	Producción Cemento Reportada en GNR (millones de toneladas)	Total Producción Cemento Región (millones de toneladas)	Cobertura (%)
Mundial	878	885	4117	22
Africa	77	70	224	31
Asia (sin China) + Oceanía	60	101	374	27
Medio Oriente	30	28	206	14
Europa	281	175	194	90
Norteamérica	98	86	100	86
Latinoamérica	160	128	174	74
Centroamérica	53	45	61	74
Sudamérica ex. Brasil	51	40	57	69

1.2.3 LCTPi Cemento

La necesidad que la producción de cemento cuente con una estrategia de acción climática propia radica en que su nivel de emisiones es relevante, alcanzando cerca del 7% de las emisiones totales de CO₂. La Figura 7 muestra las emisiones de la industria del cemento en

comparación con las emisiones de los combustibles fósiles. La Figura 8 muestra una comparación de emisiones conjunta de combustibles fósiles y cemento, con otras fuentes de emisiones antropogénicas.

Figura 7. Emisiones anuales de CO₂ antropógeno y su distribución

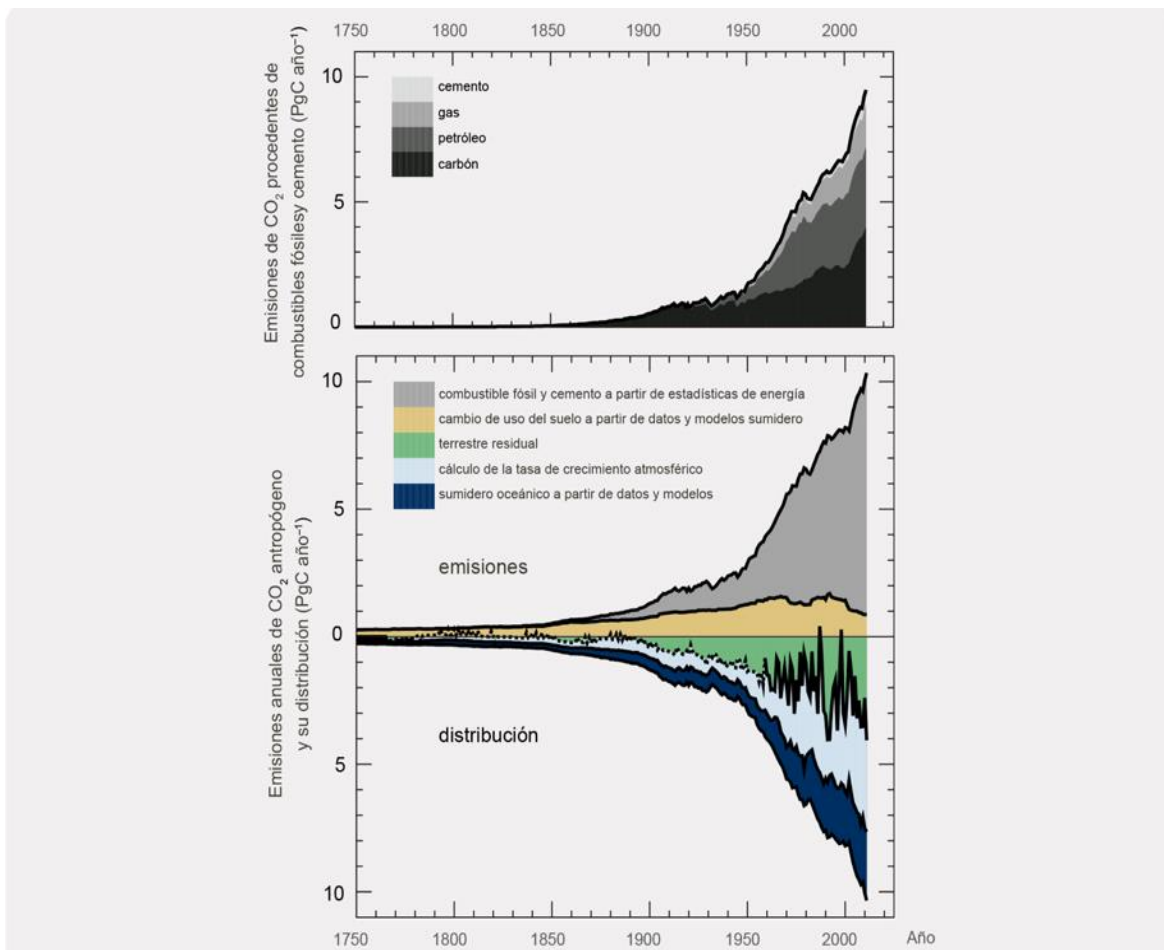
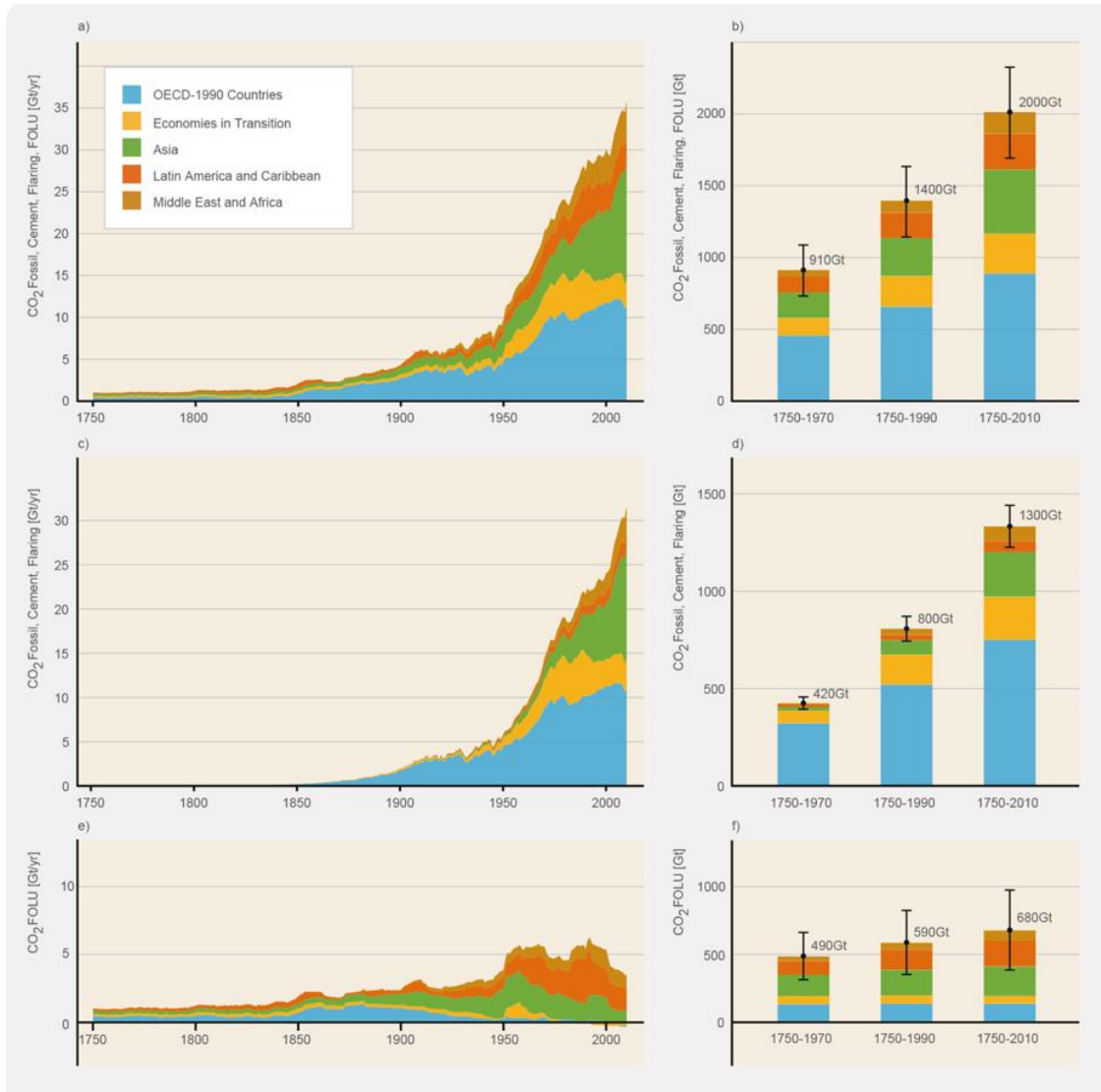


Figura 8. Emisiones antropogénicas históricas de CO₂



1.3

Technology Roadmap

CSI - 2018

1.3.1

Roadmap: “Transición a una industria del cemento baja en carbono”

Durante el año 2018, CSI publicó el *“Technology Roadmap de CSI: Transición a una Industria del cemento baja en carbono”*⁷, siendo éste una actualización al Roadmap publicado el año 2009.

En este documento se señala que *“el aumento de la población mundial y los patrones de urbanización, junto a las necesidades de desarrollo de infraestructura, incrementan la demanda de cemento y concreto”*. En este sentido, se estima que la producción mundial de cemento crecerá, con respecto al nivel actual, entre un 12% y un 23% para el año 2050. Algunas regiones, tales como la República Popular China y el Medio Oriente, tienen un exceso de capacidad de producción de cemento, con niveles de producción de cemento *per cápita* muy por encima del promedio mundial. Otras regiones, como India y África, aumentarán su capacidad de producción de cemento doméstico para satisfacer las necesidades asociadas al desarrollo de infraestructura.

De acuerdo con el *Escenario Tecnológico de Referencia (RTS)* de la IEA, es esperable que las emisiones directas de CO₂ de la industria del cemento aumenten un 4% a nivel mundial para el año 2050, a pesar del aumento del 12% en la producción mundial de cemento en el mismo periodo.

Considerando el aumento esperado en la producción mundial de cemento, es importante tener presente que una transición sostenible al Escenario 2DS (2°C) implica una reducción significativa (24%) de las emisiones directas mundiales de CO₂ en la fabricación de cemento para el año 2050, en comparación con los niveles actuales. Esto significa reducciones acumuladas de emisiones de 7,7 GtCO₂ en comparación con el RTS para el año 2050, alcanzando 1,7 GtCO₂, lo que equivale al 90% del total mundial actual de las emisiones industriales directas de CO₂.

Implementar esta visión requiere un desarrollo progresivo y el desarrollo de ejes de reducción de emisiones de CO₂, políticas de apoyo, colaboración público-privada, mecanismos de financiamiento y aceptación social.

⁷ Iniciativa para la Sustentabilidad del Cemento, CSI, Technology Roadmap de CSI: Transición a una Industria del cemento baja en carbono, 2018.

Mejorar la eficiencia energética, cambiar a combustibles alternativos (combustibles carbono neto cero), reducir la relación de clínker a cemento e integrar la captura de carbono en la producción de cemento, son los principales ejes de mitigación de carbono que apoyan la sostenibilidad de la transición del sector cementero.

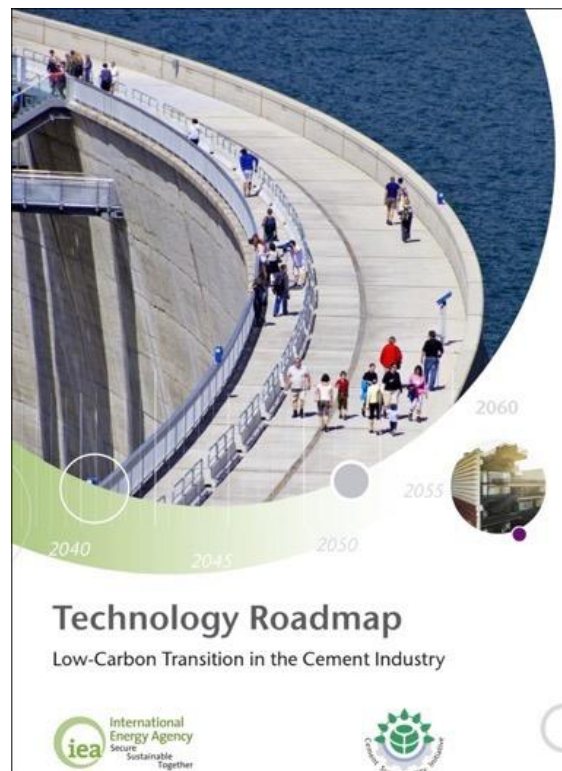
La integración de tecnologías emergentes e innovadoras, como la captura de carbono y la reducción del contenido de clínker en el cemento, son consideradas para entregar las mayores reducciones acumuladas de emisiones de CO₂ en el 2DS, en comparación con el RTS, para el año 2050, con un 48% y un 37% de contribución respectivamente. El resto de la reducción se produce al cambiar a combustibles con un bajo contenido de carbono y, en menor medida, a través de una mayor eficiencia energética.

Cabe destacar que los potenciales de reducción del *Roadmap* 2009, actualizado el año 2018, se han basado

en los *Papers* desarrollados por la ECRA para CSI. Dichos *papers* describen las tecnologías existentes y potenciales, y cómo pueden ayudar a la industria a reducir a la mitad las emisiones mundiales de CO₂ en todas las áreas de los negocios y la sociedad.

El potencial de reducción de CO₂ en la producción de cemento se basa en cuatro ejes (los mismos que se han manejado hasta la fecha), pero además se incluye un nuevo punto para ser revisado: las Materias Cimenticias Suplementarias.

Cabe destacar que este *Roadmap* sólo abarca el proceso de fabricación de cemento, a lo que, por recomendación de CSI y IEA, se reconoce que el potencial de reducción se deberá ampliar a todo el ciclo de vida del cemento en un futuro próximo, incluyendo al concreto y a la construcción, lo cual es un nuevo e importante desafío para la industria.



1.3.2

Ejes de Reducción

En el *Roadmap CSI* se analizan los ejes de reducción de emisión de CO₂, los cuales se basan en las tecnologías investigadas por la ECRA, documento publicado en el año 2009 y actualizado el 2017. Los ejes tienen por

objetivo apoyar las estrategias de las distintas Hojas de Ruta del cemento para el logro de su transición hacia una economía baja en carbono. Estos son:



EJE 1

Eficiencia energética y térmica

Desafíos a la implementación: los **costos de capital** pueden ser significativos. Una disminución considerable en el consumo específico de energía solo se logrará mediante modificaciones importantes, que, a menudo, conllevan altos costos de inversión y pueden ser financieramente inviables.

La **mejora en el sistema de operación y la capacitación del personal involucrado** es necesaria para las instalaciones modernizadas. La eficiencia energética se logra mediante una operación adecuada, así como el uso de equipos de proceso apropiados. Las tecnologías avanzadas en eficiencia energética requieren nuevas prácticas de operación y mantenimiento.

Un **mercado de tamaño adecuado** es necesario para operar las instalaciones a plena capacidad. Los equipos de proceso operando en su máximo nivel de acuerdo con el diseño, con cargas continuas de trabajo, ofrecen un rendimiento energético óptimo.

Las **condiciones locales**, como las características de la materia prima, la composición del clínker y el tamaño típico de la planta, así como los requisitos de finura del cemento, afectan el requerimiento de energía por tonelada de cemento.

Otros **ejes de reducción de emisiones de CO₂** pueden ser correlacionados con la eficiencia energética. Por ejemplo, un mayor uso de combustibles alternativos generalmente aumenta el consumo específico de energía debido a un mayor requerimiento de aire y contenido de humedad.

Las tecnologías actuales son lo suficientemente maduras como para permitir la recuperación del exceso de calor y su utilización en mejoras de la eficiencia energética. Por lo tanto, las emisiones totales de CO₂ más bajas a través de un mayor uso de combustibles alternativos superan la desventaja de un mayor consumo de energía específico.

Los **requerimientos ambientales más exigentes** pueden conducir, en algunos casos, a un aumento del consumo de energía; por ejemplo, límites más rigurosos en las emisiones de polvo requieren más potencia para la separación del polvo en las emisiones gaseosas, independientemente de la tecnología aplicada.

Necesidades y metas de investigación y desarrollo: existe una gama de tecnologías de molienda en fase de investigación y desarrollo (I+D). Se debe investigar su aplicabilidad e impacto en la industria del cemento. Un ejemplo son los sistemas de molienda libres de contacto (por ejemplo, tecnología vortex), que podrían presentar claras ventajas, dada la durabilidad limitada de los elementos de desgaste en los sistemas actuales de molienda. La ECRA ha establecido un proyecto de investigación dedicado a la molienda eficiente en la industria del cemento.

El proyecto es precompetitivo e involucra a las partes interesadas intersectoriales, incluidos los proveedores de equipos (ECRA y CSI, 2017).

Una mayor optimización al adoptar un enfoque holístico, en áreas tales como la distribución del tamaño de partículas y los sistemas auxiliares de molienda, podría generar beneficios de eficiencia energética.



EJE 2

Combustibles alternativos

Desafíos a la implementación: aunque los hornos de cemento podrían modificar su matriz térmica a un 100% de combustibles alternativos, existen algunas limitaciones prácticas que impiden que ello ocurra. Las propiedades físicas y químicas de la mayoría de los combustibles alternativos difieren significativamente de los combustibles convencionales; mientras algunos de ellos, pueden ser utilizados fácilmente por la industria del cemento, muchos otros pueden causar problemas técnicos, por ejemplo, la presencia de metales (mercurio, cadmio y talio) deben manejarse con cuidado, y es necesaria la eliminación adecuada del polvo del sistema en el horno de cemento. Esto significa que el pretratamiento de residuos para la obtención de un combustible alternativo es, a menudo, necesario para garantizar una composición uniforme y una combustión óptima, y minimizar el contenido de sustancias potencialmente problemáticas.

Existen otras barreras para aumentar el uso de combustibles alternativos en la industria del cemento. La ausencia o inadecuada legislación, como la falta de control sobre la gestión de residuos afecta significativamente la disponibilidad. La mayor sustitución de combustibles solo tiene lugar si la legislación de residuos locales o regionales promueve la recuperación de energía en hornos de cemento en lugar de vertederos (u otros métodos de tratamiento térmico menos eficientes) y, por otro lado, si permite la recolección y tratamiento de residuos para la obtención de un combustible alternativo.

Las redes locales de recolección de residuos deben ser adecuadas.

El nivel de **aceptación social** de los combustibles de desecho de coprocesamiento en las plantas de cemento puede afectar notablemente el consumo local. A menudo, las personas se preocupan por las emisiones nocivas del coprocesamiento, aunque los niveles de emisiones de las plantas de cemento bien administradas que usan combustibles alternativos no representan un problema específico.

Burocracia compleja: en muchos casos, obtener un permiso para el uso de combustibles alternativos implica largos procedimientos y varios requerimientos administrativos diferentes.

Necesidades y objetivos de I+D: para usar combustibles alternativos de forma segura y limpia, los materiales adecuados se deben identificar y clasificar, así como los procesos de recolección y tratamiento deben cumplir con los estándares. El conocimiento adquirido durante I+D del procesamiento y uso de tales combustibles debe ser compartido; esto permitiría contar con una experiencia extendida en el uso de combustibles alternativos a volúmenes altos y estables. Es importante identificar las condiciones adecuadas para asegurar una combustión completa, así como desarrollar estrategias para facilitar el uso de combustibles alternativos en los hornos de cemento (por ejemplo, la evaluación automática del combustible alternativo y el ajuste de las condiciones de funcionamiento del horno).



EJE 3

Sustitución de Clíinker

Desafíos a la implementación: la **disponibilidad regional** de adiciones minerales sigue siendo crítica en términos de cantidad/calidad y su impacto en los costos. Se espera que la disponibilidad de escoria granulada de altos hornos siderúrgicos y cenizas volantes disminuya.

La **práctica actual, la conciencia del mercado y la aceptación** deberían mejorarse porque, en algunas regiones, los consumidores y contratistas son reacios a seleccionar cementos con adiciones en lugar de cementos “puros” (sin adiciones minerales). Esto puede atribuirse a la falta de conciencia de los consumidores y a la falta de capacitación/educación de los contratistas.

Los **estándares de construcción** varían regionalmente en términos del tipo de cementos con adiciones que se permiten para la construcción.

Las **distancias entre las fuentes** de adiciones minerales y las plantas de cemento, y los requerimientos logísticos, pueden ser barreras para su mayor uso porque afectan la viabilidad económica.

Necesidades y objetivos de I+D: la disponibilidad de adiciones minerales debe cuantificarse globalmente a partir de evaluaciones *bottom-up* locales.

La necesidad de evaluar continuamente sus propiedades a escala global es imperativa, teniendo en

cuenta la naturaleza variable de la mayoría de las adiciones minerales que se emplean para la fabricación de cemento. Se debe dar prioridad a la determinación de su huella ambiental (incluido el CO₂), además de su efecto sobre la resistencia y durabilidad del cemento y el concreto. Estos estudios deben tener una visión holística al considerar las necesidades específicas relacionadas con la construcción.

Es imperativo que los esfuerzos de investigación se centren en identificar y desarrollar nuevas adiciones minerales. Las arcillas calcinadas son un caso con gran potencial, y se espera que investigaciones en curso brinden más información sobre el desempeño y durabilidad de los cementos que utilizan este tipo de adición.

En el mismo contexto, utilizar escoria de horno de arco eléctrico, las cenizas volantes, los residuos de bauxita y los relaves de operaciones mineras, permiten obtener beneficios similares al valorizar otros materiales, como el mejoramiento de las propiedades hidráulicas o puzolánicas y manejar la posible presencia de metales pesados. Las acciones de I+D son cruciales para abordar los desafíos del uso de estos materiales alternativos.



EJE 4

Tecnologías Emergentes e Innovadoras: EHR; Energías Renovables; y Captura, uso y almacenamiento de CO₂ (CCS y CCU).

EHR (Energy Heat Recovery) para la generación de energía: la viabilidad económica sería el factor decisivo para un desarrollo más amplio en la industria del cemento, dada la adaptabilidad de las tecnologías de EHR a diferentes condiciones y ubicación de la planta (por ejemplo, disponibilidad de agua), y considerando la ausencia de requisitos legales de instalación obligatoria.

Por lo general, no es económicamente factible sin un apoyo financiero adicional u otros beneficios económicos indirectos (por ejemplo, costos evitados por paradas inesperadas del horno debido a un suministro de electricidad poco confiable o por valorizar la provisión de flexibilidad a la red eléctrica).

Generación de energía renovable: la disponibilidad de fuentes renovables locales (por ejemplo, radiación solar o velocidad y condiciones del viento) es el principal factor que influye en el desarrollo de tecnologías de generación de energía renovable en plantas de cemento o molienda. En general, las unidades de molienda son más adecuadas para usar energía renovable, debido a la flexibilidad en las horas de operación durante el día.

Los costos de la electricidad (por ejemplo, las condiciones de intercambio de electricidad) y los contextos de las políticas (por ejemplo, la disponibilidad de incentivos o políticas de permisos asequibles) pueden también influir en la adopción de energía eléctrica basada en energías renovables en la fabricación de cemento. Esto podría ser a través de la autogeneración o mediante acuerdos certificados de compra de energía renovables.

Captura de CO₂ y Almacenamiento (CCS): las políticas efectivas que proporcionan un incentivo económico para reducir la huella de carbono en la producción de cemento, y respaldan la cooperación público-privada intersectorial, la identificación de ubicaciones y diseños óptimos para las infraestructuras de transporte y almacenamiento de CO₂, así como también la integración técnica de las tecnologías de captura de carbono demostradas en escala industrial y comercial, son el principal desafío para el desarrollo de CCS en el mercado.

Altos costos estimados para la captura de CO₂ en comparación con el costo específico de la producción de cemento. No obstante ello, se espera que este costo disminuya en el futuro debido al progreso técnico y científico. La conciencia pública de CCS aún es baja, y el público ha formado opiniones poco firmes sobre CCS y su papel para mitigar el cambio climático, excepto en algunos países europeos.

El transporte es el vínculo crucial entre las fuentes de emisiones de CO₂ y los sitios de almacenamiento. En la mayoría de los países, no se presta suficiente atención a las necesidades de tecnología e infraestructura. El transporte por tuberías presenta diferentes desafíos regulatorios, de acceso y de desarrollo en diferentes regiones. La magnitud, complejidad y distribución geográfica de los canales integrados de transporte de CCS requieren evaluaciones específicas de cada región. También se necesita más investigación para comprender

mejor la disponibilidad de almacenamiento a nivel mundial. Los hornos de cemento generalmente se encuentran cerca de grandes canteras de piedra caliza, que pueden no estar cerca de los sitios adecuados de almacenamiento de CO₂. También es probable que los *clústeres* de CCS se vean influenciados por su proximidad a fuentes de CO₂ mucho más grandes, como las centrales eléctricas de carbón.

Captura de CO₂ y su utilización (CCU): los obstáculos comerciales impiden que las vías de utilización nuevas y emergentes de CO₂ avancen rápidamente, y alcancen madurez de laboratorio a mercado, más allá de las limitaciones técnicas. Esto se debe en parte a los bajos costos de los combustibles alternativos, y a menudo, a la dependencia de una gran cantidad de electricidad basada en fuentes renovables. Lograr la generación de hidrógeno con cero emisiones de carbono garantizaría la reducción de las emisiones de CO₂ en esos casos.

La disponibilidad de tierra y agua, y el tamaño de los mercados aguas abajo (*downstream*) son otros factores limitantes para las aplicaciones de CCU. Se debe utilizar un enfoque de evaluación del ciclo de vida para medir la contribución específica de cada ruta de CCU, para permitir la aceptación medioambiental.

Necesidades y objetivos de I+D: la investigación continua en tecnologías de captura de carbono podría conducir a sistemas más optimizados, con costos de inversión e intensidades energéticas reducidas. Los desafíos técnicos y de innovación para la utilización de CO₂ se centran en aumentar la eficiencia de los procesos químicos y la innovación para nuevas vías de utilización de CO₂. Una intensa investigación, mejores catalizadores y diseños de procesos, traerán mayores niveles de eficiencia, menores costos y menor consumo de material o producción de desechos.

Las nuevas e innovadoras formas de usar CO₂ y el uso de CO₂ no purificado pueden hacer posible más aplicaciones. Los desafíos para la mineralización son la reducción de los costos de procesamiento y la ampliación de la gama de materiales (de desecho) que pueden usarse como insumo (*Sandalow et al., 2017*). La investigación se debe llevar a cabo a través de proyectos colaborativos en diferentes sectores industriales, emisores, transformadores (por ejemplo, industria química) y usuarios finales.



EJE 5

Materiales cementicios suplementarios

Los materiales cementicios suplementarios al clínker en el cemento, pueden ofrecer oportunidades para reducir las emisiones de carbono. Sin embargo, actualmente no existe un análisis robusto, disponible públicamente, del ciclo de vida de cualquiera de los materiales cementicios suplementarios en análisis, o una cuantificación comparativa asociada a los costos de producción.

Los materiales cementicios suplementarios que, en teoría, arrojan un mayor ahorro de CO₂, a menudo están relacionados con mayores costos de producción, restricciones de disponibilidad y limitaciones de la aplicación en el mercado, o bien, se encuentran en etapas tempranas de desarrollo. Estas circunstancias hacen que sea prematuro realizar una evaluación técnico-económica sobre las tecnologías y las vías de menor costo para la producción de cemento.

En muchas regiones, la ausencia de incentivos para reducir las emisiones de carbono en la fabricación de

cemento afecta negativamente el uso de materiales cementicios suplementarios, cuyo desarrollo en el mercado, cuando están disponibles, está altamente determinado por los costos de producción. En la actualidad, el costo de las materias primas es un factor clave.

La investigación sobre la optimización del proceso de materiales cementicios suplementarios, está en la fase de demostración, y su avance podría crear posibilidades para su desarrollo comercial, produciendo mejoras medioambientales en el rendimiento actual de la industria.

Las asociaciones público-privadas pueden ser un mecanismo para aprovechar los recursos de financiación que permitan respaldar las pruebas demostrativas y las primeras investigaciones.



El impacto de los cinco ejes señalados en la reducción de las emisiones de CO₂ no siempre es acumulativo, ya que pueden afectar de forma individual el potencial de reducción de emisiones de otras opciones.

Por ejemplo, el uso de combustibles alternativos generalmente requiere mayor energía térmica específica y electricidad, debido al mayor contenido de humedad en los combustibles fósiles. Esto significa que el funcionamiento del horno tendrá mayores niveles de aire en comparación con los combustibles fósiles convencionales y el pretratamiento de combustibles alternativos.

La integración del equipo de captura de carbono normalmente aumenta la intensidad energética de la fabricación de cemento, ya que se necesita energía adicional para operar los procesos de separación y manipulación de CO₂.

1.3.3

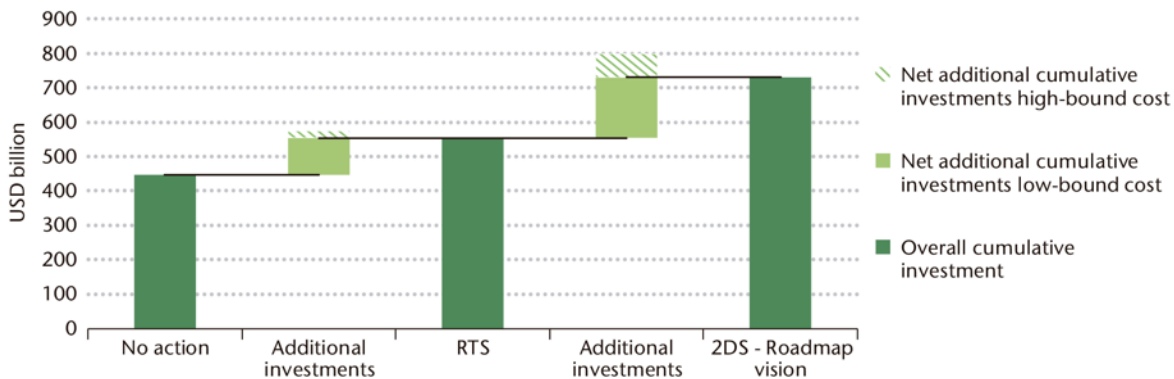
Requisitos de inversión y apoyo financiero

Los costos acumulativos netos adicionales de inversión para implementar esta visión del *Roadmap CSI*, en comparación con el RTS (Figura 9), se estiman en el orden de entre USD 176 mil millones y USD 244 mil millones. Estas estimaciones se basan en un examen de sensibilidad de límites bajo y alto de los costos de inversión de tecnología específica para hacer frente a la inherente incertidumbre de evaluar tecnologías que aún no han alcanzado la madurez comercial. La discusión de inversión se centra en el caso de baja variabilidad, como el caso de referencia de este *Roadmap*.

El RTS ya integra cambios considerables en términos de ahorro de energía y emisiones de CO₂ en la industria del cemento, en respuesta a políticas y promesas anunciadas e implementadas. Por ejemplo, la intensidad de la energía térmica del clínker se reduce en un 8% y la intensidad de electricidad del cemento es reducida en un 9% para el año 2050, por debajo de los niveles actuales

en el RTS global. La contribución de los combustibles fósiles en el mix global de fuentes de energía térmica para la producción de clínker disminuiría en un 12% en el mismo periodo. El contenido de clínker en los cementos se mantiene estable en el tiempo, a pesar de la caída en la producción de cemento chino a nivel mundial. El RTS considera que las pruebas piloto y estudios de factibilidad de tecnologías de integración de captura de carbono en la industria del cemento se traducirían en un modesto desarrollo a largo plazo, con emisiones capturadas de carbono que representan el 3% del total generado de emisiones de CO₂ en el sector cemento hacia el año 2050. Por lo tanto, las inversiones acumuladas y adicionales que se estiman necesarias en el marco de esta visión aumentarían entre USD 283 mil millones y USD 371 mil millones si la huella actual de las emisiones de energía y carbono de la fabricación de cemento se mantiene sin cambios a nivel mundial.

Figura 9. Necesidades acumulativas de inversión por escenario para 2050
Fuente: Roadmap CSI, 2018



Note: Net cumulative additional investment numbers are assessed considering low- and high-bound sensitivity ranges for specific investment costs. Overall cumulative investments displayed in the above graph refer to the low-bound cost range.

Entre USD 107 mil millones a USD 127 mil millones se estiman como inversiones adicionales acumulativas para realizar el RTS globalmente, que necesitaría aumentar entre USD 176 mil millones y USD 244 mil millones para llegar a implementar la visión de la hoja de ruta (2DS).

1.3.4

Principales acciones del Roadmap CSI 2018

El *Roadmap CSI 2018* ha determinado las principales acciones a realizarse hasta el año 2050, agrupadas por eje de reducción, con responsabilidades en la Industria, en los gobiernos, o en forma compartida entre ambos, según sea el caso, en su desarrollo y concreción. Estas acciones se indican a continuación:

Eficiencia energética

- Políticas equitativas en los subsidios al precio de la energía.
- Eliminación gradual de los hornos largos e ineficientes, y de los procesos de producción de vía húmeda.
- Ajuste de objetivos en los programas de mejora de eficiencia en energía a nivel de planta o sector.

Cambio a combustibles y materias primas alternativas

- Desarrollo de la economía circular.
- Fortalecimiento de regulaciones de gestión de residuos y dar prioridad al coprocesamiento de residuos en lugar de su incineración o disposición en rellenos sanitarios.
- Intercambio de las mejores prácticas internacionales en trazabilidad y monitoreo de impactos.
- Capacitación de autoridades en temáticas relativas a otorgamiento de permisos, control y supervisión.
- Ampliar la conciencia pública de los beneficios de la optimización en la gestión de residuos.

Factor Clínker/Cemento

- Desarrollar normas técnicas y reglamentos de construcción que permitan un uso más generalizado de cementos con adiciones, que además garanticen la fiabilidad y durabilidad del producto en la aplicación final.
- Fomentar el uso de cementos con adiciones en las políticas de abastecimiento y contratación pública.
- Garantizar la trazabilidad / etiquetado / origen responsable de los materiales de construcción.
- Esfuerzos de I+D en materiales que puedan ser, potencialmente, adiciones minerales y que actualmente no se utilicen debido a restricciones de calidad.
- Promover la capacitación internacional con organismos nacionales de normalización e institutos de acreditación.

Tecnologías emergentes e innovadoras

- Mitigar los riesgos a través de mecanismos de inversión que aprovechen el financiamiento privado para tecnologías innovadoras con emisiones bajas de carbono, y a través de la promoción de asociaciones público-privadas.
- Alcanzar la demostración a escala comercial de la tecnología de oxidación para la captura de carbono en la producción de clínker, y obtener experiencia en el funcionamiento a gran escala de tecnologías de postcombustión.
- Coordinar la identificación y demostración de las redes de transporte de CO₂ a nivel regional, nacional e internacional, para optimizar el desarrollo de la infraestructura.
- Cooperación internacional para armonizar los enfoques relativos a la selección segura de los sitios de operación, mantenimiento, monitoreo y verificación del almacenamiento permanente de CO₂.
- Desarrollar marcos regulatorios para CCS, coordinados internacionalmente, además de comunicar y capacitar al público y las partes interesadas “clave” sobre almacenamiento de carbono para alcanzar su aceptación social.
- Compensar las inversiones en fuentes de energía “limpias” y lograr mayor flexibilidad en las redes energéticas locales a través de, por ejemplo, incentivos fiscales para el uso de tecnologías que permitan la recuperación del calor en exceso.

Materiales Cementicios Suplementarios

- Apoyar la investigación, ensayos y prueba piloto de cementos a base de aglomerantes alternativos, y desarrollar normas técnicas que faciliten su uso por parte del mercado.
- Continuar con el desarrollo comercial de materiales cementicios suplementarios.

Promover la transición a un bajo nivel de carbono en el ámbito de la construcción

- Avanzar hacia mecanismos efectivos de fijación de precios internacionales estables para el carbono, incluyendo paquetes de estímulo financiero y medidas complementarias para compensar las presiones asimétricas de precios en los diferentes mercados.
- Fortalecer y actualizar las normas de construcción con el objetivo de lograr el objetivo de neutralidad de carbono en el ámbito de la construcción en el ciclo de vida completo.
- Mejorar el desarrollo y la implementación de soluciones bajas en carbono en el sector de la construcción, que consideren un enfoque de ciclo de vida, haciéndolos parte de las políticas de contratación pública.
- Transferencia tecnológica hacia arquitectos/ingenieros en la aplicabilidad de las mezclas de concreto de bajo carbono y cementos con alto contenido de adiciones, fomentando oportunidades de diseño ecológico en edificios e infraestructura en general.

En la siguiente tabla se señalan las proyecciones al año 2030, 2040 y 2050 de los principales indicadores relacionados a la industria global del cemento: producción de cemento y clínker, eficiencia energética, coprocesamiento, factor clínker y la intensidad de emisiones de CO₂ asociada.

Tabla 2. Principales indicadores y trayectorias del Roadmap CSI 2018

Fuente. Elaboración propia a partir del Roadmap CSI 2018

Indicadores de la Industria Global del Cemento -Roadmap CSI 2018 -	Visión Roadmap CSI 2018 Caso de baja Variabilidad		
	2030	2040	2050
Producción Cemento (Mt/año)	4250	4429	4682
Factor Clínter a Cemento	0,64	0,63	0,60
Intensidad de Energía Térmica del Clínter (Gj/t clínter)	3,3	3,2	3,1
Intensidad de Electricidad del Cemento (GkWh/t cement)	87	83	79
Uso de Combustibles Alternativos (Porcentaje de consumo de energía térmica)	17,5	25,1	30,0
Intensidad Directa de CO ₂ en el Proceso del cemento (tCO ₂ /t cement)	0,33	0,30	0,24
Intensidad de Energía Directa de CO ₂ en el Proceso de cemento (tCO ₂ /t cement)	0,19	0,16	0,13
Total Intensidad Directa de CO₂ en el cemento (tCO₂/t cement)	0,52	0,46	0,37

1.4

GCCA Roadmap 2021

Plan de trabajo hacia una industria del cemento y concreto neutra en carbono al año 2050 de la Asociación Mundial de Productores de Cemento y Concreto.

Directrices de sostenibilidad – Transición del CSI

La Asociación Global de Cemento y Concreto (GCCA) anunció la formación de una asociación estratégica con el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD) para facilitar el desarrollo sostenible de los sectores del cemento y el concreto y sus cadenas de valor. La nueva asociación también creó sinergias entre sus programas de trabajo para beneficiar tanto a la GCCA y WBCSD, como a sus respectivas compañías miembros. Como parte del nuevo acuerdo, el trabajo realizado por la Iniciativa de Sostenibilidad del Cemento (CSI) se transfirió del WBCSD al GCCA el 1 de enero de 2019, con actividades gestionadas desde la oficina de la GCCA en Londres.

Las Directrices de Sostenibilidad de CSI han sido reemplazadas por Directrices de Sostenibilidad de GCCA, por lo que el ámbito de trabajo sigue siendo aplicable en

este sentido, cuyo nuevo objetivo es la carbono neutralidad hacia el año 2050.

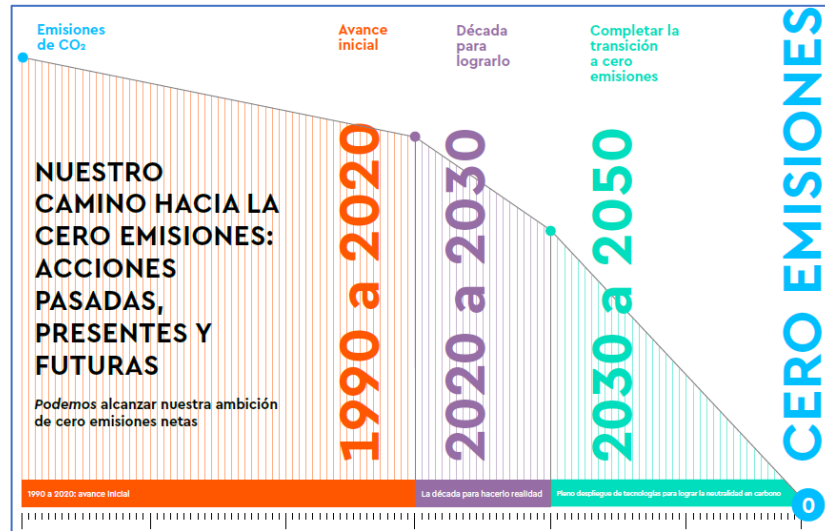
En este "futuro concreto", se expone el punto de vista positivo de cómo la industria del cemento y el concreto desempeñará un papel importante en la construcción del mundo sostenible del futuro. En los últimos cien años, el concreto ha revolucionado el área de la construcción en todo el mundo. Es el material de construcción esencial que le ha dado forma a nuestro mundo moderno. A medida que se afronta los importantes desafíos para las generaciones futuras, se está realizando los esfuerzos necesarios para construir un mundo mejor, abordando la necesidad de comunidades sostenibles y de prosperidad, incluidas infraestructuras clave, hogares, agua limpia y provisión de comunidades resistentes a medida que cambia el clima, así como apoyando la transición a un concreto con energía baja en carbono.

Compromiso y camino para construir un mundo sin emisiones de carbono.

El plan de trabajo para una industria del cemento y el concreto neutra en carbono para 2050 de la Asociación Mundial de Productores de Cemento y Concreto es un compromiso colectivo de las principales empresas de cemento y concreto del mundo para contribuir plenamente a la construcción del mundo sostenible del mañana.

En dicho plan de trabajo, se determina un camino hacia la neutralidad en carbono para contribuir a limitar el calentamiento global a 1,5°C, según lo expuesto en el informe del 2018 del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC). El sector se ha comprometido a producir concreto neutro en carbono para 2050 y está comprometido a actuar ahora.

La industria global ya ha mostrado avances y ha logrado reducciones proporcionales de las emisiones de CO₂ en la producción de cemento del 20% en las últimas tres décadas. Dicho plan de trabajo pone de manifiesto una importante aceleración de las medidas de descarbonización, y se ha logrado la misma reducción en solamente una década. Se destaca una reducción proporcional de las emisiones de CO₂ a causa del concreto, del 25% para 2030 respecto del año 2020, como hito clave en el camino hacia la plena descarbonización a mediados de siglo. Con las acciones del plan de trabajo de ahora a 2030, se evitará que casi 5000 millones de toneladas de emisiones de CO₂ entren a la atmósfera, comparado con un escenario sin cambios.



Futuro Concreto de la GCCA: Plan de Trabajo hacia la Carbono Neutralidad

De 2020 a 2030: la década para hacerlo realidad

Se acelerará las reducciones a lo largo de esta década crítica. En lo que respecta a la sustitución del clíinker, el aumento del uso de cenizas volantes y escoria granulada de alto horno (GGBS) seguirá desempeñando un papel importante en esta década; la piedra caliza molida, los finos de concreto reciclado y la introducción de arcillas calcinadas y otros nuevos materiales prometedores también desempeñarán un papel creciente.

Otras reducciones significarán limitar el uso de combustibles fósiles en cada punto de las cadenas de suministro y producción, así como reutilizar los residuos de la sociedad como una alternativa inteligente y más ecológica. El avance en esta importante transición energética que, a la escala del sector, es sustancial.

Además, es fundamental que en esta década se desarrolle las tecnologías de vanguardia necesarias para su despliegue a escala comercial al final de la misma. Invertir ahora en tecnologías e innovaciones futuras es primordial.

En esta década clave, se acelerará las reducciones de CO₂ mediante las siguientes acciones e iniciativas:

- aumento sustitución de clíinker incluyendo cenizas volantes, arcillas calcinadas, GGBS y piedra caliza molida
- reducción combustibles fósiles y aumento uso combustibles alternativos
- mejora eficiencia en producción de concreto
- mejora eficiencia en diseño de proyectos de concreto y uso de concreto durante la construcción, incluido el reciclaje
- inversión en tecnología e innovación
- Desarrollo tecnología e infraestructura del CCUS

Los miembros y asociados de GCCA están invirtiendo e investigando en alternativas a los cementos de clíinker Portland. Aunque pueden contribuir a reducir las emisiones de CO₂, es probable que tengan un papel limitado debido a la falta de materia prima a la escala necesaria.

La Captura, Utilización y Almacenamiento de Carbono (CCUS) es un componente esencial del plan de trabajo. Los proyectos piloto de CCUS ya tienen un gran impulso, con proyectos vivos y anuncios que se están acelerando en Norteamérica, China, India y Europa. Esta tecnología funciona, por lo que tenemos que trabajar con las partes interesadas, como los legisladores y la comunidad inversora, para ayudar a desarrollar, reducir el riesgo y desplegar la tecnología y la infraestructura durante este tiempo para ayudar a transformar la industria en todo el mundo.

Hitos de reducción de CO₂ en 2030

Concreto → 25 % Reducción de CO₂ por m³ de concreto para 2030

Cemento → 20 % Reducción de CO₂ por tonelada de cemento para 2030

2030 a 2050: pleno despliegue de tecnologías para llegar a cero

En este periodo, se seguirá aprovechando los avances de la década anterior.

Sustitución del clínker. Si bien se reconoce que el suministro de cenizas volantes y GGBS probablemente disminuirá, la disponibilidad de caliza molida y arcilla calcinada aumentará y se utilizará como herramienta clave.

Incluso en la década de 2030 habrá margen para seguir utilizando combustibles alternativos para reducir las emisiones de CO₂.

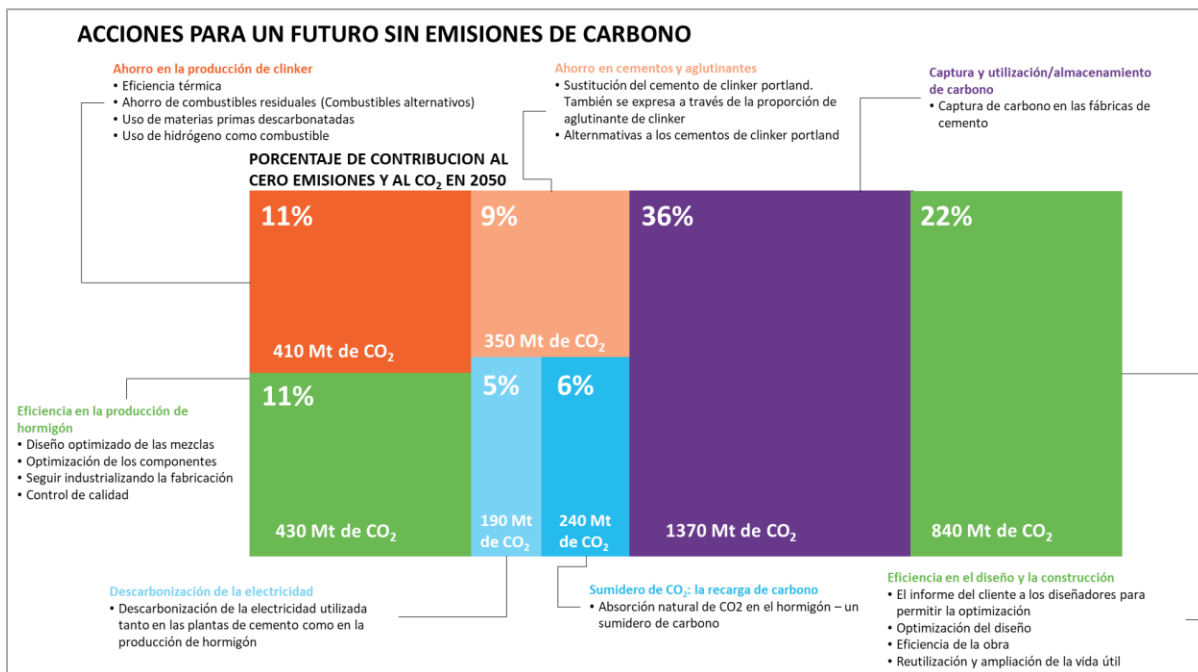
Las alternativas a los cementos de clínker Portland también pueden desempeñar un papel en la descarbonización, aunque limitado, quizá en torno a un 5% del mercado.

En última instancia, las emisiones de los procesos significan que, aunque se hará todo lo posible por reducirlas, habrá que capturar el CO₂, reutilizarlo si es

posible o almacenarlo. Una vez establecida la capacidad y el argumento comercial para 2030, y con el desarrollo de la infraestructura en marcha, se estará en el inicio del despliegue del CCUS a escala para garantizar que se logre el cero de emisiones netas para 2050.

El despliegue de la tecnología de captura de carbono a gran escala durante la fabricación de cemento podría eliminar por completo sus emisiones de proceso. Esto, junto con la biomasa y la recarbonación, podría dar lugar a la entrega futura de concreto con carbono negativo para nuestro mundo.

Además, la inversión, la colaboración y el trabajo centrado en la innovación de nuestros miembros a través de nuestros programas Innovandi también podrían desencadenar nuevas tecnologías en nuestra misión de descarbonización. Por ejemplo, se prevé que el hidrógeno verde/limpio y la electrificación de los hornos desempeñen un papel a partir de 2040.



Futuro Concreto de la GCCA: Plan de Trabajo hacia la Carbono Neutralidad

Las emisiones de CO₂ y las medidas de reducción de las emisiones

Ahorro en la producción de clínker. Esto incluye la reducción de CO₂ mediante el uso de materias primas descarbonatadas, medidas de eficiencia energética, uso de materiales de desecho sostenibles («combustibles alternativos») para sustituir a los combustibles fósiles e innovaciones como el uso de hidrógeno y la electrificación de los hornos.

Ahorro de cemento y aglutinantes. En la planta de cemento o en la de concreto, se pueden añadir cenizas volantes, GGBS, piedra caliza molida y otros materiales para obtener hormigones con menos emisiones de CO₂ pero con el rendimiento requerido. En algunas aplicaciones se mejora el rendimiento del concreto. Esta medida también se denomina sustitución de clínker, la que se describe por la proporción de aglutinante de clínker.

Eficiencia en la producción de concreto. En cuanto a la producción de concreto, la industrialización es la medida específica clave. El paso de la dosificación de concreto en pequeñas obras con cemento en sacos a los procesos industrializados, ofrece un importante ahorro de emisiones de CO₂ debido al cumplimiento de las especificaciones de la mezcla y el control de calidad. En algunas economías emergentes, como la India, la gran mayoría de la producción de concreto se realiza

actualmente en las obras. La transición a la producción industrializada se ha visto en otros países.

La captura y utilización/almacenamiento de carbono es una nueva medida, y se prevé que su contribución solo será significativa después de 2030, cuando se haya establecido la viabilidad comercial y la infraestructura necesaria. Una vez capturado, el CO₂ se utilizará en la industria del cemento y el concreto, en otras industrias o se almacenará.

La descarbonización de la electricidad en todo el mundo en las próximas décadas hará que las emisiones procedentes de la generación de electricidad utilizada en la producción de cemento y concreto se reduzcan a cero.

Recarbonatación es un proceso natural de absorción de CO₂ por parte del concreto. Los ingenieros lo entienden bien y se ha incorporado a las normas de ingeniería durante décadas. Solo recientemente se ha tenido en cuenta en la contabilidad del carbono, la más reciente el 6º Informe de Evaluación del IPCC publicado en agosto de 2021.

La eficiencia en el diseño y la construcción puede lograrse aplicando muchas medidas específicas. Estas medidas pueden aplicarse con las normas y reglamentos actuales.



Hoja de Ruta GCCA: Hacia una industria del Cemento y Concreto Neutra en Carbono al 2050

1.5

Papers ECRA 2017

En el año 2017, CSI decidió iniciar un proyecto junto con la ECRA para actualizar la perspectiva de las tecnologías disponibles para la reducción del CO₂ y la eficiencia energética en el sector del cemento. Esta decisión fue tomada a la luz de la discusión y ratificación del Acuerdo de París de la CMNUCC. Además, esta actualización se realizó con el propósito de incorporar información sobre materiales alternativos y uso de combustible en la industria del cemento, y para formar una nueva base para el proyecto de modelado de *Perspectiva de Tecnología Energética* (ETP) de la IEA.⁸

Las estimaciones sobre el potencial de reducción se realizaron teniendo en cuenta una planta de referencia (2 millones de toneladas de clínker anuales o 6.000 toneladas de clínker por día de capacidad), la cual se basa en los datos técnicos de más de 900 plantas de cemento obtenidos del Protocolo GNR de CSI del año 2014. Para los datos de costos, se tomó como referencia los precios de Europa central.

Los supuestos clave para la planta de referencia son los siguientes:

- Tipo de horno: predominantemente caracterizado como proceso seco.
- 70% del proceso en seco con precalentador y precalcinador.
- 14% del proceso en seco con precalentador sin precalcinador.
- 16% de hornos mixtos.

La última publicación de los *Papers Tecnológicos* comprende 52 papers, de los cuales 32 son una actualización de los existentes y los otros 20 corresponden a la incorporación de nuevas tecnologías.

Estos documentos representan una visión global de los principales ejes en la reducción de CO₂ en la producción de cemento, además de sus oportunidades y barreras para su implementación.

Los ejes de reducción identificados son:

- 1** Eficiencia térmica
- 2** Eficiencia eléctrica
- 3** Uso de materias primas alternativas y combustibles alternativos (biomasas, combustibles a partir de residuos, entre otros)
- 4** Reducción del contenido de clínker en el cemento
- 5** Nuevos cementos
- 6** Captura y almacenamiento de carbono
- 7** Captura y uso del carbono

⁸ Academia Europea para Investigación del Cemento, ECRA, *Papers Tecnológicos*, 2017.

Papers ECRA: Tecnologías para la reducción de CO₂

Los 52 documentos conocidos como *Papers Tecnológicos* son aplicaciones específicas para la reducción de CO₂, incluyendo tecnologías en uso e innovaciones desafiantes para su aplicación futura en la producción de cemento.

Eficiencia Energética: Papers 1 al 11

1. Mejora en la capacidad de cocción de la mezcla de materias primas.
2. Cambio de hornos largos a hornos con precalentador/precalcinador.
3. Modificación del precalentador (por ej. ciclones con menor pérdida de presión).
4. Etapas de ciclones con precalentadores adicionales.
5. Aumento de la capacidad del horno.
6. Reemplazo de quemador mono canal a quemador moderno multicanal.
7. Tecnología de enriquecimiento de oxígeno.
8. Enfriador de clínker de tecnología eficiente.
9. Recuperación de calor residual: Vapor (WHR, por sus siglas en inglés).
10. Recuperación de calor residual: Ciclo Orgánico de Rankine (ORC, por sus siglas en inglés).
11. Recuperación de calor residual: Ciclo Kalina.

Combustibles y Materias Primas Alternativas: Papers 12 al 17

12. Materias primas alternativas descarbonatadas para la producción de clínker
13. Cambio de combustible: carbón/pet-coke por petróleo/gas/biomasa pura.
14. Combustibles alternativos (incluye biomasa), reemplazando combustibles fósiles convencionales.
15. Pretratamiento de combustibles alternativos (molienda y secado).
16. Gasificación o pre-combustión de combustibles alternativos.
17. Carbonización hidrotérmica (HTC) y Torrefacción.

Eficiencia Eléctrica: Papers 18 al 30

18. Optimización en el control y automatización de plantas.
19. Variadores de velocidad.
20. Eficiencia del sistema auxiliar de aire.
21. Gestión de energía.
22. Operación de planta de cemento optimizada con energía renovable.
23. Molienda de cemento con molinos de rodillos verticales y prensas de rodillos.
24. Separadores de alta eficiencia.
25. Optimización de los parámetros de funcionamiento de los molinos de bolas.
26. Molienda separada de los componentes de la materia prima.
27. Tecnología avanzada de molienda.
28. Molienda y mezcla separados por finura.
29. Aumentar el rendimiento del cemento por optimización de la distribución del tamaño de partícula.
30. Uso optimizado de los aditivos para molienda.

Reducción del contenido de clínker en el cemento: Papers 31 al 37

31. Reducción adicional del contenido de clínker en cemento mediante uso de escorias granuladas de alto horno.
32. Cementos y concreto de alto desempeño que reducen el CO₂.
33. Impacto del factor de saturación de cal muy alto/ muy bajo.
34. Reducción adicional del contenido de clínker en el cemento mediante el uso de ceniza volante.
35. Reducción adicional del contenido de clínker en el cemento mediante el uso de puzolanas naturales.
36. Reducción adicional del contenido de clínker en el cemento mediante el uso de arcillas calcinadas.
37. Reducción adicional del contenido de clínker en el cemento mediante el uso de otros materiales.

Nuevos Cementos: Papers 38 al 42

38. Cementos activados alcalinamente.
39. Cementos basados en la carbonatación de silicatos cálcicos.
40. Otros clínker de bajo carbonato: silicatos de calcio pre hidratados.
41. Otros cementos con bajo contenido de carbonato - Cementos Belita.
42. Otros cementos con bajo contenido de carbonato (belita).

Captura de carbono, almacenaje y uso: Papers 43 al 52

43. Tecnología de oxicombustible.
44. Captura postcombustión usando tecnologías de absorción.
45. Captura post - combustión usando procesos de membrana.
46. Captura post - combustión usando solid sorbents: Mineral carbonation.
47. Captura postcombustión utilizando sorbentes sólidos: Carbonatación mineral.
48. Uso de CO₂: Productos químicos básicos, urea, ácido fórmico, polímeros.
49. Uso de CO₂: Energía a gas (Metano: CH₄).
50. Uso de CO₂: Energía a líquidos (Metanol: CH₃OH).
51. Uso de CO₂: Recuperación mejorada de petróleo.
52. Uso de CO₂: Captura en algas y producción de combustible, biocombustibles



FICEM publicó un artículo de Tecnología e Innovación para la Reducción de CO₂ en la Industria del Cemento basado en los Papers ECRA 2017. En este artículo se realizan las adecuaciones a la realidad de Latinoamérica a fin de su implementación. Además, se incorpora un módulo para una lectura íntegra de los distintos aportes de estas tecnologías bajas en carbono.

La industria del cemento se siente parte del compromiso mundial global para enfrentar los efectos del cambio climático, y, por tanto, considera absolutamente necesario haber tomado la experiencia internacional y global para que su Hoja de Ruta pueda ser coherente y complementaria a los esfuerzos, tanto de la comunidad como de las organizaciones internacionales, a fin de lograr las metas propuestas en la COP 21, metas que comprometen a toda la humanidad.

2

Medición
Reporte y
Verificación

El término MRV (Medición, Reporte y Verificación) se utiliza para describir todas las medidas que los países adoptan para recoger datos sobre las emisiones, las acciones de mitigación y de apoyo. Esta información se consolida en informes e inventarios, los que son sometidos a revisión o análisis internacional por entidades acreditadoras o certificadoras y agencias gubernamentales.

Un MRV, al generar información comparable y transparente, ayuda a los países, organizaciones, empresas y partes interesadas a entender las fuentes y

las tendencias de emisiones, facilita el intercambio de esta información y de las buenas prácticas, y entrega y mejora el sustento para tomar otras medidas de política ambiental, tales como exenciones tributarias, apoyo financiero, normas de emisión, legislación de Responsabilidad Extendida del Productor en residuos, impuestos verdes, entre otras.

A continuación, se verá la historia y desarrollo de los MRV desde la COP 21, sus requisitos, condiciones y alcances; y se describirá el denominado sMRV FICEM y cómo este sistema ha considerado los criterios internacionales en su diseño e implementación.

2.1

Sistemas de medición, reporte y verificación

2.1.1

Acuerdo de París y MRV

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, el Acuerdo de París es legalmente vinculante para los países que lo han ratificado y tiene como objetivo el que los países se comprometan a mantener la temperatura media mundial, al año 2050, por debajo de los 2°C respecto a los niveles preindustriales. Para ello, se deberá reducir drásticamente las emisiones de GEI proyectadas.

Las acciones emprendidas por los distintos países en favor de este objetivo se ven reflejadas en los instrumentos internacionales denominados NDC, los que entraron en vigor en el año 2020 y serán revisados cada 5 años mediante un mecanismo de seguimiento al cumplimiento. Respecto a este último, el Acuerdo de París dio un importante paso adelante al definir la necesidad de contar con un sistema universal de transparencia para la Medición, Reporte y Verificación.

El término MRV se utiliza para describir todas las medidas que los países adoptan para recoger datos sobre sus emisiones, acciones de mitigación y de apoyo, y para reunirlos en los informes e inventarios; para luego ser sometidos a algún tipo de revisión o análisis internacional. El MRV puede ayudar a los países a entender las fuentes y tendencias de emisiones, diseñar estrategias de mitigación, mejorar la credibilidad y tomar otras medidas de política.

La práctica de MRV integra tres procesos independientes, pero interrelacionados:

Medición (M): medición de datos e información sobre emisiones, acciones de mitigación y apoyo. Esto puede implicar la medición física directa de emisiones de GEI, la estimación de emisiones – o reducción de emisiones – utilizando datos de actividad y factores de emisión; el cálculo de cambios relevantes para el desarrollo sostenible; y la recopilación de información sobre el apoyo necesario para la mitigación del cambio climático.

Reporte (R): se reúne la información producida en el proceso anterior en inventarios y otros formatos estandarizados, para hacerla accesible a una gama de usuarios y facilitar la divulgación pública de la información.

Verificación (V): la información reportada se somete periódicamente a alguna forma de revisión, análisis o evaluación por parte de una entidad independiente para establecer su integridad y confiabilidad.

A la fecha no existe un sistema único de MRV derivado del Acuerdo de París, y se cuenta sólo con criterios básicos y referencias para su elaboración por parte de los gobiernos, sectores económicos y otros grupos de interés.

2.1.2

MRV 101

Comprensión de la Medición, Reporte y Verificación para la Mitigación del Cambio Climático

En agosto del año 2016, el World Resources Institute (WRI) publicó un documento denominado “MRV 101: Understanding Measurement, Reporting, and

Verification of Climate Change Mitigation”⁹, documento que examina el concepto MRV e identifica tres tipos de MRV relacionados con la mitigación, los cuales son:

Figura 10. Varios tipos de MRV relacionados con la mitigación: emisiones, acciones de mitigación y apoyo
Fuente. MRV 101: UNDERSTANDING MEASUREMENT, REPORTING, AND VERIFICATION OF CLIMATE CHANGE MITIGATION, Abril 2016



⁹ World Resources Institute, WRI, MRV 101: Understanding Measurement, Reporting, and Verification of Climate Change Mitigation, 2016



MRV de emisiones de GEI

Implica la medición y el monitoreo de las emisiones de GEI asociadas con actividades de entidades, tales como países, organizaciones o instalaciones industriales, informando los datos recopilados en un inventario de GEI u otras formas, y realizando revisiones y verificaciones.

A nivel nacional, el MRV de las emisiones de GEI implica medir, reportar y verificar la cantidad total de emisiones de GEI de actividades humanas en un país.

Éstos se informan en un inventario nacional de GEI categorizados en cuatro sectores económicos principales: 1) energía; 2) procesos industriales y uso de

productos; 3) agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra; 4) residuos.

A nivel de organizaciones, el MRV de las emisiones de GEI implica construir un inventario de emisiones totales y datos de todas las fuentes (incluidas las estacionarias y fuentes móviles, proceso y emisiones fugitivas) dentro de los límites de la organización.

Por último, **a nivel de instalaciones industriales**, el MRV de las emisiones de GEI implica evaluar el total de emisiones y absorciones de GEI de todas las fuentes dentro de una única instalación (por ejemplo, planta de energía, fábrica o sitio de eliminación de residuos).



MRV de acciones de Mitigación

Se refiere a intervenciones y compromisos, incluidos objetivos, políticas y proyectos, emprendidos por un gobierno u otra entidad, para reducir las emisiones de GEI. Los ejemplos incluyen planes climáticos nacionales, contribuciones determinadas a nivel nacional, políticas que establecen estándares de emisiones para vehículos,

sistemas regionales de comercio de emisiones y proyectos para mejorar la tierra degradada.

El MRV de las acciones de mitigación incluye estimar, informar y verificar sus efectos en términos de emisiones de GEI y desarrollo sostenible, y monitorear su implementación.



MRV de soporte

Se refiere al financiamiento para la transferencia de tecnología y/o el desarrollo de capacidades. Incluye respaldo monetario, como por ejemplo: financiamiento para desarrollar un sistema nacional de comercio de emisiones transables, inversiones en tecnologías de bajas

emisiones y fondos para la organización de talleres de capacitación para auditores de energía. La definición de apoyo también incluye apoyo no monetario, como asesoramiento técnico para diseñar normas nacionales de eficiencia energética o esquemas de etiquetado.

2.1.3

Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero

Las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de GEI¹⁰ son el resultado de la invitación realizada por la CMNUCC para actualizar las Directrices del IPCC de 1996 y la orientación de buenas prácticas asociadas (Orientación sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, y la Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura).

Las Directrices de 2006 tomaron como base el trabajo ya realizado y evolucionaron a partir de allí, gracias al aporte de más de 250 expertos de todo el mundo. Estas nuevas directrices incluyen nuevas fuentes y gases de efecto invernadero, así como el ajuste de los métodos publicados con anterioridad.

La actualización de las Directrices del IPCC de 2006 se ha estructurado de manera tal que cualquier país, independientemente de su experiencia o recursos, pueda producir estimaciones fiables de sus emisiones y absorciones de gases.

En particular, los valores por defecto de los diversos parámetros y factores de emisión necesarios son provistos para todos los sectores, de modo que un país debe suministrar únicamente los datos de la actividad nacional. El método también permite que los países que disponen de más información y recursos utilicen metodologías más detalladas y específicas, a la vez que

conserva la compatibilidad, comparabilidad y coherencia entre los diferentes países. Las directrices definen como buena práctica la elección de la metodología de cuantificación más apropiada según las circunstancias nacionales.

Estas metodologías se agrupan en 3 niveles:

Nivel 1: en este nivel, la estimación de emisiones para cada categoría de fuente y combustible requiere datos sobre la cantidad de combustible quemado en la categoría de fuente y un factor de emisión por defecto. Este último proviene de los valores por defecto proporcionados por la IPCC.

Nivel 2: la aplicación de este nivel requiere datos sobre la cantidad de combustible quemado en la categoría de fuente y un factor de emisión específico por país para la categoría de fuente y el combustible para cada gas. En este nivel se reemplazan los factores de emisión por defecto por factores de emisión específicos nacionales.

Nivel 3: este nivel considera que las emisiones dependen del tipo de combustible utilizado, la tecnología de combustión, las condiciones de operación, la tecnología de control, la calidad del mantenimiento y el tiempo de uso del equipo utilizado para quemar el combustible. Es decir, en este nivel se toma en cuenta la dependencia de las variables y parámetros tecnológicos.

¹⁰ Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC, Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero del 2006, 2006

2.1.4 Protocolo GHGP

El “Protocolo de Gases de Efecto Invernadero” ¹¹ es el protocolo internacional más usado para los MRV, debido a que fue la primera iniciativa orientada a la contabilización de emisiones para entender, cuantificar y gestionar las emisiones de GEI.

El GHG Protocol ha sido desarrollado entre el WRI y el WBCSD, junto con empresas, gobiernos y grupos ambientalistas de todo el mundo, con el fin de construir una nueva generación de programas efectivos y creíbles para abordar el cambio climático.

Estas herramientas permiten:

- Preparar inventarios de GEI, reduciendo los costos que significa dicho proceso. Ofrece información para planear estrategias de gestión y reducción de emisiones de GEI, así como también para facilitar la transparencia en el sistema de contabilización.
- Medir las emisiones de GEI directas e indirectas. Las emisiones indirectas se refieren a aquellas por las que una empresa se responsabiliza a pesar que provienen de una fuente no localizada en el interior de sus establecimientos, tales como las emisiones relativas a los bienes adquiridos y los servicios, el transporte y la distribución, y uso de los productos vendidos.
- Utiliza una visión intersectorial.



¹¹ World Business Council for Sustainable Development, WBCSD / World Resources Institute, WRI, Protocolo de Gases Efecto Invernadero, 2001

2.2

MRV industria del cemento

2.2.1

Emisiones de CO₂ asociadas a la producción de cemento (Alcances 1, 2 y 3)

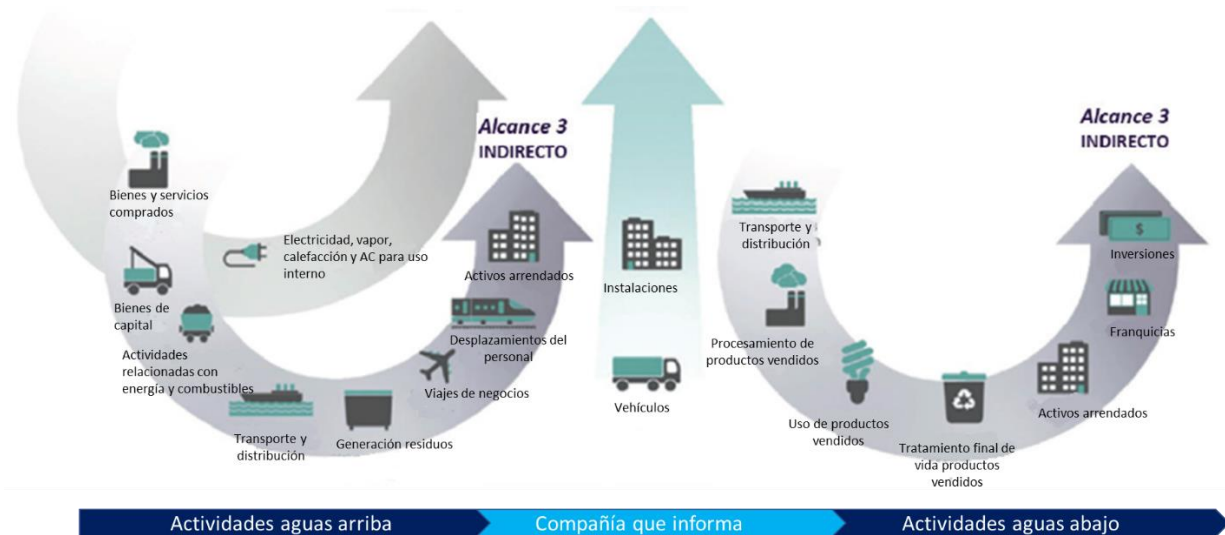
Conocer las emisiones totales de GEI en la industria del cemento se relaciona, casi exclusivamente, a sus emisiones de CO₂. Debido a esto, los protocolos asociados se focalizan en este tipo de emisiones, por lo que los términos CO₂ o CO₂eq pueden ser usados indistintamente.

Para medir el CO₂ asociado al cemento se han determinado tres alcances: Alcance 1 (emisiones directas de la producción de cemento y de las actividades mineras

bajo el control de la cementera), Alcance 2 (consumo de energía eléctrica), y Alcance 3 (emisiones indirectas *upstream* y *downstream*, como son, por ejemplo: las actividades mineras de terceros, el clínker suministrado por terceros, transportes en la cadena de valor, distribución del producto, uso del producto, entre otras).

En la Figura 11 se muestra una descripción general de los alcances y emisiones de GEI en toda la cadena de valor.

Figura 11. Alcances para la estimación de las emisiones
Fuente. WBCSD



2.2.2

Alcances 1 y 2 del sector cemento: Protocolo de energía y CO₂ para la producción de cemento

El actual *Protocolo de Energía y CO₂*¹² para la producción de cemento es una metodología para calcular y reportar emisiones de CO₂ propuesta el año 2001 por CSI y actualizado el año 2011 bajo su versión 3.0. Este protocolo incluye las necesidades específicas de la industria del cemento, lo que le permite ser la guía más importante para la medición y reporte de CO₂ en el sector cementero. Además, se alineó estrechamente con el *Protocolo GHG* desarrollado por el WBCSD y WRI.

Respecto a la medición y al reporte, el Protocolo CSI de Cemento de CO₂:

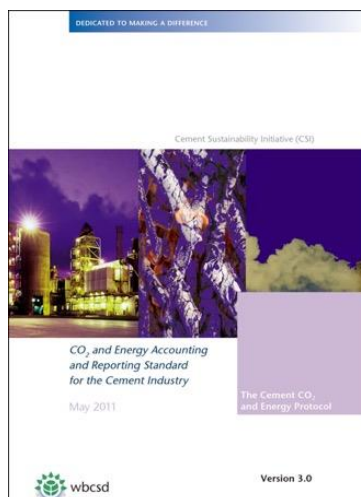
Es una herramienta flexible que satisface necesidades, tales como: administración interna del desempeño ambiental, reportes ambientales corporativos y públicos, reportes bajo esquemas de impuestos CO₂, reportes bajo esquemas de cumplimiento de CO₂ (acuerdos voluntarios o negociados, comercio de emisiones), benchmarking de la industria y análisis del ciclo de vida del producto.

Los métodos de cálculo utilizados en este protocolo son compatibles con las directrices del IPCC - 2006 y con el protocolo de WRI/WBCSD. Esto permite a las empresas cementeras informar sus emisiones de CO₂ a los gobiernos nacionales de acuerdo con los requisitos del IPCC.

Incluye todas las emisiones asociadas al Alcance 1 y Alcance 2 y consta de tres documentos: un documento de orientación (Guidance Document), una hoja de cálculo de Excel (Excel Spreadsheet) para ayudar a las compañías de cemento a preparar sus inventarios de CO₂, y un Manual de Internet, que suministra una guía paso a paso para el cumplimiento del Protocolo. Este manual puede encontrarse en la página web www.cement-co2-protocol.org.

Respecto a la verificación, el Protocolo CSI de Cemento de CO₂:

Este proceso, inicialmente llevado a cabo por CSI y en la actualidad gestionado por GCCA, trabaja en alianza con PwC de Francia en la consolidación, procesamiento de datos y emisión de reportes de las empresas cementeras que contribuyen con información a la base de datos GNR. Las empresas cementeras reportan información relativa a indicadores de emisión de CO₂ y eficiencia energética. Además, existe un protocolo para la verificación externa de la información de la planta, que es realizada por entidades evaluadoras externas debidamente calificadas.



¹² World Business Council for Sustainable Development, WBCSD, CO₂ and Energy Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry, 2011

2.2.3

Alcance 3 del sector cemento: Guía de contabilidad e informes de GEI

La *Guía de Contabilidad e Informes de GEI* del Alcance 3 para la producción de cemento es un complemento del *Protocolo de Energía y CO₂ para la producción de cemento* (Alcance 1 y 2). Fue elaborada por CSI, en colaboración con el WBCSD, distintas empresas cementeras líderes, y organizaciones gremiales internacionales.

Las principales organizaciones que participaron en el proceso de elaboración y consulta de la Guía son:

- The European Cement Association (CEMBUREAU).
- Japan Cement Association (JCA).
- Federación Interamericana del Cemento (FICEM).
- Carbon Disclosure Project (CDP).
- World Resources Institute (WRI) - Equipo GHG.
- The Portland Cement Association (PCA).
- German Cement Association (VDZ).

Esta Guía se basa en la *Norma de Contabilidad y Notificación de la Cadena de Valor Corporativa de Gas de Efecto Invernadero WBCSD - WRI* (Alcance 3) (septiembre de 2011). Además, contempla las principales emisiones de GEI (con CO₂ y sin CO₂) de actividades *upstream* (aguas arriba) y *downstream* (aguas abajo) relacionadas con la producción de cemento. Permite comparar las emisiones de GEI de una compañía a lo largo del tiempo. Proporciona una metodología específica para el cálculo de las emisiones de Alcance 3, con el objetivo de informar estas emisiones para diversos fines. Las emisiones de Alcance 3 contemplan emisiones indirectas no cubiertas por el Alcance 2, por ejemplo, la extracción y producción de materiales y combustibles comprados, como clínker; actividades vinculadas al transporte que no son

propiedad de la empresa cementera, o controlados por ella; actividades relacionadas con la electricidad, por ejemplo, pérdidas de transmisión y distribución; actividades subcontratadas; eliminación de residuos; etc.

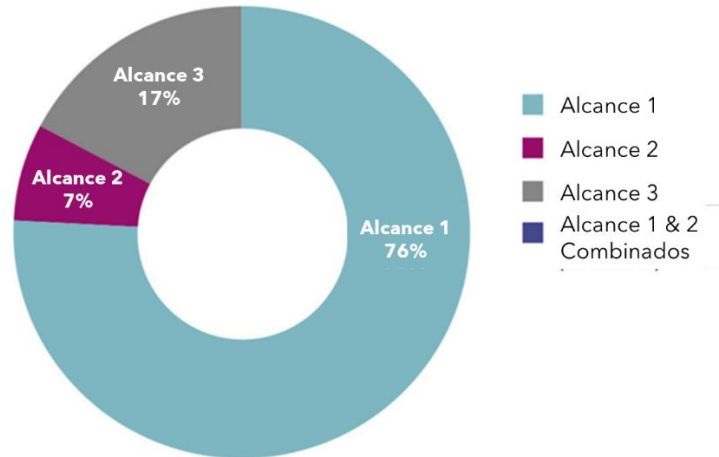
Además, la contabilidad de Alcance 3 permite a las compañías cementeras:

- Desarrollar una huella asociada a la cadena de valor, proporcionando una estimación precisa del impacto total de las actividades de una empresa.
- Evaluar los puntos críticos de emisión.
- Identificar los riesgos de recursos y energía.
- Identificar los proveedores líderes de sostenibilidad.
- Identificar las oportunidades asociadas a la reducción de costos y la eficiencia energética.
- Involucrar a los proveedores y ayudarlos a implementar iniciativas de sostenibilidad.
- Reducir las emisiones asociadas a viajes de negocios y desplazamientos.

Para el caso de la producción de cemento, el Alcance 1 es, sin duda, el más relevante con respecto a las emisiones de CO₂, pero conocer las emisiones de CO₂ del Alcance 3 es necesario para determinar el CO₂ global en el ciclo de vida del cemento. Por ejemplo, de acuerdo con estadísticas de la firma *Italcementi*, estas emisiones representan un 17 % del total de las emisiones que surgen de toda la cadena de valor (Figura 14), mientras que el Alcance 1 concentra la mayor cantidad de emisiones (76%), y el Alcance 2 representa tan solo el 7% restante de emisiones.

Figura 12. Emisiones en la producción de cemento según alcance (scope)

Fuente. Cement Sector Scope 3 GHG – Accounting and Reporting Guidance / WBCSD



En particular, la industria del cemento tiene sus principales emisiones en el Alcance 1, mientras que otros ciclos de vida (como por ejemplo la producción de manzanas o envases, en la Figura 13) concentran gran parte de sus emisiones en el Alcance 3. Por ello, la importancia dada por el WBCSD de implementar protocolos para determinar las emisiones en todos los Alcances.

Figura 13. Emisiones en diferentes industrias según alcance

Fuente. Cement Sector Scope 3 GHG – Accounting and Reporting Guidance/WBCSD



2.3

sMRV FICEM

2.3.1

Origen y definición sMRV FICEM

De acuerdo con los requerimientos de la COP 21 de contar con MRV efectivos y confiables, FICEM asumió dicho desafío a través de la implementación de su sMRV FICEM, el cual cumple con las características del MRV de *Medición de GEI (MRV 101)*, las *Directrices del IPCC de 2006* para los inventarios nacionales de GEI y el *Protocolo de Medición de Gases efectos Invernadero*.

Sobre esta base, el sMRV FICEM es un sistema desarrollado por FICEM y de su exclusiva propiedad, como parte de las herramientas que contiene su Hoja de Ruta, que permite importar datos desde el *FORMATO CSI CEMENT CO₂ AND ENERGY PROTOCOL VERSIÓN 3.1.*, consolidarlos en una base de datos relacional, incorporar datos de referencia, y entregar un resumen consolidado para su visualización y análisis mediante herramientas de visualización y descubrimiento de datos.

Los datos consolidados a nivel país y/o Macrozona comparan cada indicador con datos globales en las mismas unidades y con el mismo significado, lo cual permite tomar decisiones enfocadas en las medidas y acciones más eficientes desde el punto de vista técnico y ambiental.

FICEM, en concordancia con las directrices globales en la industria del cemento, determinó que las emisiones del sector cementero en los Alcances 1 y 2 representan cerca de un 83%, por lo que sMRV FICEM ha utilizado dicho criterio para la elaboración de la presente Hoja de Ruta de México.

Los principales procesos contenidos en la sMRV FICEM son los siguientes:

- Lectura de datos e Importación desde archivos CSI Protocol 3.1.
- Homologación de unidades y cálculo de indicadores desde datos importados.
- Agregación de indicadores de planta a niveles superiores; país, Macrozona y/o región.
- Vinculación de indicadores calculados con los datos de referencias internacionales (GNR, Banco Mundial, etc.).
- Generación de reportes ejecutivos por niveles de agregación y año de los indicadores clave de cada país y/o Macrozona.

2.3.2

Protocolo sMRV FICEM

El *Protocolo de Procesamiento, Consolidación y Validación de Datos FICEM* (Protocolo FICEM) contiene el procedimiento que permite tomar datos relevantes, asociados a las medidas de mitigación de las emisiones de GEI de las distintas compañías, especialmente los contenidos en la *Planilla CSI Cement CO₂ and Energy Protocol Versión 3.1.* (en adelante *CSI protocol 3.1*) proporcionados por las compañías participantes del proceso, validarlos a través de una entidad externa, consolidarlos, adicionar datos de referencia, tales como hojas de ruta, estándar CSI, etc., y entregar resúmenes consolidados para su visualización y análisis mediante informes y/o reportes. Todo lo anterior, conciliando los principios de transparencia y confidencialidad.

La Entidad Externa de validación es un tercero de reconocido prestigio que entrega los siguientes servicios: a) recepción y agregación de información enviada por las compañías; b) validación de información utilizada; y c) emisión del Informe que valida que la emisión de los Reportes por parte de FICEM han cumplido con todas las etapas del Protocolo.

A continuación, se describen las etapas y procedimientos del Protocolo:

0. REUNIÓN DE APERTURA: Esta reunión tiene como fin, dar formalmente el inicio a las actividades del presente Protocolo, como fijar los alcances del proceso para las Compañías o País adherente y/o Macrozona, años que comprenderá la información, si se considerarán años no verificados, además de cualquier otro tema de carácter general que se considere necesario.

1. PREPARACIÓN Y ENVIO DE INFORMACION A LA ENTIDAD EXTERNA DE VERIFICACIÓN (EEV): cada Compañía prepara los datos que desea analizar en el formato CSI protocol 3.1. y los remite a la EEV, vía correo electrónico que será determinado por la EEV para estos efectos, bajo los estándares de confidencialidad y seguridad necesarios para dichos fines.

2. RECEPCIÓN, VALIDACIÓN Y ENVIO DE INFORMACIÓN POR LA EEV A FICEM (SEUDONIMIZACIÓN): La EEV recibe la información indicada en el punto anterior, luego valida la presentación de dicha información, para luego entregárselos a FICEM. Además, seudonimiza aquellos datos o nombres propios que puedan permitir la identificación individual de una planta y Compañía.

3. AGREGACIÓN DE DATOS; GENERACIÓN DE REPORTEES. Los datos recibidos por FICEM desde la EEV son cargados en el sMRV FICEM y obteniéndose una base de datos con información agregada de acuerdo a lo establecido en el punto 4.0.

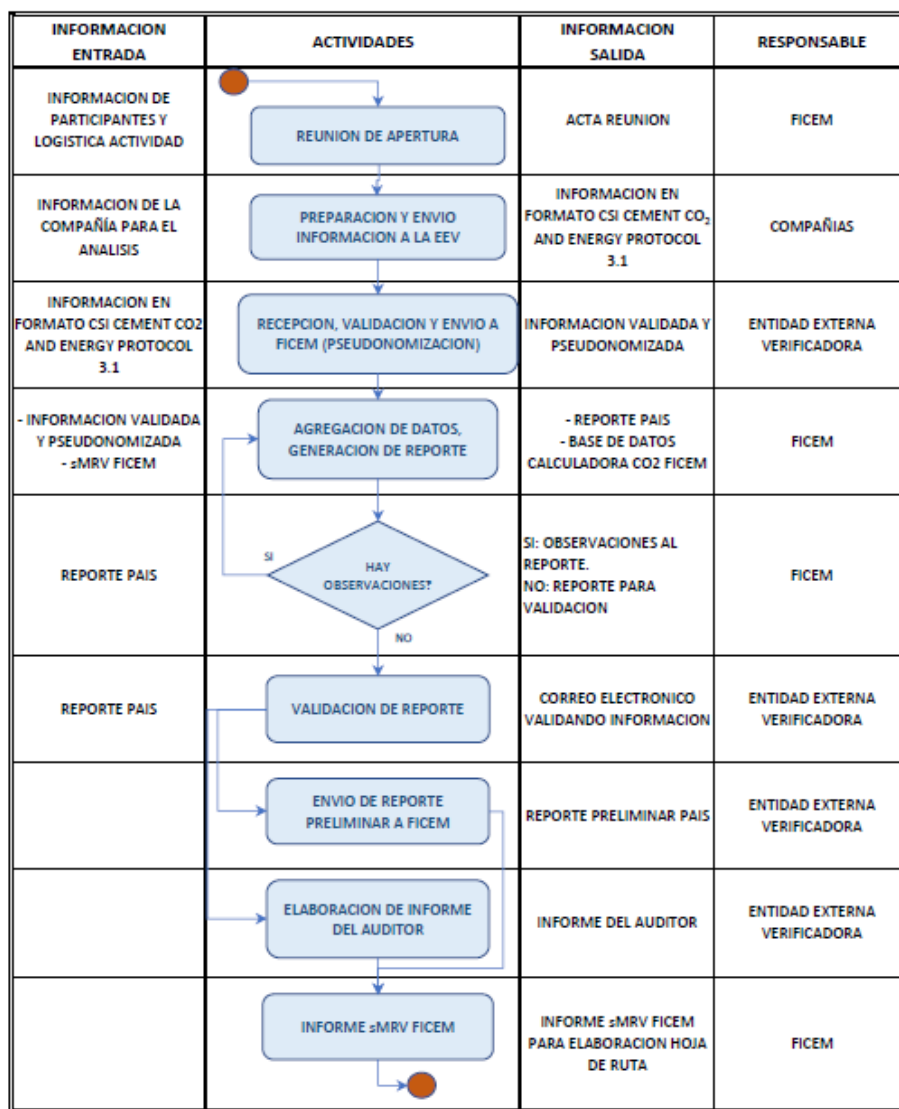
4. VALIDACION DE REPORTE. La EEV recibe la información ponderada por parte de FICEM y valida que ella sea consistente con aquella que fue entregada a FICEM de acuerdo al punto 4.2

5. ENVIO DE REPORTE PRELIMINAR A FICEM. La EEV envía de manera preliminar el reporte a FICEM, paralelamente a la redacción del informe por parte del auditor.

6. INFORME DEL AUDITOR. La EEV procederá a emitir el Informe del Auditor donde declaran que se han cumplido con las etapas de este Protocolo y que los números basales que se han utilizado son aquellos que la EEV ha recibido de las distintas compañías. Este informe será remitido en forma exclusiva a FICEM. El alcance de la participación de la EEV abarca solo hasta este punto.

7. INFORMES sMRV FICEM. Luego del punto anterior, FICEM pondrá a disposición del proceso de elaboración de Hoja de Ruta País y/o Macrozona, los informes que sean necesarios de acuerdo a los antecedentes generados por el presente Protocolo.

Figura 14. Flujo de las etapas y procedimientos del sMRV FICEM



3

Hoja de Ruta FICEM

La Federación Interamericana del Cemento - FICEM en su objetivo de potenciar el desarrollo sostenible de la región, ha impulsado y desarrollado el proyecto *Hoja de Ruta FICEM*¹³: “*Hacia una economía baja en carbono*”, que representa el compromiso de la industria cementera latinoamericana en la reducción de emisiones de CO₂.

15 representantes de la industria cementera de 23 países de Latinoamérica y el Caribe, se reunieron el 2 de febrero de 2017 en la ciudad de Miami, Estados Unidos, y con el

fin de ratificar su compromiso en la reducción de emisiones de CO₂ hacia una economía baja en carbono, aprobaron dicha Hoja de Ruta FICEM, la cual se detalla en el presente capítulo.

Adicionalmente, en esta reunión, se aprobó el inicio del proceso de elaboración de las Hojas de Ruta por País, considerada la Fase II del proyecto latinoamericano de Hoja de Ruta FICEM, lo cual se ve reflejado en el presente documento.



**Ratificación Compromiso Hoja de Ruta FICEM 2017
por la Industria del Cemento en Latinoamérica y El Caribe**

¹³ FICEM, Federación Interamericana del Cemento, Ricardo Pareja S., FICEM Hoja de Ruta CO₂, 2017

3.1

HR FICEM y sus objetivos

- Objetivo 1** Aportar a los objetivos mundiales para el desarrollo sostenible ODS y COP21, los objetivos globales de la Iniciativa para la Sostenibilidad del Cemento (CSI) y los objetivos regionales para enfrentar el cambio climático.
- Objetivo 2** Construir la línea base de emisiones de CO₂ en la industria regional, mediante la implementación de un sistema para la Medición, Reporte y Verificación FICEM (sMRV FICEM), usando la información reportada en el protocolo GNR.
- Objetivo 3** Determinar el potencial de reducción de CO₂ por país, basado en la eficiencia energética e innovación para la producción de clínker y cemento en Latinoamérica.
- Objetivo 4** Identificar las acciones para implementar el potencial de reducción de CO₂ en el ciclo de vida y posicionar al cemento como el material más resiliente para las necesidades de adaptación al cambio climático.
- Objetivo 5** Estandarizar y facilitar la elaboración de las Hojas de Ruta por País, para lograr cumplir los requerimientos de Mitigación y Adaptación de acuerdo con las oportunidades y necesidades locales.
- Objetivo 6** Posicionar a FICEM como referente de la industria para facilitar diálogos y negociaciones asociadas al cambio climático en nuestros países.

Es importante destacar que la Hoja de Ruta FICEM 2017 no se construyó en forma aislada. Por el contrario, con el propósito de trabajar de manera conjunta con la industria global del cemento, contó con el apoyo de CSI y está alineada con el plan estratégico del *Low Carbon Technology Partnerships*. Asimismo, en la creación de estos lineamientos para América Latina y El Caribe, se consideró las diferencias locales y regionales que dan cuenta de la heterogeneidad en los marcos regulatorios, gestión y manejo de residuos y una tradición estadística diversa en la recolección de datos, entre otros factores presentes en esta región.

3.2

HR FICEM y sus herramientas

Las herramientas del proyecto Hoja de Ruta FICEM son un conjunto de aplicaciones, procedimientos, investigaciones y referencias que tienen por objeto apoyar a la industria del cemento latinoamericana en sus esfuerzos para mitigar las emisiones de CO₂ y posicionar

al cemento y al concreto como los materiales de construcciones más resilientes para la adaptación al cambio climático. A continuación, se presenta el detalle de cada una de ellas.



Herramienta 1

GNR como sistema de medición, reporte y verificación

GNR no sólo es útil para entender los potenciales de reducción de CO₂eq en la industria y los desempeños comparados de los ejes de reducción ya descritos en el apartado GNR de este informe. En la actualidad, GNR se posiciona como un MRV de alto desempeño, para los requerimientos de las autoridades locales y sus compromisos suscritos en la COP21.

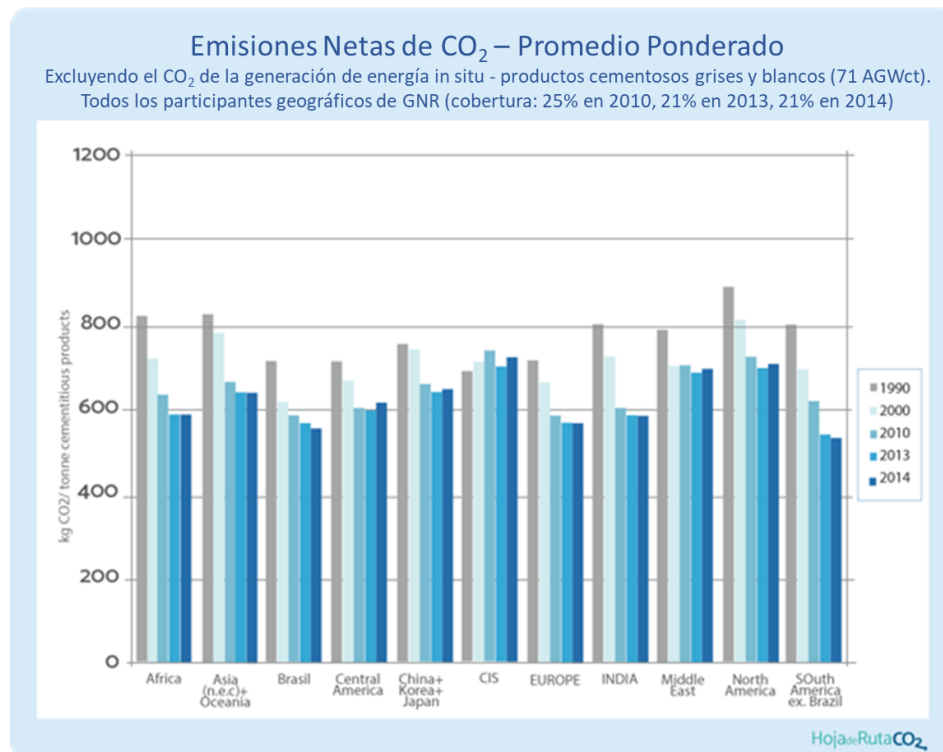
En la búsqueda por materializar esta oportunidad, en FICEM se ha generado una alianza con PwC Latam para desarrollar el protocolo que, mediante el uso de los datos existentes en GNR, genere antecedentes que los gobiernos puedan utilizar para estimar las emisiones correctas y, además, proyectar el real potencial de reducción.

Los beneficios de esta estrategia es potenciar GNR como un mecanismo público - privado al convertirse en el MRV oficial para los gobiernos, lo que asegura cuantificar correctamente las oportunidades de reducción. Además, evita asumir nuevos costos en las mediciones de CO₂eq en hornos en los cuales, sólo como referencia, medirlo en forma continua en chimenea, necesita de una inversión que puede alcanzar valores superiores a 100.000 USD. Pero además, esta medición en chimenea no valoriza los esfuerzos de reducción al incorporar, por ejemplo, biomasa y combustibles alternativos a la matriz energética, como tampoco considera otras fuentes de emisión en las plantas de cemento, como son las provenientes del uso de combustibles fuera de horno.

En la siguiente figura se puede apreciar los indicadores con los que cuenta la región, siendo la que posee la más baja intensidad de emisión en el mundo. Por lo anterior, queda de manifiesto la importancia que éstos sean los números oficiales, dado que de solicitar nuevas

reducciones (sin considerar todos los elementos expuestos) estas nuevas exigencias serían muy difíciles de lograr, o implicarán un costo adicional que pondría en riesgo la competitividad de la industria regional.

Figura 15. Ponderado de emisiones netas de CO₂ por región
Fuente. GNR 2014





Herramienta 2

Levantamiento de indicadores de desempeño técnico y de gestión

De acuerdo con los criterios del *Roadmap* de CSI y el aprendizaje de las Hojas de Ruta implementadas en otras regiones del mundo, hemos decidido contar con diez indicadores, los que aseguren mejorar nuestro desempeño en la reducción de CO₂eq, así como también

mantener una gestión proactiva para cumplir nuestros objetivos. Estos son los indicadores que seguirá FICEM como proyecto regional y tendrán sus indicadores espejo en cada país que implemente su Hoja de Ruta Local.

- 1 Nivel de participación en GNR de la región.
- 2 Cantidad de toneladas de emisión de CO₂eq por tonelada de material cementante.
- 3 Aporte de la industria a las emisiones locales y globales de la Industria.
- 4 Potencial de reducción de CO₂eq de la Industria por país.
- 5 Porcentaje de uso de residuos como energía en el coprocesamiento.
- 6 Porcentaje de uso de residuos como materias primas alternativas.
- 7 Porcentaje del factor clínker/cemento.
- 8 Aporte a las emisiones de CO₂ asociadas al transporte en la producción de cemento.
- 9 Publicación de 7 papers FICEM.
- 10 Número de Alianzas: PWC – EIA – CSI – The Nature Conservancy – Gobiernos.



Herramienta 3 Calculadora FICEM y módulo potencial de reducción

Definición

La Calculadora FICEM es un conjunto de herramientas informáticas, procedimientos y protocolos operacionales desarrollados por FICEM, que cumple los requisitos de un sistema MRV y agrega capacidades de sistema experto en la optimización multidimensional del proceso productivo

del cemento. Por ejemplo, se pueden diferenciar las emisiones de CO₂ por tipo de origen (figura 16) o visualizar los principales indicadores técnicos relacionados a las emisiones de CO₂ (figura 17 y 18)

Figura 16. CO₂ emitido por descarbonatación y energía
Fuente. Modelación de uso MRV FICEM

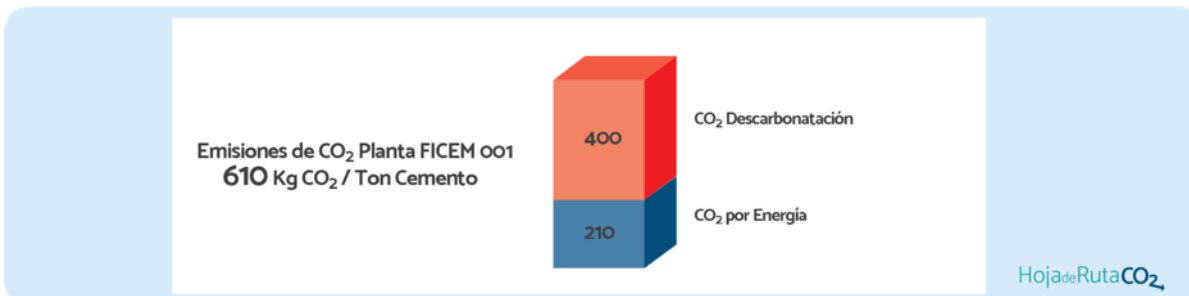


Figura 17. Factor Clínter/Cemento y coprocesamiento
Fuente. Modelación de uso MRV FICEM

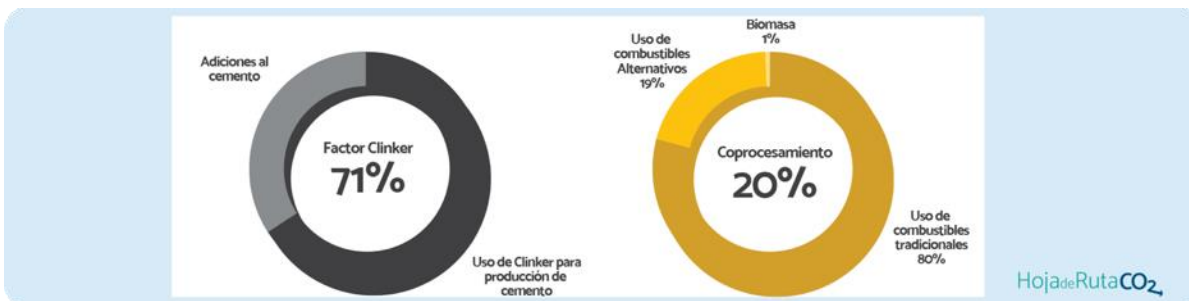
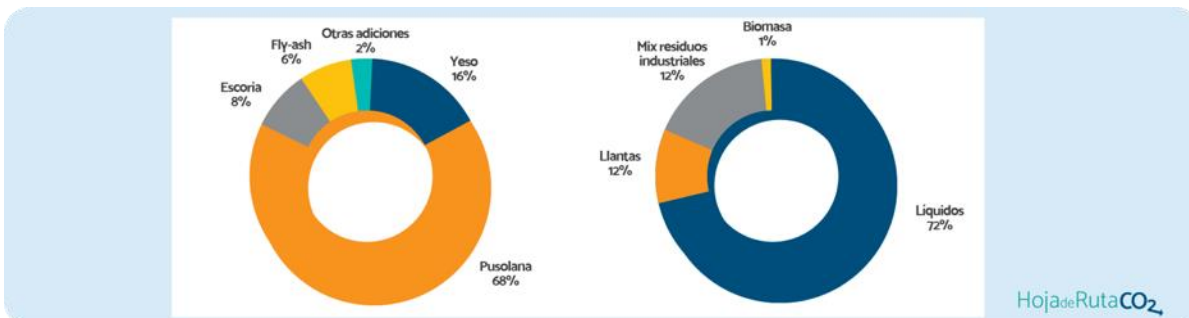


Figura 18. Participación relativa de materias primas y combustibles alternativos
Fuente. Modelación de uso MRV FICEM



Módulos de la Calculadora FICEM

El sistema está construido bajo la premisa que es posible optimizar los procesos productivos para lograr una producción baja en carbono sin afectar la rentabilidad del negocio. Para ello se cuenta actualmente con tres módulos principales:

Módulo de Cálculo e Integración de Datos: Este módulo permite: leer datos desde archivos Excel del protocolo 3.1 de CSI para una planta de cemento; consolidar (agregar) datos de distintas plantas para uno o más años a nivel de compañía, país, macrozona o región; y generar Reportes Ejecutivos y datasets para su visualización y análisis.

Módulo de Benchmarking: El *benchmarking* consiste en tomar "comparadores" o *benchmarks* de aquellos productos, servicios y procesos de trabajo que pertenezcan a organizaciones que evidencien las mejores prácticas sobre el área de interés, con el propósito de identificar las mejores prácticas y su aplicación. Para esto la calculadora integra la información de la planta/país con información proveniente de distintas fuentes, tanto de valores numéricos e indicadores, con información histórica y proyecciones.

Módulo de Potencial de Reducción: Este módulo FICEM se ha basado en la última versión del documento ECRA "Development of State of the Art-Techniques in Cement

Manufacturing: Trying to Look Ahead, Revisión 2017", desde donde se extrajo los indicadores para una planta de referencia. Dicho documento contiene, además, los resúmenes ejecutivos de una lista de 52 documentos técnicos (Technology Papers) que dan cuenta de las alternativas en distintos puntos del proceso de fabricación de cemento, que permiten reducciones en el consumo energético y la reducción asociada de emisiones de carbono directas e indirectas.

La Calculadora cuenta con un panel de control que permite ajustar la intensidad de aplicación para cada Technology Paper, para cada eje de reducción (Eficiencia Térmica, Eficiencia Eléctrica, Combustibles Alternativos y Reducción de Contenido de clínker), configurando un escenario de reducción, obteniendo inmediatamente las reducciones esperadas en emisiones directas e indirectas, consumo eléctrico y consumo térmico.

Finalmente, este módulo consolida las reducciones parciales de cada eje en una reducción total, pudiéndose comparar este resultado con políticas públicas, como pueden ser las NDC, el efecto de impuestos verdes o transferencia de emisiones.

Figura 19. Acciones dentro del proceso de Hoja de Ruta país donde interviene la calculadora





Con el objetivo de facilitar y acelerar el conocimiento para el cumplimiento de los requerimientos de mitigación y adaptación, se ha definido que: eficiencia energética, coprocesamiento, factor clínker, captura de CO₂ eq, vivienda y pavimento sostenible, infraestructura resiliente y diferencias geográficas regionales, son algunas de las temáticas que FICEM deberá desarrollar a través de sus papers, para un uso público y privado.

Esta investigación tiene como referencia la última publicación de los Papers Tecnológicos de la ECRA 2017.

El objetivo de FICEM es generar información con calidad científica, que respalde el potencial de reducción de CO₂ en la industria actual, y que, además, demuestre a las partes interesadas el potencial de reducción de CO₂ en el uso del cemento en vivienda e infraestructura resiliente.

Paper 1 Tecnología e Innovación de reducir CO₂ en la industria del cemento basado en los Papers ECRA 2017.

Se realizan las adecuaciones a la realidad de Latinoamérica para su implementación, además tendrá un módulo para una lectura íntegra de los distintos aportes de estas tecnologías bajas en carbono.

Paper 2 Uso de residuos para el coprocesamiento. Se determinarán las oportunidades y barreras para valorizar residuos como uso de energía alternativa en el cemento y, además, se sensibilizará sobre los impactos sociales que estos residuos tienen en el ambiente.

Paper 3 Uso de residuos para el reemplazo de materias primas. Este artículo avalará el alto potencial de reducción de este eje, y además, resulta ser una solución para residuos industriales, tales como: ceniza volante, escoria granulada de alto horno, entre otras. Se abordará también los marcos regulatorios que facilitan esta sinérgica solución.

Paper 4 Vivienda Sostenible en concreto. Dado que una de las principales fuentes de emisión de CO₂ es el uso de energía para el acondicionamiento térmico en viviendas y edificios, en este documento se demostrarán los atributos del cemento y concreto en la aislación e inercia térmica, los que generan relevantes ahorros de energía y reducción en las emisiones de CO₂ asociadas. También se incorporan los atributos para la adaptación al cambio climático que el cemento y concreto generan, como materia líder en resiliencia.

Paper 5 Pavimentos Resilientes en Concreto. En este documento se demuestran las reducciones de CO₂ de pavimentos en concreto vs. asfalto, debido al ahorro de combustibles en transporte, vida útil y menor efectos térmicos en ciudades.

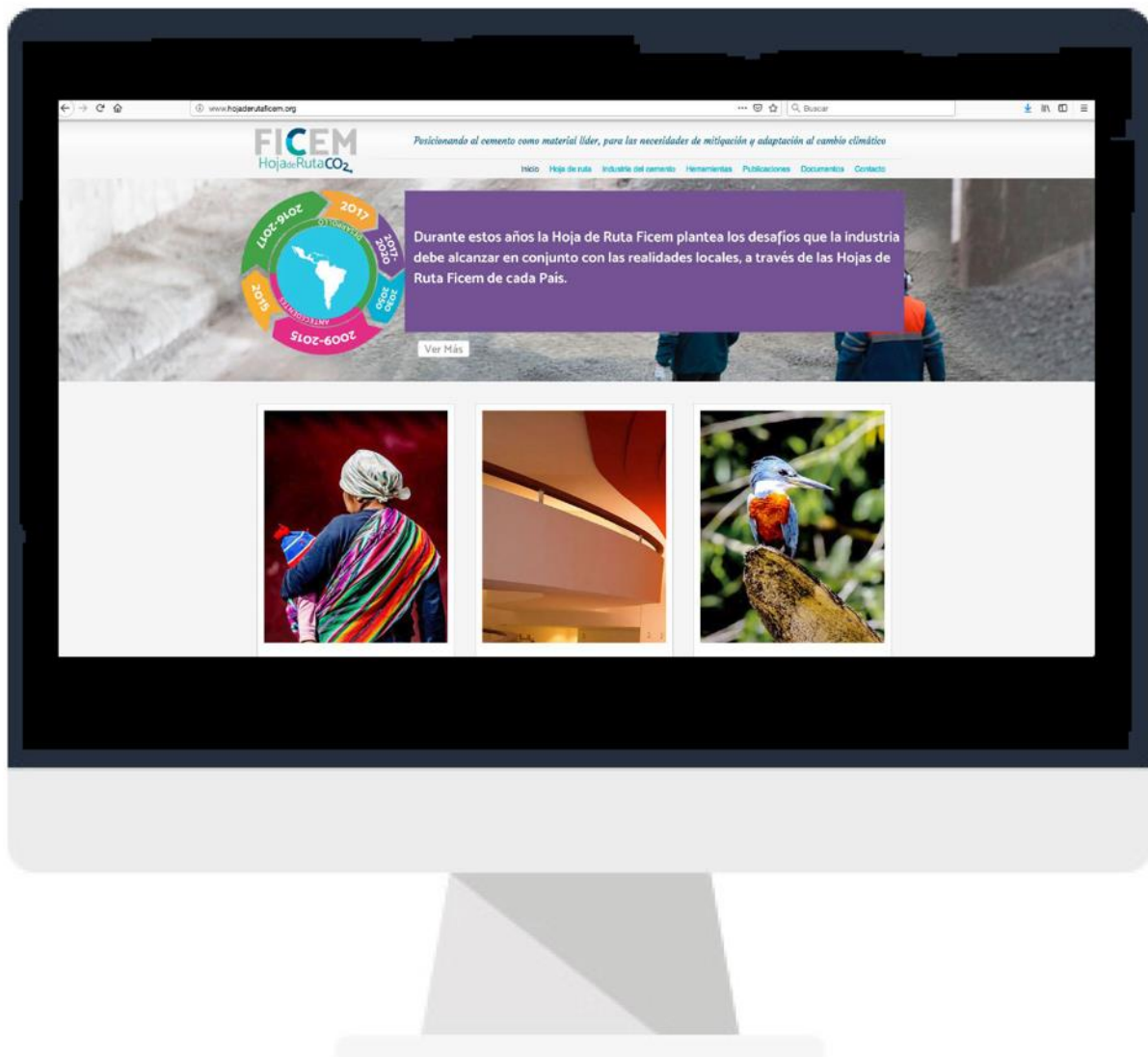
Paper 6 Transportes Sostenibles de Materias Primas y Productos. Consolidación de mejores prácticas logísticas en el transporte de: calizas, puzolanas, residuos y cemento, cuyos ahorros en combustibles, generan una reducción asociada en emisiones de CO₂ por uso de combustibles.



Herramienta 5 Centro de Información Virtual

Con el objetivo de contar con una fuente oficial donde se respalde toda la documentación utilizada para la elaboración de esta Hoja de Ruta, FICEM desarrolló el Centro de Información Virtual, una plataforma de información y de interacción, en la cual se encuentran, por ejemplo, las Hojas de Ruta de CSI, Europa, Egipto e India, como también información relacionada a la COP

21, IPCC, CEPAL, entre otras. Una vez validada la Hoja de Ruta FICEM y sus versiones locales, los documentos estarán disponibles en esta plataforma. Esta plataforma también contará con canales de comunicación para resolver requerimientos más complejos de información de los usuarios.



3.3

Acuerdos y alianzas FICEM

Tal como lo plantea el objetivo 17 de los ODS (Revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible), es necesario fortalecer y revitalizar la acción colaborativa entre los distintos actores, mediante la construcción de alianzas, trabajo asociativo y cooperación mutua.

Para el objetivo de contar con un MRV que logre ayudar a los países a entender las fuentes y tendencias de emisiones, diseñar estrategias de mitigación, mejorar la credibilidad y tomar otras medidas de política pública, FICEM ha generado una alianza estratégica con la empresa PwC para la transparencia en la verificación de la información; ha impulsado la asociatividad mediante los acuerdos con las compañías, institutos y otras asociaciones gremiales de cemento para la elaboración de Hojas de Rutas locales; acompaña a la Industria Local en sus diálogos con los gobiernos respectivos, siendo esto una cooperación real para la Industria, la comunidad y la gobiernos en los esfuerzos por llevar a cabo acciones climáticas consistentes.

Para este desafío ha sido necesario contar con instrumentos comunes para una región diversa, por lo que, durante la discusión de los documentos legales, se incluyeron las visiones de los distintos actores, incorporando elementos valiosos que permitieron enriquecer los Acuerdos y el Protocolo FICEM. Tener instrumentos comunes da cuenta de un trabajo regional mancomunado, demostrando que existen criterios y preocupaciones compartidas.

Tres son los documentos legales principales:

Protocolo sMRV FICEM

El cual detallamos en el Capítulo II, y que es el procedimiento mediante el cual los países y compañías entregan sus números a través de una entidad externa de validación (PwC), para que sean procesados y consolidados a través del denominado sMRV FICEM y su

calculadora, lo cual permite, como ya se ha señalado, contar con información consolidada, ponderada y reportes robustos para la toma de decisiones. Además, este documento es anexo y obligatorio, tanto para el Acuerdo para la Elaboración de Hoja de Ruta, como para el Acuerdo FICEM PwC.

Acuerdo para la Elaboración de HR

Es el celebrado entre FICEM y el país o compañía adherente. Este acuerdo fija todos los pasos para elaborar en forma colaborativa la Hoja de Ruta local, determinando las responsabilidades de las partes involucradas. Además, establece las reglas de confidencialidad que amparan y resguardan las informaciones de cada compañía. Del mismo modo, se establecen los límites de intercambio de información que sólo abarca aspectos medioambientales y técnicos.

El principal objetivo del Acuerdo es que FICEM, a través de los equipos que designe, prestará su apoyo en la elaboración de la Hoja de Ruta para el País Adherente. Este apoyo se expresa en dar soporte o prestar servicios complementarios al objetivo indicado, lo cual es cubierto por las acciones y actividades que se indican. La responsabilidad final en la elaboración de la Hoja de Ruta es del País Adherente.

El apoyo en la elaboración se hará en el marco de la denominada Hoja de Ruta FICEM aprobada en las Asambleas de Presidentes 2016 y 2017 de FICEM.

Acuerdo FICEM - PWC

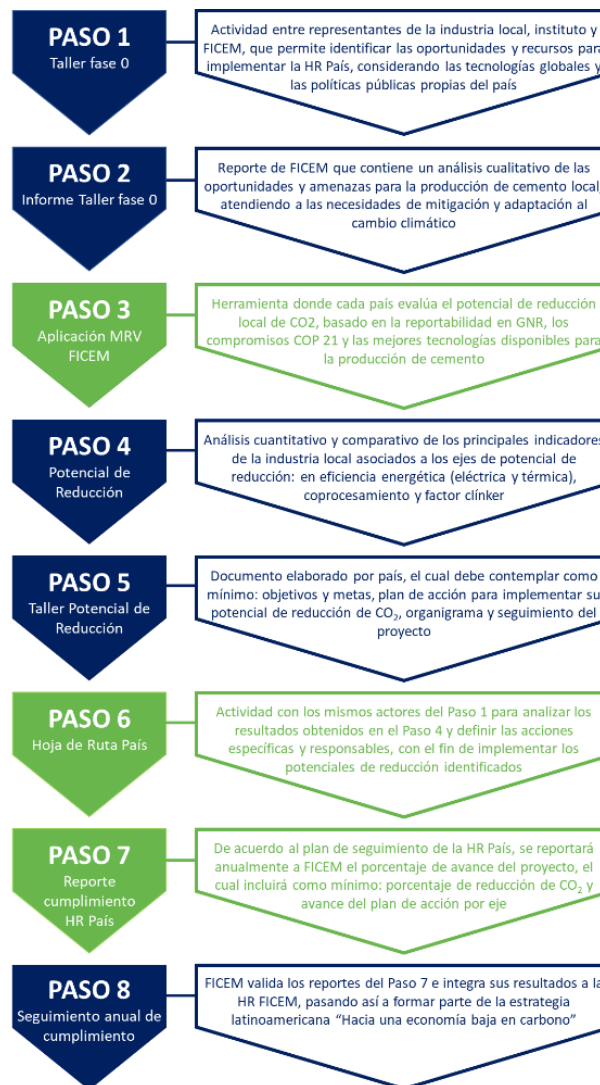
Celebrado el 24 de abril del año 2018, es una alianza que acuerda la verificación externa del Protocolo del sMRV FICEM, donde se fija el procedimiento, confidencialidad y reserva de la información. Esta alianza es de suma importancia para la transparencia de este proceso.

3.4

Metodología y seguimiento de HR por país

Con el fin de facilitar el proceso de elaboración y seguimiento de las Hojas de Ruta por país, FICEM ha definido un método de 8 etapas: “Pasos 1 al 8”. Los Pasos 1 al 6 corresponden a la implementación, y los Pasos 7 y 8 corresponden al seguimiento de cada Hoja de Ruta.

A continuación, se detalla cada paso. Aquellos pasos destacados con azul son de responsabilidad de FICEM y los destacados en color verde son de responsabilidad de la industria.



PASO 1

Realizar Taller Fase 0 por país

El Taller Fase 0 se lleva a cabo con la participación de los institutos, asociaciones e industrias del país, además de FICEM. La coordinación, agenda e invitaciones del taller se realiza por parte de los entes locales y FICEM es el responsable de liderar su implementación. La duración de esta actividad es de un día y medio. Además, este taller considera las políticas FICEM con respecto a actividades de la industria, siendo los temas tratados solo relacionados al proyecto hoja de ruta FICEM país. Participan en las actividades representantes de las áreas de medioambiente, operaciones y comunicaciones, como mínimo.

El objetivo de este taller es dar a conocer en detalle el proyecto de Hoja de Ruta FICEM, identificar los requerimientos locales en la materia como son: NDC, NAMA, MDL, entre otros. Además, se analiza la información disponible en lo que se refiere a la responsabilidad de GNR en el país, mediante el análisis de brecha entre las oportunidades y desafíos que la industria tiene con respecto a la mitigación y adaptación requerida por el país. En específico, se evalúa la oportunidad y alcance de implementar una Hoja de Ruta país, se definen los potenciales recursos, las metas y los objetivos de dicho proyecto. Esta información es evaluada por parte de la dirección local, con el fin de determinar si corresponde implementar la Hoja de Ruta, los plazos de implementación, los recursos requeridos y los entregables asociados.

PASO 2

Informe, evaluación Fase 0 FICEM/País

Este informe se elabora en conjunto con FICEM y la industria local. En él se plasman los antecedentes y conclusiones principales asociadas al Taller Fase 0. El contenido mínimo de este informe es el siguiente: reporte de indicadores relevantes para la toma de decisiones, estadísticas de reportabilidad GNR, indicadores de eficiencia energética, uso de residuos en la industria y factor clínker, indicadores de referencia asociados a otros proyectos de Hoja de Ruta, políticas públicas del país (ej.: metas de reducción de emisiones de CO₂eq, requerimientos de adaptación y mitigación) e impuestos verdes. También se incluye un análisis de brecha cualitativo entre los indicadores locales y las referencias internacionales, dentro de los cuales se destacan:

- Producción de cemento local, kilogramos de CO₂eq por tonelada de cemento producida.
- Aportes de la industria local a la producción mundial de cemento.
- Aportes de la industria local a las emisiones totales del país.
- Potencial cualitativo de uso de residuos y eficiencia energética.
- Publicaciones asociadas a mitigación y adaptación al cambio climático.
- Propuesta de pasos a seguir.
- Conclusiones y recomendaciones.

PASO 3

Aplicación de la sMRV FICEM por país

Posterior a la realización del Taller Fase 0, y previo a la realización del Taller de análisis del potencial de reducción de CO₂eq por país, la industria local reúne la información relativa a reportes remitidos a GNR, en forma desagregada y/o consolidada, para incorporar estos datos a la calculadora. Con estos antecedentes se corre el modelo, con lo cual se analizan los potenciales de reducción por cada uno de los ejes establecidos por CSI, se comparan los niveles de desempeño con las distintas hojas de ruta existentes, y se determinan las principales oportunidades de reducción. Lo indicado es la base para construir las estrategias para implementar el potencial de reducción de CO₂eq en la industria local. Además, la calculadora entrega información comparativa de las trayectorias de reducción definidas en las distintas estrategias de la industria del cemento, pudiendo visualizar así el desempeño actual del país y los desafíos futuros en la materia.

Dentro de los reportes que genera esta herramienta se puede considerar un reporte específico para las autoridades locales, el que puede llegar a cumplir los requisitos de un MRV. Además, esta calculadora cuenta con un módulo para aplicar los potenciales de reducción específicos de cada uno de los papers publicados por ECRA, con lo que se puede realizar, con respecto a los datos existentes, un análisis proyectado de las oportunidades, inversiones y costos para las reducciones posibles de CO₂eq por planta y por país.

PASO 4

Informe de Potencial de reducción por país

Basado en el trabajo realizado entre la industria y FICEM, y en la aplicación de la calculadora FICEM en forma local, se elabora un informe del nivel de cumplimiento del país de las emisiones de la industria local vs CSI y las otras hojas de ruta existentes. Este informe cuenta con el reporte de emisiones específica asociada a uso de energía y descarbonatación de la caliza. Además, se realiza un análisis comparativo entre el potencial de reducción y las políticas públicas existentes.

PASO 5

Taller Potencial de reducción y Plan de Acción HR País

Al igual que el Taller Fase 0, este taller es coordinado por la industria local en conjunto con FICEM, y cumple con todas las políticas FICEM asociadas.

En este taller se revisan los resultados de haber implementado la calculadora FICEM en el país y se realizan los análisis por eje de los potenciales de reducción asociados. Esto significa evaluar las oportunidades de mejora en eficiencia energética, el uso de residuos como energía y materias primas, la reducción del factor clínker, y la captura y uso de CO₂, a fin de determinar los reales potenciales de reducción. Además, se proyecta la implementación de las oportunidades identificadas, con el objetivo de generar las posibles trayectorias de reducción de la industria.

También se considera, en este taller, los potenciales de reducción asociados al uso del cemento, como las reducciones que genera el cemento en vivienda, carreteras e infraestructura, enmarcando estas medidas en las necesidades de mitigación y adaptación nacionales. Basado en las oportunidades de reducción, se elabora un Plan de Acción que considere superar las barreras para la implementación de las reducciones determinadas; es decir, definir las oportunidades tecnológicas, legislación, disponibilidad de recursos, entre otras, las que podrán materializar las mejoras asociadas. Además, este plan determina los responsables de recursos y plazos en los que se aborden las acciones y tareas identificadas durante el taller, las que son la base estructural de la Hoja de Ruta del país.

PASO 6

Hoja de Ruta por País

Con los resultados en los talleres ya realizados se deberá elaborar, en formato FICEM, el plan de acción denominado Hoja de Ruta FICEM - País, el que considera las acciones locales para reportabilidad en GNR, potencial de reducción y oportunidades de mejora, indicadores relevantes, desarrollo de investigación asociada y estrategia para contribuir a las acciones de adaptación y mitigación del país. La hoja de ruta local cuenta con un organigrama en el que se identifique claramente: el Comité Ejecutivo Hoja de Ruta, el Líder del proyecto Hoja de Ruta, el comité técnico, el líder técnico de Hoja de Ruta, y el Rol de FICEM en la Hoja de Ruta del país.

Comité ejecutivo Hoja de Ruta: lo integrarán directores de institutos y/o asociaciones y altos ejecutivos de la industria que participan en el proyecto. Su función es aprobar la Hoja de Ruta y sus distintas etapas de avance, además de asegurar los recursos necesarios para su implementación. Este comité debe, como mínimo, sesionar una vez al año y/o cuando existan cambios significativos del proyecto. **Líder del proyecto hoja de ruta:** de existir instituto y/o asociación, este rol recae, de preferencia, en la alta dirección del Instituto y/o asociación del país, dado sus propias competencias.

PASO 7

Reporte de Cumplimiento HR

Es un reporte periódico del cumplimiento, seguimiento y avances de los distintos objetivos y metas establecidos en el Planes de Acción de las Hojas de Rutas, siendo responsabilidad del país, con el apoyo de FICEM. Este documento tiene los siguientes contenidos mínimos: a) seguimiento del cumplimiento país de los 10 indicadores relevantes de la Hoja de Ruta FICEM; b) grado de avance del Plan de Acción y sus actualizaciones; C) antecedentes que respalden los cumplimientos y la definición de nuevos compromisos que hayan cambiado el Plan de Acción o hayan modificado las metas establecidas. La periodicidad del reporte es anual (mínimo) y será entregado en julio de cada año, con los avances a la fecha indicada, para luego ser consolidado por FICEM para ser presentado a la Asamblea de Presidentes.

PASO 8

Seguimiento anual de cumplimiento HR FICEM

FICEM valida los reportes de cumplimiento del paso 7 e integra sus resultados a la HR FICEM, pasando así a formar parte de la estrategia latinoamericana “hacia una economía baja en carbono”.

4

México y el Cambio Climático

En el presente capítulo se revisan antecedentes generales de México como su contexto, su especial vulnerabilidad al cambio climático, además de sus compromisos internacionales en estas materias. Todo esto, con el objetivo de conocer los antecedentes locales

que dan el contexto y marco para las distintas decisiones y acciones que son el contenido del esta HR y su Plan de Acción.



Imagen: Cortesía ONU. UN Photo / Evan Schneider

4.1

Contexto

México, oficialmente los Estados Unidos Mexicanos, es un país ubicado en la parte meridional de América del Norte; su capital y ciudad más poblada es la Ciudad de México. Su forma de gobierno consiste en una república compuesta por 32 entidades federativas (31 estados y la capital federal). El territorio mexicano tiene una superficie de 1.964.375 km², por lo que es el decimotercer país más extenso del mundo y el tercero

Geografía

El relieve mexicano se caracteriza por ser muy accidentado y alojar múltiples volcanes. Por su geomorfología, el país se divide en 15 provincias fisiográficas. El territorio es recorrido por las sierras Madre Oriental y Madre Occidental, que son una prolongación de las Montañas Rocosas. Los accidentes geográficos más visibles del territorio mexicano son la península de Baja California, en el noroeste, y la península de Yucatán, al oriente. La que corresponde a una plataforma de piedra caliza casi completamente llana. La parte norte es más árida y más baja que la sureña. En ella se localizan el desierto de Chihuahua y el semi desierto de Zacatecas. Al sur de las serranías

Economía

En cuanto a su economía, México, como país en desarrollo de renta media, cuenta con un PIB en el segundo trimestre de 2021 de 302.545 millones de dólares, con lo que México se sitúa como la economía número 14 en el ranking de PIB trimestral, y una tasa de crecimiento del PIB anual del 5%, al 2021, y del 3% proyectada al 2022 (Banco Mundial).

Existen dos importantes motores en la economía mexicana: el consumo interno y la exportación de bienes a EEUU.

En México, las actividades económicas se clasifican de la siguiente manera: actividades primarias, actividades secundarias y actividades terciarias.

Actividades primarias: ganadería, pesca, caza, selvicultura, agricultura, y minería.

Secundarias: industrias manufactureras, generación y distribución de agua, electricidad y gas.

más grande de América Latina. Limita al norte con los Estados Unidos de América a lo largo de una frontera de 3.155 km, mientras que al sur tiene una frontera de 958 km con Guatemala y 276 km con Belice. Las costas del país limitan al oeste con el océano Pacífico y al este con el golfo de México y el mar Caribe.

transversales se encuentra la fértil región del Bajío y numerosos valles de tierra fría o templada, en esta mitad sur del altiplano se concentra la mayor parte de la población mexicana. Repartidas en su mar territorial se hallan numerosas islas, entre las que destacan los archipiélagos de Revillagigedo y las islas Marías, en el Pacífico; las de Guadalupe, isla del Carmen, frente a la península de Baja California y la costa de Sonora; y las de Ciudad del Carmen, Cozumel, y el arrecife Alacranes, en la cuenca atlántica.

El territorio es recorrido por las sierras Madre Oriental y Madre Occidental, que son una prolongación de las Montañas Rocosas.

Actividades terciarias: actividades gubernamentales, transporte y almacenamiento, bienes raíces, comercio al por menor, actividad judicial, servicios de salud, servicios y seguros financieros, medios de comunicación, servicios educativos, telecomunicaciones, hoteles y restaurantes. Todas estas actividades generan riqueza, pero la magnitud de ésta depende de múltiples factores propios de cada labor. Habitualmente las actividades terciarias son más rentables, aunque la actividad económica dependerá siempre del grado de desarrollo del país.

La economía mexicana está orientada principalmente hacia la exportación; mayormente sus acuerdos existen bajo tratados de libre comercio (FTA). La fuerza laboral mexicana está integrada por al menos 52.8 millones de personas y se enfocan mayormente en ciertas actividades.

Industria de combustibles

México es el sexto productor de combustible en el mundo; Pemex administra la investigación, exploración y ventas del petróleo mexicano. Con ganancias de 130

billones de dólares, esta empresa es una de las productoras de crudo más grandes del mundo.

Minería

Especialmente en la extracción de plata para su exportación, la minería mexicana representa un campo de actividad económica muy importante.

Las cementeras mexicanas han tenido un buen desempeño a pesar de la emergencia sanitaria, según la Cámara Nacional del Cemento (CANACEM), que agrupa a los seis principales productores de cemento y concreto:

Cemento Cruz Azul, Cementos Fortaleza, Cementos Moctezuma, Cemex, GCC y Holcim.

En enero de este año, según datos del instituto de estadísticas INEGI, la industria produjo 4,2 millones de toneladas, 533.000t superior al de 2020 y 669.000t por encima del de 2019. El volumen de producción total del año pasado alcanzó 56Mt, 24,4% más que en 2019, un máximo de cinco años.

Infraestructura

La infraestructura es en sí un medio para garantizar la generación de bienes y servicios, los cuales promuevan y permitan un bienestar social, un desarrollo sostenible y la creación de fuentes de empleo, tanto a un nivel local como a uno nacional.

En el caso de México, y antes de que la emergencia sanitaria a consecuencia del COVID-19 estallara, se dio a conocer que este país ocupa el lugar 48 entre 141 naciones evaluadas, esto según el Índice de Competitividad Global 2019, publicado por el Foro Económico Mundial. En comparación con el año anterior (2018), nuestro país descendió dos posiciones.

Asimismo, el gobierno federal también presentó el Acuerdo Nacional de Inversión en Infraestructura. Un

plan en el que se contempla la participación de la iniciativa privada en 147 proyectos a lo largo del país.

Las obras se encuentran clasificadas en distintos sectores, y la mayoría son de transporte y desarrollo de carreteras, por ejemplo, se habla de 42 obras de infraestructura carretera, 8 de ferrocarriles o trenes suburbanos, 29 aeropuertos y 12 de agua y saneamiento.

El objetivo principal de dicho Acuerdo es que el gobierno facilite y acelere la puesta en marcha de proyectos que contribuyan al crecimiento y desarrollo del país. Se busca alcanzar una inversión anual en infraestructura de 5% del PIB.

4.2

México y el Cambio Climático

Vulnerabilidad al Cambio Climático

Las proyecciones indican que México sufrirá una disminución significativa en las precipitaciones anuales y aumentos en las temperaturas. Esto ejercerá presión sobre la economía, las personas y la biodiversidad de muchas partes del país, que tienen grandes climas áridos o cálidos. El cambio climático ya ha afectado la agricultura, la biodiversidad y los medios de vida de los agricultores, lo que ha empujado la migración. También se han visto afectadas "el agua, la salud, la contaminación del aire, la interrupción del tráfico por inundaciones y la vulnerabilidad de las viviendas a los deslizamientos de tierra".

Los patrones de precipitación alterados y el aumento de las temperaturas han llevado a la inseguridad económica en México, particularmente para los pequeños agricultores que producen los cultivos de México económica y culturalmente importantes: maíz y café. Los impactos del cambio climático son especialmente severos en la Ciudad de México debido al aumento de la contaminación del aire. Los impactos ecológicos del cambio climático dentro de México incluyen reducciones en la conectividad del paisaje y patrones migratorios cambiantes de los animales. Además, el cambio climático en México está vinculado al comercio mundial y los procesos económicos que se relacionan directamente con la seguridad alimentaria mundial.

En 2012, México aprobó un proyecto de ley integral sobre cambio climático que estableció el objetivo de que el país genere el 35% de su energía a partir de fuentes de

energía limpia para el 2024 y reduzca las emisiones en un 50% para el 2050, tomando como nivel base las emisiones del 2000. Durante la Cumbre de Líderes de América del Norte de 2016, se anunció el objetivo de que el 50% de la electricidad sea generada a partir de fuentes renovables para 2025. Se han implementado varios esfuerzos de mitigación climática en todo el país. México es considerado un país líder en mitigación y adaptación climática.

Los procesos de pérdida y degradación de bosques se atribuyen a diferentes causas: la ampliación de la frontera agrícola, la colonización (principalmente ganadería), los cultivos ilícitos, la minería, los incendios forestales, la ampliación de infraestructura, la urbanización y la extracción de madera (Minambiente, PNUD, 2014).

El cambio climático es una preocupación crítica en México, particularmente en relación con la agricultura. Las tendencias de sequía y aumento de la temperatura están alterando y cambiando las zonas climáticas y los entornos agrícolas en todo el mundo, y México no es una excepción. Según el Banco Mundial, "la agricultura (en México) es altamente vulnerable a las condiciones climáticas extremas, en particular en las partes del norte del país, donde la escasez de agua es un problema, o en las partes del sur del país, donde las tormentas tropicales causan grandes daños a los cultivos"

Emisiones de CO₂

México presenta a continuación su estimación de las emisiones correspondientes al año 2013 en los principales sectores de la economía nacional. Los sectores analizados son: generación eléctrica; petróleo y gas; fuentes móviles de autotransporte y no carreteras; industria; agropecuario; uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura (USCUSS); residuos, residencial y comercial.

En México, las emisiones totales de GEI en 2013 fueron de 665,3 Mt de CO₂e, es decir las emisiones resultantes de las actividades de los distintos sectores, sin incluir las

absorciones por las permanencias de USCUSS. Las emisiones netas, al incluir las absorciones por permanencias, fueron de 492,3 Mt de CO₂ equivalente (CO₂e) (ver Tabla 3). Fuente: Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 2013; INEGYCEI

Tabla 3. Emisiones de GEI año 2013 (Gg CO₂e)

Emisiones totales de GEI (Gg de CO ₂ e)								
Total: 665,304.92								
Sectores	Total GEI	Participación sectorial	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆
Fuentes móviles	174,156.53	26.2%	169,863.14	273.16	1,334.66	2,685.58		
Generación eléctrica	126,607.66	19%	125,966.81	110.29	530.56			
Residencial y comercial	25,639.35	3.9%	23,028.00	2,281.06	330.28			
Petróleo y gas	80,455.26	12.1%	49,510.60	30,944.66				
Industria	114,949.19	17.3%	97,864.44	9,910.30	518.70	6,464.06		191.69
Agropecuario	80,169.09	12%	376.99	54,620.30	25,171.79			
Residuos*	30,902.99	4.6%	1,630.11	27,391.44	1,881.44			
USCUSS**	32,424.86	4.9%	31,461.60	633.51	329.75			
Emisiones totales	665,304.92	100%	499,701.68	126,164.73	30,097.18	9,149.64		191.69
Participación por gas (emisiones totales)	100%		75.1%	19%	4.5%	1.37%	0.0%	0.03%
Permanencias USCUSS ***	-172,997.61	100%	-172,997.61					
Emisiones netas	492,307.31	100%	326,704.07	126,164.73	30,097.18	9,149.64		191.69
Participación por gas (emisiones netas)	100%		66.4%	25.6%	6.1%	1.86%	0.0%	0.04%

Notas:
 La suma de los parciales puede no coincidir con los totales debido al redondeo de las cifras.
 Los Potenciales de Calentamiento Global (PCG100) empleados en este cálculo para los GEI corresponden al Quinto Informe de Evaluación del IPCC (ARS, por sus siglas en inglés) (IPCC, 2013).
 Las celdas vacías significan que no hay emisión de este contaminante (o absorción de CO₂).
 * Incluye RSU y residuos peligrosos, así como tratamiento y eliminación de aguas residuales.
 ** Incluye las absorciones de tierras convertidas a tierras forestales.
 *** Incluye las permanencias de las tierras forestales, pastizales y tierras agrícolas.

Petróleo y gas

En el sector de petróleo y gas se reportan las emisiones por la producción, transporte, distribución, procesamiento y uso de hidrocarburos en el país. Los datos de actividad derivan de información de Petróleos Mexicanos (Pemex) y del Sistema de Información Energética (SIE). Se estimaron las emisiones de CO₂ y CH₄ por la quema de combustibles que emplean distintos

equipos de combustión; se incluye también un estimado de las fugas de CO₂ y CH₄ provenientes de los procesos de producción, quema, venteo y distribución de hidrocarburos. En 2013 el sector petróleo y gas emitió 80,4 Mt de CO₂e que representó el 12.1% de las emisiones totales de GEI a nivel nacional.

Industria

En el sector industria se reportan las emisiones por el uso de combustibles fósiles, las emisiones de GEI de algunos procesos industriales que las generan, a partir de la transformación de materias primas mediante procesos químicos y físicos, y emisiones fugitivas por el minado y manejo de carbón (minería). Entre los subsectores que generan más emisiones en el sector industria se encuentran los del cemento, siderúrgica y química. Para la estimación de las emisiones fugitivas de minería se utilizaron los datos históricos del Balance Nacional de Energía (BNE).

Se consideraron los datos de actividad reportados por las empresas de jurisdicción federal en la Cédula de Operación Anual (COA) 2013, a la Semarnat. Dicha información se complementó con la del SIE de la Secretaría de Energía (Sener). En el caso de la industria de los minerales, se obtuvo mayor información sobre las materias primas utilizadas en la producción de cemento

y cal, y sobre el uso de carbonatos como caliza y dolomita. Para la estimación de las emisiones fugitivas de minería se utilizaron los datos históricos del BNE.

Los datos de actividad del tipo de combustible en el sector industrial, para el cálculo de los inventarios anteriores, así como en la actualización de la serie histórica, fueron los reportados en el BNE. Sin embargo, en el inventario 2013 se utilizó el consumo de combustible reportado en la COA, por tipo de combustible, planta y equipo para aproximadamente 2,000 establecimientos correspondientes a los sectores de jurisdicción federal, así como el BNE para lo restante. Para la industria de los minerales se utilizó información por planta, reportada en la COA, sobre las entradas de carbonatos al horno de materias primas carbonatadas. Para las emisiones de SF₆, se incorporó la información del uso, proporcionada por la subdirección de distribución de la CFE.

Uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura

En el sector USCUS se reportan las emisiones y absorciones por los cambios de los siguientes usos del suelo: tierras forestales, pastizales, tierras agrícolas, asentamientos (parcialmente) y otras tierras; además de las absorciones por las permanencias de tierras forestales, pastizales y tierras agrícolas. Los depósitos cuantificados son la biomasa viva (aérea y raíces) y suelos minerales, así como las emisiones por incendios en tierras forestales y pastizales.

Se presentan las emisiones y absorciones de CO₂ como consecuencia de los cambios y permanencias; así como

las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O por incendios forestales. En 2013, las emisiones del sector USCUS fueron de 32,4 Mt de CO₂e, que representa el 4.9% del total de las emisiones. Así las emisiones por tierras convertidas a pastizales, a asentamientos y a otras tierras, así como por incendios que en total contribuyeron con 45,0 Mt de CO₂e, mientras que las tierras convertidas a tierras forestales capturaron un total de 12,5 Mt de CO₂.

Residuos

Este sector incluye las emisiones de RSU y peligrosos, así como del tratamiento y eliminación de aguas residuales municipales e industriales. En 2013 las emisiones totales

de este sector fueron de 30,9 Mt de CO₂e, de los cuales 21,4 Mt de CO₂e se asumen a RSU y peligrosos y 9,4 Mt de CO₂e por las aguas residuales

Sólidos urbanos y peligrosos

En este subsector, se reportan las emisiones de CH₄ provenientes de la disposición final de RSU; las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O de la quema a cielo abierto e incineración de residuos peligrosos; y CH₄ y N₂O del tratamiento biológico.

Para el inventario 2013 se estimaron las emisiones de cada uno de los sitios de disposición final (rellenos

sanitarios, sitios controlados y tiraderos a cielo abierto) con el Modelo Mexicano de Biogás, y se consideró la cantidad de reciclaje estimada de acuerdo con los registros nacionales de disposición final y la composición de los RSU.

En el caso de la incineración de residuos peligrosos, se utilizó la información de combustibles, cantidad de

residuos peligrosos y características específicas de cada planta incineradora. Finalmente, para el tratamiento biológico, se usaron datos específicos de las plantas de

composta: cantidad de residuos composteados, fecha de inicio de operaciones y capacidad de la planta

Reporte de emisiones

Las emisiones del sector industria fueron de 114,9 Mt de CO₂e, conformados por 64,1 Mt de CO₂e (55.7%) por consumo de combustibles fósiles y 50,8 Mt de CO₂e (44.3%) por procesos industriales y emisiones fugitivas del minado y manejo del carbón (minería). Ver Tabla 4. Fuente: Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 2013; INEGYCEI.

Las principales emisiones en este sector corresponden al cemento (26.3%), con 9,7 Mt de CO₂e por consumo de combustibles fósiles, y 20,5 Mt de CO₂e por procesos industriales. Posteriormente, se encuentra la industria siderúrgica (20.7%) con 15,0 Mt de CO₂e por consumo de combustibles fósiles y 8,7 Mt de CO₂e por procesos industriales.

Tabla 4. Emisiones de GEI (Gg de CO₂e) del sector industrial en 2013

Emisiones de GEI del sector industria (Gg de CO ₂ e)							
Total: 114,949.19							
Subsector	Total GEI	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆
Consumo de combustibles							
Cemento	9,715.76	9,674.83	3.26	37.66			
Cal	931.35	928.58	0.78	1.99			
Siderúrgica	15,008.92	14,982.08	6.82	20.02			
Química	7,991.93	7,967.18	6.48	18.28			
Otras industrias	30,430.00	29,890.79	247.45	291.76			
Subtotal	64,077.96	63,443.46	264.80	369.71			
Procesos Industriales							
Cemento	20,508.89	20,508.89					
Cal	3,281.93	3,281.93					
Siderúrgica	8,783.47	8,783.47					
Química	228.71	12.99	66.73	148.99			
Consumos de otros carbonatos	1,833.69	1,833.69					
Producción de halocarbonos	2,402.91				2,402.91		
Consumo de halocarbonos* y SF ₆	4,252.84				4,061.15**		191.69
Minería ***	9,578.77		9,578.77				
Subtotal	50,871.23	34,420.98	9,645.51	148.99	6,464.06		191.69
Total	114,949.19	97,864.44	9,910.30	518.70	6,464.06		191.69

4.3

Políticas Climáticas

El Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) publicó en junio de 2018 “Guía de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima CAF 2018”,¹⁴ el cual señala:

La adaptación de las carreteras a la variabilidad y cambio climáticos tiene como objetivo prever los efectos adversos del clima y tomar las medidas adecuadas para evitar o minimizar los daños que puedan causar, con el fin de reducir costos futuros y maximizar la rentabilidad de las inversiones. Estas medidas de adaptación deben enfocarse tanto a corto como a medio y largo plazo, y complementarse con herramientas de gestión

ambiental, de planificación y de gestión de riesgo de desastres.”

Además, en este documento se muestran los distintos niveles de avance en el establecimiento de políticas climáticas en América Latina y El Caribe. En la Tabla 5 se puede apreciar que México cuenta con Legislación, la cual corresponde a la Ley General de Cambio Climático, Ley General de Salud, Estrategia Nacional de Cambio Climático, Programa especial de Cambio Climático, Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional (NDC) y las Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMAS).

Política Nacional de Cambio Climático: Marco regulatorio

El principal instrumento de política con que cuenta el país para enfrentar el cambio climático es la Ley General de Cambio Climático (LGCC).

Este ordenamiento tiene como objetivo regular, fomentar y posibilitar la instrumentación de la política nacional de cambio climático e incorpora acciones de adaptación y mitigación con un enfoque de largo plazo, sistemático, descentralizado, participativo e integral.

La LGCC determina de manera clara el alcance y contenido de la política nacional de cambio climático, define las obligaciones de las autoridades del Estado y las facultades de los tres órdenes de gobierno, además establece los mecanismos institucionales necesarios para enfrentar este reto. Conforme a la Ley, la federación es la encargada de formular y conducir la política nacional de cambio climático de acuerdo con principios

claramente definidos, entre los que destaca de manera relevante la corresponsabilidad social.

En la formulación de la política nacional de cambio climático se observarán, entre otros, los principios de: Sustentabilidad en el aprovechamiento o uso de los ecosistemas y los elementos naturales que los integran; corresponsabilidad entre el Estado y la sociedad en general, en la realización de acciones para la mitigación y adaptación a los efectos adversos del cambio climático; prevención, considerando que ésta es el medio más eficaz para evitar los daños al medio ambiente y preservar el equilibrio ecológico ante los efectos del cambio climático; adopción de patrones de producción y consumo por parte de los sectores público, social y privado para transitar hacia una economía de bajas emisiones en carbono.

¹⁴ Banco de Desarrollo de América Latina, CAF, “Guía de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima CAF”, 2018.

La política nacional de mitigación de Cambio Climático deberá incluir, a través de los instrumentos de planeación, política y los instrumentos económicos previstos en la presente ley, un diagnóstico, planificación, medición, monitoreo, reporte, verificación y evaluación de las emisiones nacionales. Esta política deberá establecer planes, programas, acciones, instrumentos económicos, de política y regulatorios para el logro gradual de metas de reducción de emisiones específicas, por sectores y tomando como referencia los escenarios de línea base y líneas de base por sector que se establezcan en los instrumentos previstos por la presente Ley, considerando las contribuciones

determinadas a nivel nacional para el cumplimiento de los objetivos del Acuerdo de París, el acceso a recursos financieros, la transferencia de tecnología y el desarrollo de capacidades, así como cualquier otro tratado internacional suscrito por el Estado mexicano en materia de cambio climático.

La política debe cuidar que la línea base a comprometer por México no limite el crecimiento económico del país, y en la elaboración de dicha línea deben participar los sectores productivos, en coordinación con los organismos nacionales que intervengan en la política económica.

Tabla 5. Instrumentos de gestión de cambio climático en países de América Latina y El Caribe

Fuente. Guía de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima CAF - 2018

Instrumentos de gestión cambio climático	Legislación	Estrategia y/o Política	Plan de Acción	Acciones de adaptación de carreteras
ARGENTINA		Sí		
BARBADOS		Sí		
BOLIVIA	Sí	Sí	Sí	
BRASIL	Sí	Sí	Sí	Sí
COLOMBIA	Sí	Sí	Sí	Sí
COSTA RICA		Sí	Sí	
CHILE		Sí	Sí	Sí
ECUADOR	Sí	Sí	Sí	
EL SALVADOR		Sí	Sí	Sí
GUATEMALA	Sí	Sí	Sí	Sí
HONDURAS	Sí	Sí		
JAMAICA		Sí		Sí
MEXICO	Sí	Sí	Sí	Sí
NICARAGUA		Sí		Sí
PANAMÁ	Sí	Sí		
PARAGUAY		Sí	Sí	Sí
PERÚ	Proyecto Ley	Sí	Sí	Sí
REPÚBLICA DOMINICANA		Sí	Sí	
TRINIDAD Y TOBAGO		Sí		
URUGUAY		Sí	Sí	
VENEZUELA		Sí		

Fuente: "Guía de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima" CAF. Junio de 2018.

Ley General de Salud (Última reforma publicada el 22-11-2021)

La presente ley reglamenta el derecho a la protección de la salud que tiene toda persona en los términos del artículo 4o. de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, establece

Las bases y modalidades para el acceso a los servicios de salud y la concurrencia de la Federación y las entidades federativas en materia de salubridad general. Es de aplicación en toda la República y sus disposiciones son de orden público e interés social.

Art. 118 III Bis. Determinar y evaluar los riesgos sanitarios a los que se encuentra expuesta la población por fenómenos naturales originados por cambio climático.

Art. 119 I Bis. Formular programas para la atención y control de los efectos nocivos del ambiente en la salud que consideren, entre otros, aspectos del cambio climático.

Entre sus disposiciones destaca el control de los efectos nocivos del ambiente en la salud, adoptando medidas y promoviendo estrategias de mitigación y de adaptación a los efectos del cambio climático; determinar y evaluar los riesgos sanitarios a los que se encuentra expuesta la población en caso de eventos provocados por fenómenos naturales originados por cambio climático; y formular programas para la atención y control de los efectos nocivos del ambiente en la salud que consideren, entre otros, aspectos del cambio climático.

La Ley General de Cambio Climático (Última reforma 06-11-2020)

Determina de manera clara el alcance y contenido de la política nacional de cambio climático, define las obligaciones de las autoridades del Estado y las facultades de los tres órdenes de gobierno, además establece los mecanismos institucionales necesarios para

Su objetivo corresponde a Garantizar el derecho a un medio ambiente sano y la aplicación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero; regular las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero para que México contribuya a lograr la estabilización de sus concentraciones en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático; regular las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático; reducir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas del país frente a los efectos adversos del cambio climático, así como crear y fortalecer las capacidades nacionales de respuesta al fenómeno; fomentar la educación, investigación, desarrollo y

enfrentar este reto. Conforme a la Ley, la federación es la encargada de formular y conducir la política nacional de cambio climático de acuerdo con principios claramente definidos, entre los que destaca de manera relevante la corresponsabilidad social.

transferencia de tecnología e innovación y difusión en materia de adaptación y mitigación al cambio climático; promover la transición hacia una economía competitiva, sustentable, de bajas emisiones de carbono y resiliente a los fenómenos hidrometeorológicos extremos asociados al cambio climático, y establecer las bases para que México contribuya al cumplimiento del Acuerdo de París, que tiene entre sus objetivos mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de 2 °C, con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir con los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1.5 °C, con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático.

NDC México (2020)

Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional

Las Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional (INDC, por sus siglas en inglés) constituyen los esfuerzos de los países que son parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y que proponen realizar para cumplir con el objetivo global de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a un nivel de no aumentar la temperatura del planeta por encima de los 2°C.

México fue el primer país en desarrollo en presentar sus Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional ante la CMNUCC. El gobierno federal construyó las contribuciones en base a la actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero de 2013.

Compromisos no condicionados: Se centran en reducir el 22% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y 51% de las emisiones de carbono negro al año 2030 respecto al escenario tendencial (business-as-usual, BAU).

Los compromisos que está asumiendo México se apegan a los objetivos y prioridades establecidas en la Ley General de Cambio Climático, así como a los acuerdos asumidos en la CMNUCC.

La Contribución de México contiene dos componentes, uno de mitigación y otro de adaptación. El componente de adaptación contempla dos tipos de medidas: las no condicionadas, que se refieren a aquellas que el país puede solventar con sus propios recursos, y las medidas condicionadas, que requieren del establecimiento de un nuevo régimen internacional de cambio climático en el cual México pudiera obtener recursos adicionales y lograr mecanismos efectivos de transferencia de tecnología.

Compromisos condicionados: Apoyarán a reducir hasta en un 36% las emisiones de GEI y 70% de las emisiones de carbono negro al año 2030 respecto al escenario BAU

Tabla 6. NDC por países
Fuente. Elaboración propia en base a INDC y NDC por países

INDC o NDC País	Reducción Voluntaria (%)	Reducción Condicionada (%)	Total Reducciones (%)
Argentina (1)	NA	NA	19
Chile	46	NA	46
Colombia (2)	20	10	51
Costa Rica	44	NP	44
Guatemala	11,2	11,4	22,6
Honduras	NP	15	15
México	22	14	36
Panamá	NP	NP	NP
Perú	30	10	40
República Dominicana	7	20	27

NP: No presenta esta reducción

(1) Argentina se compromete a una meta absoluta e incondicional

(2) Colombia establece su compromiso de mitigación, en términos de las emisiones absolutas máximas del país en el año 2030

Programa Nacional de Infraestructura Carretera

Programa Nacional de Infraestructura Carretera 2018-2024 (Secretaría de Comunicaciones y Transportes)

Objetivos de la estrategia nacional:

Lograr el desarrollo regional y el ordenamiento territorial de la nación, con visión de largo plazo.

Transitar hacia una red intermodal de comunicaciones y transportes integral, eficiente, sustentable, segura y moderna.

Lograr un sistema de verdadero respaldo a la competitividad nacional y superar la posición de nuestro país en este rubro, que nos ubica en el lugar 62 de 137 países calificados en el orbe.

3 prioridades:

Conservación y el mantenimiento de toda la infraestructura existente y terminación de las obras útiles, suspendidas o en proceso.

Construcción de caminos pavimentados para todas las cabeceras municipales que carecen de ellos, con mano

Plan Nacional de Carreteras Federales (PNCF)

México cuenta con alrededor de 400 mil kilómetros de carreteras, de los cuales 40 mil pertenecen a la Federación. A través de ellas transita el 95 por ciento del

Garantizar una infraestructura carretera que se vincule - sin cuellos de botella ni sitios de conflicto sin solución de continuidad- con las infraestructuras de puertos, vías férreas y aeropuertos y sin zonas de riesgo, y que incorpore el equipamiento conveniente para la conectividad de las telecomunicaciones modernas.

Resolver los puntos de conflicto con la infraestructura de las zonas urbanas, que permita el tránsito ágil y seguro de personas y bienes por el territorio nacional y que dé a todos la posibilidad personal, comercial, cultural y política de conectarse con el resto de los mexicanos y con el mundo.

de obra local y bajo la administración de las autoridades comunales.

Plan Nacional de Carreteras Federales. Dará atención prioritaria a las zonas del país donde la infraestructura carretera no ha llegado.

pasaje y el 56 por ciento de la carga que circula en el ámbito nacional.

Iniciativas del Sector Cemento para Mitigar emisiones de GEI

De acuerdo por los antecedentes entregados por la industria al Gobierno, se encuentran 3 instrumentos asociados. Esta información tiene carácter comunicacional y no vinculante a la fecha.

Las NAMAs son acciones voluntarias realizadas en el país para reducir emisiones de GEI. Deben estar alineadas con

Registro Nacional NAMA

El Propósito del Registro Nacional NAMA es conocer las iniciativas que se están desarrollando en el país, centralizar la información en la Dirección General de

Actualmente, para el sector cemento en México, existen 3 Acciones de Mitigación, en etapa de planeación.

1. Mitigación de emisiones de CO₂, mediante reciclaje energético de residuos por co-procesamiento en horno de clínker, cuantificables al sector cemento.

Descripción: Existe una variedad de residuos valorizables por medio de su co-procesamiento en hornos de clínker, que además cuentan con fracciones biogénicas (compuestas por papel, cartón, madera, textiles naturales y otros orgánicos, etc.). El valorizar estos materiales mediante co-procesamiento en hornos de clínker, se realiza mediante combustión completa lo que permite sustitución de combustibles fósiles y evita impactos al ambiente y al cambio climático. Se calculará el CO₂

Esta mitigación se genera dado que:

- Se calculan las emisiones de GEI ante una línea base de operación habitual con combustibles primarios fósiles, posteriormente se calculan las emisiones en un escenario de sustitución de parte de los combustibles primarios por combustibles alternos, utilizando los factores de emisión para cada combustible. Es habitual que los combustibles
- Se restan las emisiones por materiales biogénicos, tal como ha sido promovido desde el

políticas nacionales y sectoriales y generar co beneficios. Cualquier acción debe realizarse en el contexto de un desarrollo sustentable, de manera medible, reportable y verificable, y debe estar soportada por financiamiento, tecnología y desarrollo de capacidades.

Políticas para el Cambio Climático, y asistir en el registro internacional y en la canalización de posibles apoyos. Es un registro voluntario e independiente de la aprobación de registro ante la CMNUCC.

evitado en las emisiones de proceso, para ser acreditado al sector cemento, quien recibe directamente estos materiales y lleva a cabo su eliminación y valorización.

Se calcula que la mitigación puede ser de 0.7 toneladas de CO₂ por cada tonelada de combustible alterno coprocesada en hornos de Clínter, considerando una fracción biogénica de 30% en los residuos utilizados.

alternos registren un menor factor de emisión de CO₂ por cada unidad de energía aportada, por lo que la diferencia entre ambos escenarios indicará una reducción de emisiones al utilizar combustibles alternos provenientes de la valorización y reciclaje energético de residuos.

Protocolo de Kioto y ha sido adoptado por la mayoría de los sistemas de contabilización.

$$[T \text{ CO}_2/\text{t}_{\text{residuo}}] \times [1 - (t_{\text{biomasa}}/\text{t}_{\text{residuo}})] = [T \text{ CO}_2 \text{ cuantificable}/\text{t}_{\text{residuo}}]$$

La fracción biogénica del residuo a co-procesar ($t_{\text{biomasa}}/\text{t}_{\text{residuo}}$), se obtendrá a partir de información o

tablas de SEMARNAT, de IPCC, de literatura o por análisis mediante cuarteo de material.

Este plan se encuentra condicionado respecto a que las toneladas CO₂ mitigadas sean acreditadas al sector cemento, tanto para reporte en Registro Nacional de Emisiones (ReNE) como para reducción de emisiones en el Sistema de Comercio de

Emisiones (SCE) mexicano. De darse las condiciones adecuadas, se podría pensar al 2025 en 1.2 millones de toneladas de residuos co-procesados, con un potencial de circa 1 millón de toneladas de CO₂ mitigadas y acreditadas al sector cemento por este efecto.

Indicador(es) propuesto(s) para el monitoreo del proceso de la implementación de la medida:

- Toneladas alimentadas de cada tipo de residuos.
- Fracción biogénica del residuo a co-procesar, a partir de tablas de SEMARNAT, de IPCC, de

- literatura o de análisis mediante cuarteo de material.
- CO₂ mitigado y acreditado al sector cemento.
- Emisiones directas brutas de CO₂.

Para su implementación, se requiere apoyo para eliminar barreras que limitan el co-procesamiento de residuos en México, entre las que se encuentran las siguientes:

- Simplicidad en autorizaciones de co-procesamiento.
- Separación de residuos desde la fuente de generación.

- Respaldo mediático por parte de la autoridad, promoviendo los beneficios del co-procesamiento.
- Cuantificación de emisiones brutas en el Sistema de Comercio de Emisiones (SCE) de México.
- Revisión y modernización del “ACUERDO por el que se establecen las bases preliminares del Programa de Prueba del Sistema de Comercio de Emisiones”.
- Competir con de falta de gestión en el manejo adecuado de los residuos.

2. Mitigación de emisiones de metano de residuos, mediante reciclaje energético de residuos por co-procesamiento en horno de clínker, cuantificables al sector cemento.

Descripción: Variedad de residuos cuentan con fracciones biogénicas (compuestas por papel, cartón, madera, textiles naturales y otros orgánicos, etc.) que emiten metano (GEI 28 veces más potente que el CO₂ en el calentamiento global) durante su

biodegradación natural. El valorizar estos materiales mediante co-procesamiento en hornos de clínker, promueve una combustión completa y evita la formación de este gas metano. Se calculará el metano que se dejó de emitir por la biodegradación de los residuos y el CO_{2e} evitado, para ser acreditado al sector cemento, quien recibe directamente estos materiales y quien lleva a cabo su eliminación y valorización.

Mitigación por metanización para una tonelada de material reciclado:

$$[0.0742 \text{ t CH}_4/\text{t}_{\text{RSU}}]^A * [28 \text{ t CO}_2\text{e}/\text{t CH}_4]^B * [X \text{ t biogénico}/\text{t}_{\text{residuo}}]^C / [0.676 \text{ t biogénico}/\text{t}_{\text{RSU}}]^D = [y \text{ t CO}_2\text{e}/\text{t}_{\text{residuo}}]$$

, donde:

- Factor preliminar de generación de metano por tonelada de RSU, generado por SEMARNAT.
- Potencial de calentamiento global de metano, utilizado por SEMARNAT e IPCC.
- Fracción biogénica del residuo a co-procesar, a partir de información o tablas de SEMARNAT, de IPCC, de literatura o por análisis mediante cuarteo de material.
- Fracción biogénica en RSU en México

Este plan se encuentra condicionado respecto a que las toneladas de CH₄ y CO₂e mitigadas sean acreditadas al sector cemento, tanto para reporte en Registro Nacional de Emisiones (ReNE) como para reducción de emisiones en el Sistema de Comercio de Emisiones (SCE) mexicano.

Indicador(es) propuesto(s) para el monitoreo del proceso de la implementación de la medida

- a. Toneladas alimentadas de cada tipo de residuos.
- b. Fracción biogénica del residuo a co-procesar, a partir de tablas de SEMARNAT, de IPCC, de literatura o de análisis mediante cuarteo de material.

Para su implementación, se requiere apoyo en tecnología contable para las emisiones, así como que los residuos sean separados de origen, desde las casas; llevar a cabo mesas de trabajo INECC-SEMARNAT-CANACEM, y que se apruebe método de cálculo y se asigne conteo de mitigación al sector cemento, tanto en el ReNE como en el SCE; apoyo en la gestión para la contabilización de la mitigación de CO₂e aquí especificada, así como también

3. Mitigación de emisiones de GEI, mediante la captura y almacenamiento de CO₂ a través de promover la carbonatación química del CaO y MgO del cemento contenido en el concreto

Descripción: El concreto contiene cemento como principal material, el cual le otorga estructura y resistencia. El cemento, por su parte, contiene óxidos de calcio y de magnesio, que, dadas las condiciones adecuadas, capturan y atrapan CO₂ del aire, fijándolo y almacenándolo en carbonatos de calcio y de magnesio (CaCO₃ y MgCO₃

Mitigación de CO₂ por tonelada de cemento:

- 1 t de cemento utilizada para producir concreto, puede contener más de 0.55 t de CaO y 0.015 t de MgO (varía dependiendo de la fuente y tipo de cemento).

El máximo potencial teórico, a 100% de captura de CO₂ en concreto por efectos de recarbonatación del cemento, rondaría los 0.45 t CO₂/t cemento:

$$\left(\left(\frac{0.55 \text{ t CaO}}{\text{t Cto}} \times \frac{0.785 \text{ t CO}_2}{\text{t CaO}} \right) + \left(\frac{0.015 \text{ t MgO}}{\text{t Cto}} \times \frac{1.092 \text{ t CO}_2}{\text{t MgO}} \right) \right) = \frac{0.448 \text{ t CO}_2}{\text{t Cto}}$$

De darse las condiciones adecuadas, se podría pensar al 2025 en 1.2 millones de toneladas de residuos co-procesados, con un potencial de >2 millones de toneladas de CO₂e mitigadas y acreditadas al sector cemento por este efecto.

- c. Metano (CH₄) mitigado y acreditado al sector cemento.
- d. CO₂e mitigado y acreditado al sector cemento.

para la acreditación de estas mitigaciones al sector cemento ante el Sistema de Comercio de Emisiones (SCE) mexicano; y campañas mediáticas que muestren los beneficios del co-procesamiento en horno de clínker, con la reducción de impactos al ambiente, a la salud y al cambio climático. Se mantendrá un enfoque de inclusión y equidad de género al contratar personal.

respectivamente), sin afectar las propiedades constructivas del concreto. Se planea trabajar en dar al cemento las condiciones que fomenten la “captura y almacenamiento”, sin afectar sus propiedades, de manera que sea una medida de mitigación de GEI, cuantificable y acreditable, ante el SCE y el ReNE, a quien produce el cemento.

- 1 t de CaO puro se combina con 0.785 t de CO₂, para formar 1.785 t de CaCO₃.
- 1 t de MgO puro se combina con 1.092 t de CO₂, para formar 2.092 t de MgCO₃.

Considerando el cemento que se utiliza en concreto, el potencial realista, acorde a la tendencia de los estudios iniciales, apunta a que alrededor de 25% de los óxidos de

$$\frac{0.448 \text{ t CO}_2}{\text{t Cto}} \times 25\% = \frac{0.112 \text{ t CO}_2}{\text{t Cto}}$$

Se requiere continuar los estudios y trabajos, con los incentivos para que estas mitigaciones por captura y almacenaje de CO₂ por la química y preparación del cemento sean acreditables a los establecimientos que

Para su implementación, se requiere apoyo en tecnología contable para las emisiones; con los incentivos para que estas mitigaciones por captura y almacenaje de CO₂ por la química y preparación del cemento sean acreditables

calcio y magnesio podrían recarbonatarse, es decir que el cemento se convertiría en sumidero de carbono, con una captura y almacenaje que rondaría 0.11 t CO₂/t cemento

produzcan dicho cemento, para ser reconocidos como mitigaciones de CO₂ ante el Registro Nacional de Emisiones (ReNE) y ante el Sistema de Comercio de Emisiones (SCE) de México.

a los establecimientos que produzcan dicho cemento, para ser reconocidos como mitigaciones de CO₂ ante el Registro Nacional de Emisiones (ReNE) y ante el Sistema de Comercio de Emisiones (SCE) de México.

La adecuada fijación de estrategias de desarrollo, en armonía con las estrategias nacionales, para enfrentar el cambio climático, es clave para la industria cementera mexicana.

La importancia equilibrada que ha otorgado México a las medidas de mitigación y adaptación implica establecer el discurso y las prioridades coincidentes con estas estrategias, como sería, por ejemplo, trabajar en temas tales como: Implementación y profundización de los ejes de reducción de emisiones, como también la inversión en I+D para tales fines, además de abordar temas como: Pavimentos Resilientes, Vivienda Social e Infraestructura en general, dadas las características y ventajas del cemento como uno de los materiales de construcciones más resilientes al cambio climático.

5

Elaboración
Hoja de Ruta
México - FICEM

En este capítulo se presentan los resultados de la realización de los Pasos 1 al 5 para la elaboración HR México, de acuerdo con lo descrito en el Capítulo 3.

El Taller Fase 0 para la Industria del Cemento en México ya realizado, al igual que el Taller de Potencial de Reducción, el cual se realizó de manera virtual entre el 22 de noviembre de 2021 y el 02 de diciembre del mismo año. En estos talleres participaron representantes de las principales empresas productoras de cemento de México con proceso integral (incluyendo fabricación de Clinker): CEMEX, Cementos Cruz Azul, Cementos Holcim, Cementos Moctezuma, Cementos Chihuahua y Cementos Fortaleza, junto con FICEM.

De acuerdo con los criterios de la Hoja de Ruta FICEM, se seleccionó como año base el 2016, teniendo como referencia otras Hojas de Ruta de la industria y la data utilizada en la elaboración de los papers de la ECRA. Los reportes generados se ejecutaron de acuerdo con el Protocolo sMRV FICEM y la empresa a cargo de la verificación independiente es PwC.

Con la información generada por sMRV y la aplicación de la Calculadora FICEM, se determinaron los potenciales teóricos de reducción de CO₂, además de los análisis comparativos internacionales, información relevante para definir las acciones futuras de la industria, tanto en Adaptación como Mitigación a los efectos del cambio climático.

Es importante destacar la participación de la industria local en el Taller de Potencial de Reducción, en el cual se logró determinar con mayor precisión las brechas y oportunidades para alcanzar los potenciales de reducción identificados en los pasos 1 al 4 de este proceso.

Además, resaltamos la importancia que México y sus autoridades le otorgan a la necesidad de adaptación del país a los efectos del cambio climático, en el cual el cemento cumple un rol estratégico, dada su alta resiliencia como material de construcción y sus potenciales de reducción de CO₂ en forma directa e indirecta.

5.1

Adaptación al Cambio Climático y la Industria del Cemento

La acción global frente al cambio climático es ineludible e impostergable. De acuerdo con la comunidad científica internacional, es necesario que todos los países reduzcan, de manera conjunta y decidida, las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero para evitar que los efectos se agraven. Para México, este desafío conlleva problemas sociales, económicos y ambientales que ya afectan a su población, infraestructura, sistemas productivos y ecosistemas.

Este fenómeno nos impone la necesidad de planear a largo plazo y actuar de inmediato para adaptarnos ante los impactos potencialmente adversos.

Para llegar a los objetivos en adaptación debe existir una política nacional robusta, coordinada y que apoye al desarrollo. Por ello es que la ENCC integra un capítulo con la identificación de los pilares de la política nacional de cambio climático.

La infraestructura estratégica provee los medios técnicos, instalaciones necesarias y los servicios para el desarrollo de las actividades esenciales. De la misma forma, representa un soporte fundamental para garantizar los derechos humanos a la salud, la seguridad, la integridad física, el bienestar y el desarrollo sostenible del país.

La conservación de la infraestructura estratégica y del patrimonio representa retos inherentes que serán exacerbados debido a los efectos adversos del cambio climático.

Por ejemplo, la infraestructura del sector energético es vulnerable ante la variabilidad climática, ya que sequías o lluvias severas pueden afectar el funcionamiento óptimo de la generación hidroeléctrica, entre otras.

Atendiendo lo anteriormente expuesto, las líneas de acción necesarias promoverán que la planeación, diseño, construcción, mantenimiento y operación de la infraestructura estén enfocados a fortalecer su resistencia para asegurar la continuidad de la prestación de los servicios. Esto tiene como objetivo principal asegurar la resiliencia de la infraestructura nueva y existente, así como del patrimonio cultural tangible, yendo más allá de los diseños habituales y fomentando el desarrollo e incorporación de criterios de adaptación e identificación de riesgos al cambio climático basados en ciencia que integren conocimientos tradicionales y de innovación para aumentar la fortaleza de los elementos que la conforman.

Lo anterior contribuirá, sobre todo, a cumplir con temáticas como: infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes, de calidad y de acceso asequible y equitativo, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano; resiliencia de la infraestructura en ciudades y asentamientos humanos, implementando políticas y planes integrados para la mitigación y adaptación al cambio climático, así como la gestión integral del riesgo de desastres; proteger y salvaguardar el patrimonio cultural y natural; y modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles.

En conclusión, la industria cementera de México deberá posicionar en todas las instancias nacionales el aporte del cemento a la adaptación al cambio climático, especialmente en materias de vivienda, pavimentos e infraestructura en general.

Para lo anterior, la industria contará con los papers que FICEM está elaborando: Vivienda Sostenible en concreto y Pavimentos Resilientes. Lo anterior implica elaborar

planes que contengan acciones en los ámbitos de comunicaciones, investigación y desarrollo, como en el relacionamiento con las autoridades técnicas del país,

para mejorar y fortalecer los códigos, normas o buenas prácticas en materia de construcción.



5.2

Mitigación de GEI y la Industria del Cemento

En materia de mitigación, tal como ya señalamos, las políticas climáticas de México han definido en su NDC: “El escenario tendencial proyectado al 2030, sin intervención de política de mitigación se cuantificó en 991 MtCO₂e como punto de referencia para 2030. La reducción de emisiones no condicionadas al 2030 se traduce en dejar de emitir aproximadamente 210 MtCO₂e en dicho año, mientras que el cumplimiento de los compromisos condicionados implicaría reducciones de 137 MtCO₂e adicionales. El periodo de implementación de la NDC es de 2020 a 2030 y se consideran las políticas implementadas con base en la información disponible en el año 2013.

La actividad industrial pública y privada en México es de gran relevancia, no solamente como motor económico sino como fuente de empleo para una gran parte de la población. A través de una colaboración constante y cercana con las diversas cámaras y asociaciones industriales, se identificaron oportunidades considerables para la reducción de emisiones y el incremento de la eficiencia energética del sector.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la ejecución de los pasos 3, 4 y 5, dentro de los que se destacan la línea base emisiones, reducciones alcanzadas y potencial de reducción al 2030, ejes de reducciones y

Las acciones consideran un enfoque sistémico de la actividad industrial, abarcando el sistema completo de producción para fomentar la economía circular, al reconocer las externalidades de los procesos empleados y a la vez optimizando el uso de insumos y de energía requeridos. Estas acciones no solamente incidirán en la reducción de emisiones, sino también en la economía y la competitividad de las empresas.

En esta materia, los aportes de la industria de cemento no debieran limitarse a la contribución en la mitigación directa de gases GEI, sino que también debieran considerar el aporte en disminuciones de emisiones GEI por el uso del cemento en sectores tales como transporte, vivienda y residuos. En este último sector no sólo se aporta a la mitigación, sino también al aprovechamiento seguro y definitivo de residuos mediante su valorización como combustibles y materias primas alternativas.

tecnologías asociadas. Los antecedentes utilizados para realizar este ejercicio son los resultados obtenidos en el Reporte 2016, validado por PwC (Anexo 1), y la información disponible en la Calculadora FICEM.

5.2.1

Producción de cemento y emisiones de CO₂

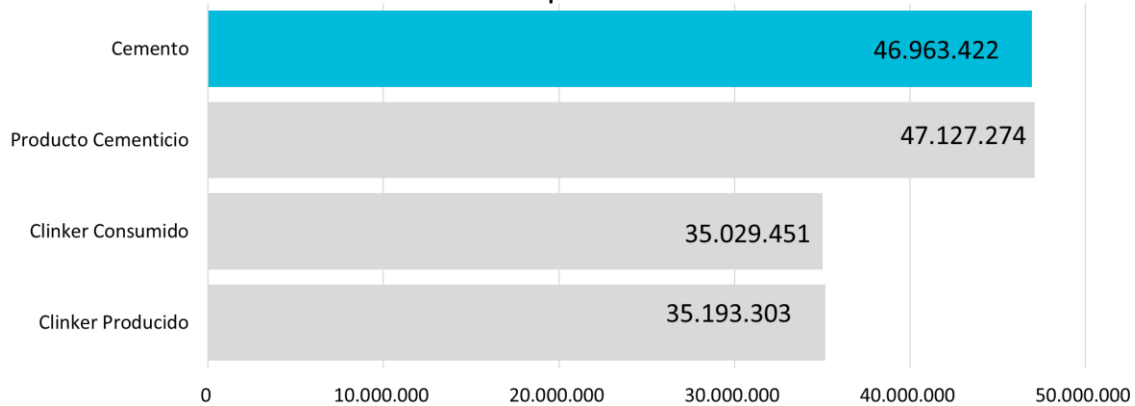
Producción de Cemento

De acuerdo con los sMRV, la producción de cemento de las empresas participantes en esta Hoja de Ruta, para el año 2016 fue de 46.963.422 toneladas.

La siguiente gráfica muestra los principales indicadores de producción para el año 2016.

Figura 20. Principales Indicadores de producción 2016 en toneladas por año

Principales indicadores de producción 2016 en toneladas por año.



Se puede apreciar que existe mayor clinker producido que consumido (163.852 toneladas de clinker de diferencia). Esto puede ser producto de inventarios y/o ventas de clinker a empresas que no participaron en este Reporte (dentro o fuera de México).

También podemos apreciar que existen 11.933.971 toneladas de cemento producidas por sobre el clinker consumido. Esto se produce por las adiciones agregadas al cemento.

5.2.2

Emisiones de CO₂: Producto cementicio, Clínker y Cemento

Conocer las emisiones de CO₂ en sus distintos alcances y orígenes es fundamental para determinar las trayectorias pasadas y futuras de estas emisiones. Contar con la información desagregada facilita analizar las tecnologías disponibles, costos e inversiones, para definir de mejor manera los potenciales de reducción existentes.

A continuación, se analizan las emisiones para la producción de producto cementicio, clínker y cemento, considerando el Alcance 1 (emisiones directas) y Alcance 2 (generación eléctrica externa), tal como lo define el WBCSD.

Además, con respecto al Alcance 1, este se analiza con base en las tres categorías de emisiones que establece el Protocolo CSI 3.1, las cuales son:

- **Emisiones Directas:** son las emisiones provenientes de fuentes propias o controladas por la compañía. Las emisiones directas de CO₂ de la combustión de biomasa no se incluirán en el alcance 1, pero se reportarán separadamente, por ejemplo, como una nota¹⁵.
- **Emisiones Brutas:** son el total de emisiones directas de CO₂ de una planta o compañía, incluyendo el CO₂ de la parte fósil de los residuos usados como combustible, pero excluyendo biomasa y la emisión por generación eléctrica on-site.
- **Emisiones Netas:** Emisiones brutas menos todo el CO₂ de la combustión de combustibles alternativos derivados de residuos.



¹⁵ WBCSD, CO₂ and Energy Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry, Version 3.0, 2011

CO₂ en la producción de producto cementicio

El producto cementicio corresponde a la producción total de clínker, más la producción de los componentes minerales del cemento producido y sustitutos del cemento. De acuerdo con el Reporte, la producción de Producto cementicio en México para el año 2016 fue de 47.127.274 toneladas.

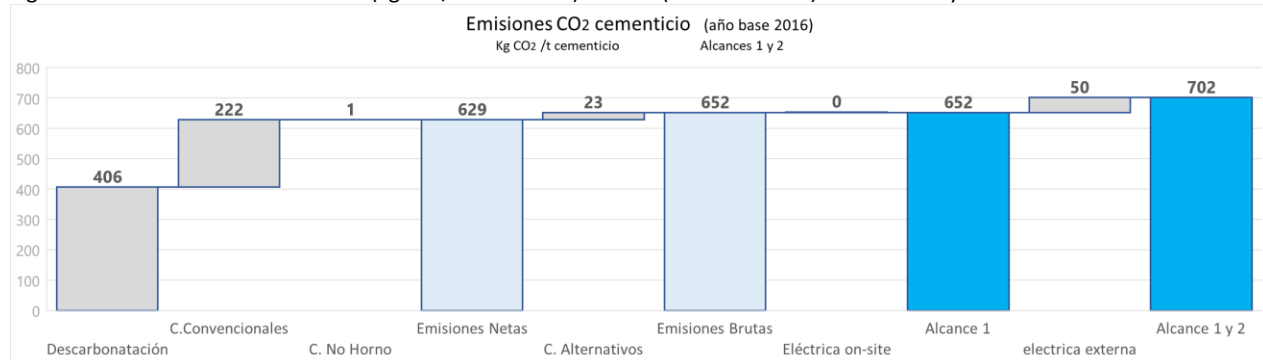
En la siguiente figura se observan las intensidades de emisión de CO₂ desagregadas para la producción de

producto cementicio. En estas emisiones se incluye las provenientes de la energía eléctrica (Alcance 2).

Cabe destacar que el indicador de emisiones de CO₂ cementicio son una de las principales referencias de las trayectorias definidas en Roadmap CSI 2018 y los Papers ECRA 2017.

Gráfico Emisiones CO₂ Producto Cementicio Alcances 1 y 2

Figura 21. Emisiones CO₂ cementicio (kg CO₂/t cementicio) México (año base 2016) – Alcances 1 y 2



Nota: Las emisiones derivadas de biomasa alcanzaron a los 5 kg CO₂/t cementicio y no se incluyen en la figura 25

Al comparar el aporte de emisiones en el Alcance 1 (Directas 652 kg CO₂/tcementicio) y Alcance 2 (50 kg CO₂/t cementicio), el 93% de las emisiones se concentran en el Alcance 1.

El aporte del Alcance 2 (generación eléctrica externa) representa tan solo el 7% de las emisiones, valor dentro del 5 y 8% de las estadísticas comparadas.

La descarbonatación es el proceso con mayor participación en las emisiones de ambos alcances: 62% de las emisiones Alcance 1 y el 58% de las emisiones Alcance 1 y 2.

Los combustibles convencionales y no horno representan el 34% de las emisiones Alcance 1, mientras que los combustibles alternativos representan tan solo el 3% de este mismo Alcance. Esto explica la baja diferencia entre Emisiones Netas y Brutas.

Tabla 7. Emisiones de CO₂ Cementicio Alcances 1, 2 y Biomasa (no contabilizada)

	kg CO ₂ /t cementicio	Toneladas	Participación
Alcance 1	652	30.731.695	93 %
Alcance 2	50	2.356.364	7 %
Biomasa	5	235.636	0,71 %

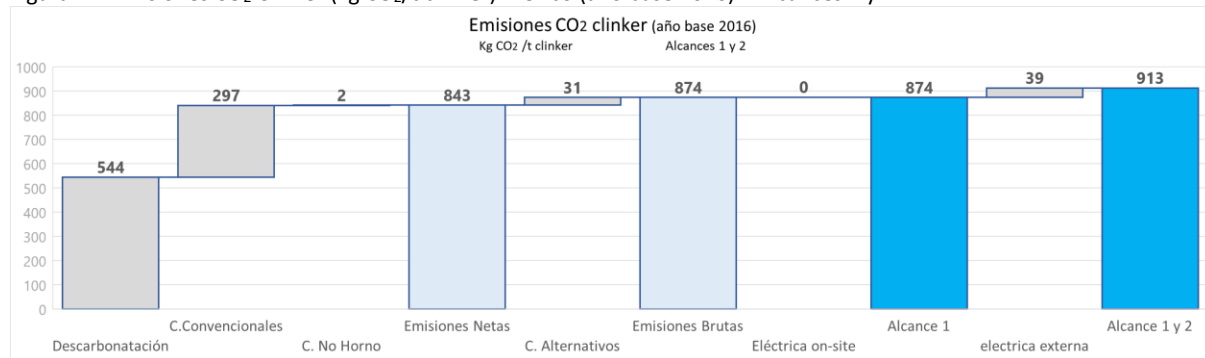
CO₂ en la Producción de Clínter

En la siguiente figura se observan las emisiones desagregadas de la producción de clínter. El clínter corresponde a la producción total de clínter en hornos propios, independiente del uso o destino.

De acuerdo con el Reporte, la producción de clínter para el año 2016 fue de 35.193.303 toneladas.

Gráfico Emisiones CO₂ Clínter Alcances 1 y 2

Figura 22. Emisiones CO₂ Clínter (kg CO₂/t clínter) México (año base 2016) – Alcances 1 y 2



La intensidad de emisiones brutas Alcance 1 es de 874 kg CO₂/t clínter, valor levemente superior al establecido por CSI como valor por defecto (865 kg CO₂/ ton clínter).

CO₂/t clínter) representa el 4%, asociados al consumo eléctrico de las plantas.

El Alcance 1 (874 kg CO₂/t clínter) representa el 96% del total de emisiones, mientras que el Alcance 2 (39 kg

La mayor proporción de emisiones se concentra en el proceso de descarbonatación, alcanzando el 62% del Alcance 1 y el 60% para ambos Alcances.

Tabla 8. Emisiones de CO₂ clínter en toneladas Alcances 1, 2 y Biomasa (no contabilizada)

	kg CO ₂ /t clínter	Toneladas	Participación
Alcance 1	874	30.741.350	96 %
Alcance 2	39	1.376.058	4 %
Biomasa	7	246.353	0,77 %

CO₂ en la Producción del Cemento

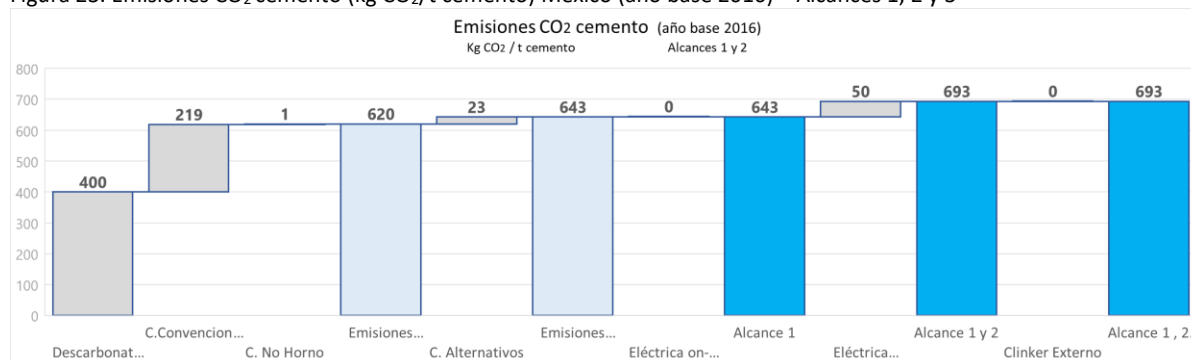
Este indicador fue desarrollado por el sMRV FICEM y busca representar la huella de CO₂, para su cálculo se utiliza el valor del cemento producido y también considera el aporte adicional de las emisiones de CO₂ del clínker externo (Alcance 3), sólo para el caso en que el clínker consumido sea mayor que el clínker producido, situación que no se registra en México por lo que su

efecto es nulo. Para este indicador considera sólo al clínker importado para el cálculo del Alcance 3.

En la siguiente figura se muestran las distintas categorías de intensidad de emisiones de CO₂ en la producción de cemento, agrupadas por tipos (netas, brutas y directas) y por alcances 1, 2 y 3 de acuerdo con el sMRV FICEM.

Gráfico Emisiones CO₂ Cemento Alcances 1, 2 y 3

Figura 23. Emisiones CO₂ cemento (kg CO₂/t cemento) México (año base 2016) – Alcances 1, 2 y 3



Al comparar el aporte de emisiones entre el Alcance 1 (643 kg CO₂/t cemento), Alcance 2 (50 kg CO₂/t cemento) y Alcance 3 (0 kg CO₂/t cemento), el 93% de las emisiones se concentra en el Alcance 1, lo que se explica además de la baja incidencia de la energía eléctrica, por el nulo aporte del Alcance 3.

Es importante destacar que en el Alcance 3 existen otras emisiones no consideradas, por ejemplo, las emisiones “aguas arriba” (emisiones de la actividad minera, transporte de clínker y otras materias primas, preparación de combustibles, entre otras), y las emisiones “aguas abajo” (la distribución y el uso del cemento, principalmente).

Al igual que en los casos anteriores, el Alcance 2 tiene una baja participación (7%).

Tabla 9. Emisiones de CO₂ cemento en Toneladas Alcances 1, 2 y Biomasa (no contabilizada)

	kg CO ₂ /t cemento	Toneladas	Participación
Alcance 1	643	30.202.177	93 %
Alcance 2	50	2.348.171	7 %
Biomasa	5	234.817	0,72 %

5.2.3

Reducción de emisiones y Potencial de Reducción por ejes

Como resultado del Taller de Potencial de Reducción en México y la aplicación de la herramienta Calculadora FICEM (el módulo de los *papers* de la ECRA 2017 específicamente), se estimaron las reducciones de emisiones de CO₂ ya efectuadas por la industria del cemento mexicana hasta el año base 2016 y el Potencial de Reducción al año 2030.

Para este primer análisis se utilizó como indicador base las emisiones netas de CO₂ año 2016 para la producción de producto cementicio Alcance 1 y 2. El valor del indicador local de intensidad de emisión neta es de 629 kg CO₂/t cementicio y de 652 kg CO₂/t emisiones brutas.

Gráfico Reducción Emisiones CO₂ Producto Cementicio Netas y Brutas

Figura 24. Participación de cada paper aplicado en la reducción de emisiones de CO₂, proyectados antes y después al año base 2016. Alcance 1 Emisiones Netas y Brutas

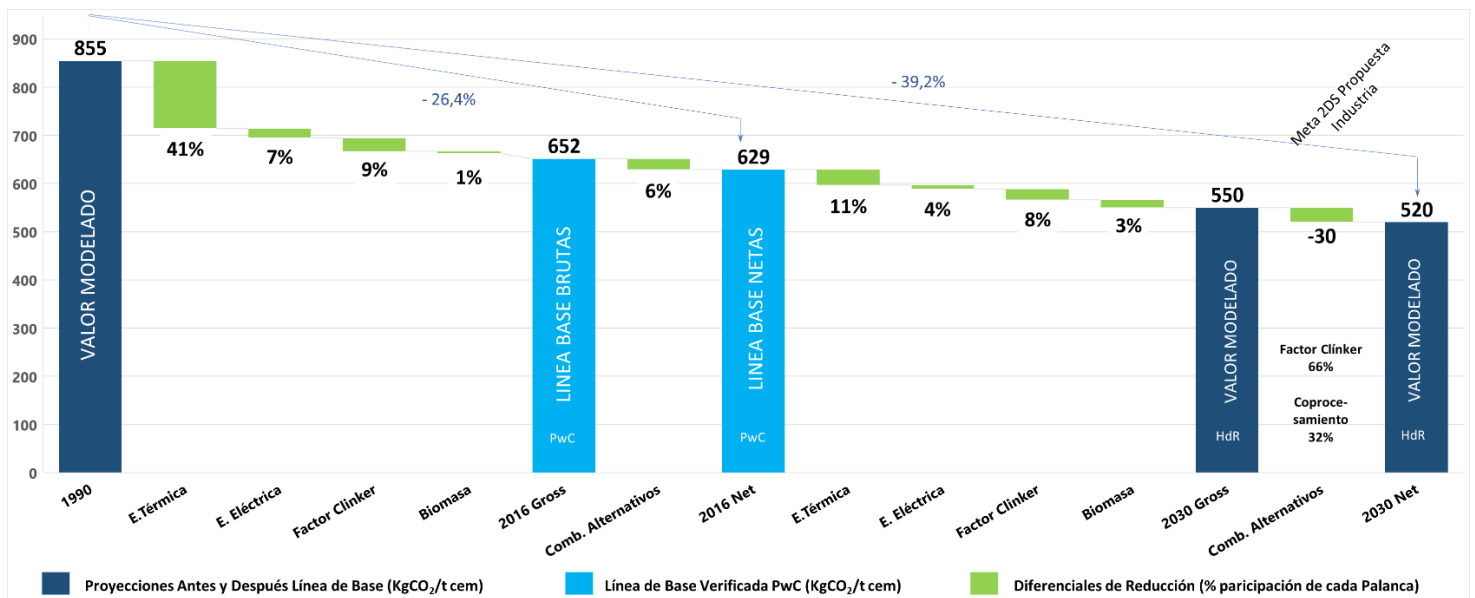
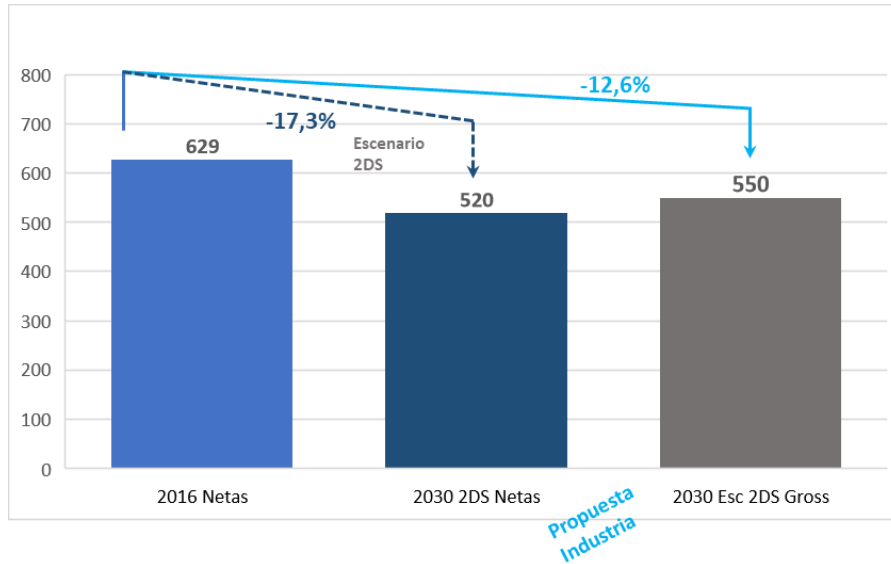


Figura 25: Aplicación de la Proyección Modelo Calculadora 3C, para el escenario 2DS (Emisiones Netas y Brutas), a partir de 629 Kg CO₂ / t cem netas.



En las siguientes tablas (Figura 26 y 27), el resultado ponderado de la aplicación de los Paper ECRA, Figura 28 Paper aplicado hasta el año base 2016 y la Figura 29 proyección de aplicación de Paper para el período 2016 al 2030.

Figura 26. Porcentaje implementación de cada paper y aplicado hasta el año 2016. Alcances 1 y 2

Los aportes de cada eje a las reducciones alcanzadas al año 2016, son: 73% por Eficiencia Térmica, seguido por 12% por el Factor Clínter y 10% en Eficiencia Eléctrica.

	Alcance 1		Alcance 2	
	Alcance 1	Alcance 2	Alcance 1	Alcance 2
Aplicación de Tecnologías para reducir CO2 PAPERS-ECRA 2017				
TOTAL Reducciones				
Eficiencia Térmica	73%		-13%	
1. Mejora en la capacidad de cocción de la mezcla de materias primas	4%		-4%	
2. Cambio de hornos largos a hornos con precalentador / precalcinador	54%		18%	
3. Modificación del precalentador (por ej. ciclones con menor pérdida de presión)	0%		2%	
4. Etapas de ciclones con precalentadores adicionales	1%		0%	
5. Aumento de la capacidad del horno	3%		12%	
6. Reemplazo de quemador mono canal a quemador moderno multicanal	2%		0%	
8. Enfriador de clínter de tecnología eficiente	9%		-47%	
9. Recuperación de calor residual: Vapor (WHR, por sus siglas en inglés)	0%		3%	
10. Recuperación de calor residual: Ciclo Orgánico de Rankine (ORC, por sus siglas en inglés)	0%		3%	
Combustibles y Materias Primas Alternativas	5%		-8%	
12. Materias primas alternativas descarboxatadas para la producción de clínter	1%		-1%	
13. Cambio de combustible: carbón/pet-coke por petróleo/gas/biomasa pura	1%		0%	
14. Combustibles alternativos (incluye biomasa), reemplazando combustibles fósiles convencionales	2%		-4%	
15. Pretratamiento de combustibles alternativos (molienda y secado)	1%		-3%	
Eficiencia Eléctrica	10%		115%	
18. Optimización en el control y automatización de plantas	4%		-11%	
19. Variadores de velocidad	0%		43%	
20. Eficiencia del sistema auxiliar de aire	0%		18%	
22. Operación de planta de cemento optimizada con energía renovable	0%		30%	
23. Molienda de cemento con molinos de rodillos verticales y prensas de rodillos	0%		-19%	
24. Separadores de alta eficiencia	0%		16%	
25. Optimización de los parámetros de funcionamiento de los molinos de bolas	0%		17%	
26. Molienda separada de los componentes de la materia prima	0%		1%	
28. Molienda y mezcla separados por finura	0%		2%	
29. Aumentar el rendimiento del cemento por optimización de la distribución del tamaño de partícula	6%		4%	
30. Uso optimizado de los aditivos para molienda	0%		13%	
Factor Clínter	12%		6%	
33. Impacto del factor de saturación de cal muy alto/muy bajo	0%		-12%	
35. Reducción adicional del contenido de clínter en el cemento mediante el uso de puzolanas naturales	5%		6%	
36. Reducción adicional del contenido de clínter en el cemento mediante el uso de arcillas calcinadas	1%		2%	
37. Reducción adicional del contenido de clínter en el cemento mediante el uso de otros materiales	6%		10%	

Con respecto al período 2016 – 2030, los aportes por eje proyectados, son: 48% Combustibles Alternativos, 22% Eficiencia Térmica, y 21% en Factor Clínter.

Figura 27. Porcentaje Implementación de cada paper aplicado año 2016 al 2030. Alcances 1 y 2

Aplicación de Tecnologías para reducir CO2 PAPERS-ECRA 2017		Potencial 2016-2030	
		Alcance 1	Alcance 2
TOTAL Reducciones			
Eficiencia Térmica		22%	-32%
1. Mejora en la capacidad de cocción de la mezcla de materias primas		2%	-4%
2. Cambio de hornos largos a hornos con precalentador / precalcinador		11%	7%
3. Modificación del precalentador (por ej. ciclones con menor pérdida de presión)		0%	5%
5. Aumento de la capacidad del horno		3%	11%
6. Reemplazo de quemador mono canal a quemador moderno multicanal		1%	0%
7. Tecnología de enriquecimiento de oxígeno		2%	-123%
8. Enfriador de clínter de tecnología eficiente		3%	-26%
9. Recuperación de calor residual: Vapor (WHR, por sus siglas en inglés)		0%	98%
Combustibles y Materias Primas Alternativas		48%	-110%
12. Materias primas alternativas descarbonatadas para la producción de clínter		6%	-9%
13. Cambio de combustible: carbón/pet-coke por petróleo/gas/biomasa pura		15%	0%
14. Combustibles alternativos (incluye biomasa), reemplazando combustibles fósiles convencionales		19%	-59%
15. Pretratamiento de combustibles alternativos (molienda y secado)		4%	-40%
16. Gasificación o pre-combustión de combustibles alternativos		4%	-2%
Eficiencia Eléctrica		9%	171%
18. Optimización en el control y automatización de plantas		3%	-9%
19. Variadores de velocidad		0,2%	36%
20. Eficiencia del sistema auxiliar de aire		0,8%	8%
22. Operación de planta de cemento optimizada con energía renovable		0,1%	133%
23. Molienda de cemento con molinos de rodillos verticales y prensas de rodillos		0,3%	-36%
24. Separadores de alta eficiencia		0,1%	14%
25. Optimización de los parámetros de funcionamiento de los molinos de bolas		0,3%	13%
28. Molienda y mezcla separados por finura		0,6%	2%
29. Aumentar el rendimiento del cemento por optimización de la distribución del tamaño de partícula		3%	3%
30. Uso optimizado de los aditivos para molienda		0%	7%
Factor Clínter		21%	71%
31. Reducción adicional del contenido de clínter en cemento mediante uso de slag		1%	-1%
33. Impacto del factor de saturación de cal muy alto/muy bajo		0%	-6%
34. Reducción adicional del contenido de clínter en el cemento mediante el uso de ceniza volante		0,2%	2%
35. Reducción adicional del contenido de clínter en el cemento mediante el uso de puzolanas naturales		7%	18%
36. Reducción adicional del contenido de clínter en el cemento mediante el uso de arcillas calcinadas		2%	13%
37. Reducción adicional del contenido de clínter en el cemento mediante el uso de otros materiales		11%	46%

5.3

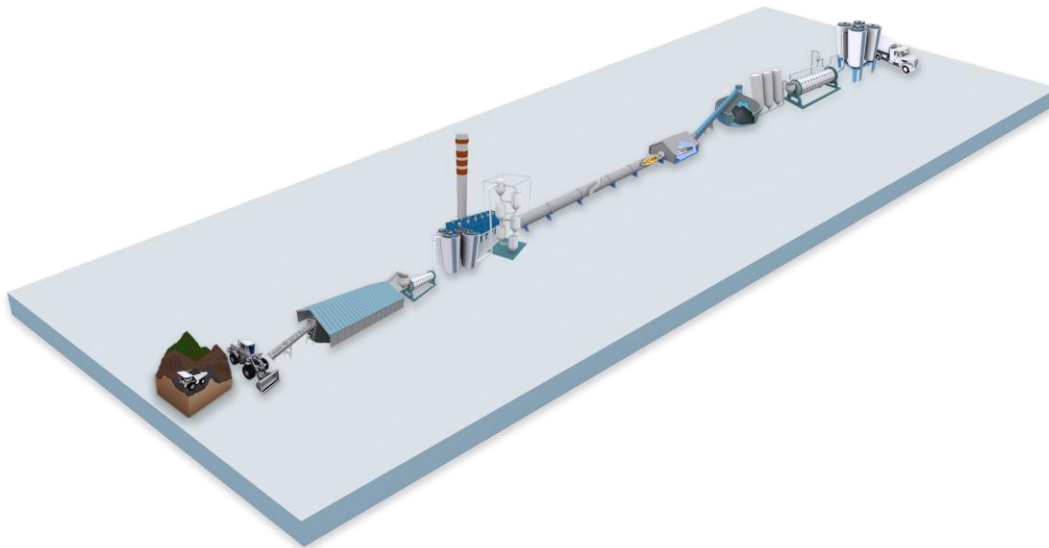
Análisis comparativo de los principales ejes HR

De acuerdo con lo establecido en la Hoja de Ruta FICEM, los principales indicadores que se utilizaron para determinar la trayectoria de las emisiones de CO₂ en la producción de cemento son: la intensidad de emisión de CO₂ en la producción de producto cementicio, el Factor Clínker, los Combustibles Alternativos, la Eficiencia Térmica y la Eficiencia Eléctrica. Estos indicadores son adicionales a los de producción de clínker, producto

cementicio y cemento, ya revisados previamente. Los ejes de captura y uso de CO₂ (CCU y CCS), no se consideraron en este documento por no existir estadísticas a nivel industrial en la región.

A continuación, se realizan los análisis comparativos a partir de la información disponible en GNR y del Roadmap CSI 2018.

Figura 29. Diagrama esquemático del proceso de fabricación de cemento



Comparativo Emisiones Netas por unidad de producto cementicio México versus GNR

Este es el principal indicador de la Hoja de Ruta y representa las emisiones directas, pero no considera

Emisiones Netas Cementitious

Pais / Región	Kg CO ₂ /t cementitious	Origen Data
Austria	419	GNR 2019
Alemania	472	GNR 2019
Polonia	490	GNR 2019
Argentina 2015	530	HdR FICEM
Brasil	536	HdR Indep.
India	560	GNR 2019
Francia	565	GNR 2019
Latinoamérica	574	GNR 2019
Reino Unido	579	GNR 2019
Chile 2018	585	HdR FICEM
Colombia	600	HdR FICEM
Central America	604	GNR 2019
Peru	607	HdR FICEM
Mundo	608	GNR 2019
Republica Dominicana	609	HdR FICEM
Macrozona FICEM	612	HdR FICEM
Mexico 2016	629	HdR FICEM
Asia (n.e.c.)/Oceania	638	GNR 2019
España	646	GNR 2019
China/Korea/Japan	657	GNR 2019
Tailandia	661	GNR 2019
CIS	686	GNR 2019
Middle East	707	GNR 2019
Egipto	713	GNR 2019
Estados Unidos	718	GNR 2019

las emisiones derivadas de la generación eléctrica on-site, las emisiones de biomasa y las provenientes de los combustibles alternativos. Con este indicador se construyeron las trayectorias del Roadmap CSI 2018. Respecto al valor de México, éste se encuentra 21 puntos sobre el promedio mundial año 2019.

De acuerdo con la figura, podemos mencionar que:

México se encuentra sobre la media con sus 629 kgCO₂/t cementicio.

Este indicador es un 33% mayor que el país de más baja emisión (Austria) y un 16% menor que el país de máxima emisión (Estados Unidos).

El promedio mundial reportado en GNR 2019 alcanzó los 608 kgCO₂/t cementicio, y México se encuentra un 3% sobre este promedio.

Si bien México se encuentra en una buena posición en relación con las emisiones globales, el Roadmap CSI 2018 establece que la producción de cemento mundial deberá tener un promedio de 520 kgCO₂/t cementicio al 2030, y de 470 kgCO₂/t cementicio al 2050, constituyendo un gran desafío de mediano y largo plazo para la industria mexicana. Por ejemplo, alcanzar los 520 kgCO₂/t cementicio al 2030 implica una reducción de un 17% con respecto a los valores 2016.

Los 629 KgCO₂/t cementicio de Emisiones Netas por unidad de producto cementicio de México se encuentran sobre la media mundial reportada en GNR 2019 (608 KgCO₂/t cementicio).

Al 2030, este indicador está 129 KgCO₂/t cementicio por sobre las metas del Technology Roadmap CSI (520 KgCO₂/t cementicio de intensidad de emisión) En esta línea, es importante seguir investigando nuevas tecnologías para la mitigación de emisiones.

Comparativo Emisiones Brutas por unidad de producto cementicio México versus GNR

Este indicador representa las principales emisiones directas, en el cual no se consideran las emisiones derivadas de la generación eléctrica on-site ni de las emisiones de biomasa proveniente de los combustibles alternativos.

Este indicador se representa en kilogramos de CO₂ emitidos versus las toneladas de producto

cementicio producido. En el caso de México, este indicador alcanza los 652 kg CO₂/t cementicio.

La siguiente figura muestra la comparación de las emisiones brutas por unidad de producto cementicio con otros países y/o regiones reportados en GNR.

Emisiones Brutas Cementitious

Pais / Región	Kg CO ₂ /t cementitious	Origen Data
Argentina 2015	530	HdR FICEM
Austria	541	GNR 2019
Brasil	564	HdR Indep.
India	566	GNR 2019
Alemania	581	GNR 2019
Chile	585	HdR FICEM
Latinoamérica	597	GNR 2019
Polonia	599	GNR 2019
Colombia	600	HdR FICEM
Peru	607	HdR FICEM
Republica Dominicana	609	HdR FICEM
Macrozona FICEM	612	GNR 2019
Francia	624	GNR 2019
Mundo	635	GNR 2019
Central America	637	GNR 2019
Reino Unido	641	GNR 2019
Asia (n.e.c.)/Oceania	649	GNR 2019
México 2016	652	HdR FICEM
China/Korea/Japan	657	GNR 2019
Tailandia	679	GNR 2019
CIS	694	GNR 2019
España	695	GNR 2019
Middle East	731	GNR 2019
Egipto	736	GNR 2019
Estados Unidos	750	GNR 2019

De acuerdo con la figura, podemos mencionar que:

México se encuentra sobre la media con sus 652 kgCO₂/t cementicio.

Este indicador es un 19% mayor que el país de más baja emisión (Argentina) y un 13% menor que el país de máxima emisión (Estados Unidos).

El promedio mundial reportado en GNR 2019 alcanzó los 635 kgCO₂/t cementicio, y México se encuentra 17 puntos por sobre este valor de referencia.

Comparativo Factor Clínter/Cemento México versus GNR

El Factor Clínter/Cemento se define como la razón entre la cantidad total de clínter consumido al año para producir cemento, independiente del origen del clínter, y la cantidad total de cemento producido al año.

De acuerdo con el Reporte, el Factor Clínter de México es de un 75% promedio.

En la siguiente figura se compara el Factor Clínter de México con países y regiones reportados en GNR.

Factor Clínter / Cemento		
País/Región	% clínter	Origen Data
Percentil 10 GNR	65%	GNR 2019
Colombia	68%	HdR FICEM
India	68%	GNR 2019
Brasil	68%	HdR Indep
Argentina	68%	HdR FICEM
Austria	70%	GNR 2019
Chile	70%	HdR FICEM
Integradas	71%	GNR 2019
Latinoamérica	71%	GNR 2019
Alemania	72%	GNR 2019
Macrozona FICEM	72%	GNR 2019
Central America	72%	GNR 2019
Republica Dominicana	73%	HdR FICEM
Moliendas	73%	GNR 2019
Sudamérica ex. Brazil	74%	GNR 2019
Polonia	74%	GNR 2019
México 2016	75%	HdR FICEM
Africa	75%	GNR 2019
Planta Referencia GNR	75%	GNR 2019
Peru	76%	HdR FICEM
Mundo	76%	GNR 2019
China/Korea/Japan	77%	GNR 2019
Francia	77%	GNR 2019
Europe	77%	GNR 2019
Asia (n.e.c.)/Oceania	79%	GNR 2019
España	81%	GNR 2019
Tailandia	82%	GNR 2019
Egipto	84%	GNR 2019
Middle East	86%	GNR 2019
Reino Unido	88%	GNR 2019
Percentil 90 GNR	88%	GNR 2019
North America	88%	GNR 2019
Estados Unidos	89%	GNR 2019

De acuerdo con la figura podemos mencionar que:

El promedio de México (75%) demuestra que está en línea con la media reportada en GNR 2019 (75%), pero se encuentra distanciado de los países con mejor desempeño para este indicador, como por ejemplo, Colombia y Argentina que han alcanzado un 68%.

En relación con las mejores plantas reportadas en GNR (percentil 10) de este indicador, México está a 10 puntos porcentuales.

Además, es importante destacar que este eje es responsable de casi el 37% de las reducciones totales proyectadas por CSI al año 2050, en donde cada punto de reducción equivale, aproximadamente, a una tonelada evitada de CO₂ por unidad de producto.

Este indicador no solo debe ser considerado en la producción de cemento, sino que también es relevante un análisis “aguas abajo” del uso del producto. Por ejemplo, si comparamos este indicador para México con Estados Unidos, se observa un evidente mejor desempeño. Sin embargo, al analizar este último mercado, el alto porcentaje de clínter en el cemento se relaciona a la fabricación del cemento Portland, y la posterior dosificación de adiciones en la producción de concreto, por lo cual el efecto de reducción de CO₂ se alcanza en otro punto del ciclo de vida del cemento. Es importante considerar esta experiencia dado que, a futuro, y debido a la demanda de cemento de alto desempeño, este tipo de tendencia también podría observarse en México

Tal como se ha documentado en las Hojas de Ruta de CSI, Brasil e India, es importante tener en consideración que reducir este indicador implica estrategias complejas para la industria. Las principales barreras son: mantener la calidad del producto, la disponibilidad de materias primas alternativas, los marcos regulatorios y la aceptación del mercado de estas mejoras tecnológicas.

En resumen, el 75% alcanzado en México ha significado importantes disminuciones de CO₂. Las metas fijadas por la industria global del cemento al año 2030 y 2050

(64% y 60% respectivamente), plantean un desafío aún mayor en materias de tecnología e innovación para la industria mexicana. Sin embargo, en México existe un déficit de infraestructura y requerimientos de construcción resiliente, lo que complejiza aún más estas proyecciones.

Estos antecedentes fueron considerados para la aplicación de los papers en el Taller de Potencial de Reducción.

De acuerdo con la estimación de Potencial de Reducción al año 2030, la industria de México deberá seguir aumentando el nivel de adiciones en el cemento. Lo anterior se transforma en el mayor desafío para mejorar este indicador, y se relaciona con los futuros requerimientos de calidad para el cemento.

En este sentido, se torna necesario evaluar las tecnologías determinadas por ECRA, las cuales pueden enfrentar las nuevas demandas de calidad sin incrementar significativamente la participación de clínker, por ejemplo, por medio de molindas separadas de los componentes, o la producción de arcilla calcinada como adición al cemento.

Comparativo Coprocesamiento México versus GNR

El Coprocesamiento se define como la razón entre la cantidad total de energía térmica asociada a combustibles alternativos y biomasa utilizada al año, y la cantidad total de energía térmica utilizada al año considerando solo las plantas integradas.

En México, el Coprocesamiento para el año 2016 es de un 12%.

En la figura se compara el porcentaje de coprocesamiento de México con países y regiones reportados en GNR y Hojas de Ruta.

Coprocesamiento

Pais/Región	% Combustibles Alternativo:Origen Data	
Alemania	90%	GNR 2019
Austria	78%	GNR 2019
Polonia	68%	GNR 2019
Europe	50%	GNR 2019
Percentil 90 GNR	47%	GNR 2019
Reino Unido	46%	GNR 2019
Francia	43%	GNR 2019
España	36%	GNR 2019
Brasil	31%	HdR Indep.
Mundo	19%	GNR 2019
Latinoamérica	18%	GNR 2019
Central America	17%	GNR 2019
Egipto	17%	GNR 2019
Planta Referencia GNI	16%	GNR 2019
North America	15%	GNR 2019
Tailandia	15%	GNR 2019
Estados Unidos	15%	GNR 2019
Chile	15%	HdR FICEM
Africa	13%	GNR 2019
Middle East	13%	GNR 2019
México 2016	12%	HdR FICEM
Asia (n.e.c.)/Oceania	11%	GNR 2019
Macrozona FICEM	8%	GNR 2019
China/ Korea/Japan	8%	GNR 2019
Colombia	8%	HdR FICEM
Sudamerica ex. Brazil	7%	GNR 2019
Argentina	5%	HdR FICEM
Republica Dominican:	4%	HdR FICEM
India	4%	GNR 2019
Peru	0,0% ^o	HdR FICEM

De acuerdo con la figura, podemos mencionar que:

El promedio de México (12%) se encuentra debajo de la media mundial reportada por GNR 2019 (16%).

México se encuentra sobre el grupo de países o regiones con bajo promedio de coprocesamiento. Por ejemplo, Medio Oriente y República Dominicana no superan el 4%, y Sudamérica tiene un porcentaje de Coprocesamiento de 7%.

Los países de mejor desempeño superan ampliamente el 40%, destacándose Austria y Alemania con indicadores de 78% y 90% respectivamente.

Considerando que el 12% de Coprocesamiento se encuentra por debajo de la media mundial de GNR, y por debajo de las proyecciones de CSI 2030 y 2050 (17,5 y 30% respectivamente), existe un importante potencial de reducción para México en este eje de reducción. Además, este eje no sólo aporta a la reducción de CO₂, sino que también es una alternativa segura a la eliminación final de residuos mediante su valorización energética. Por ello, todas las Hojas de Ruta de la Industria del Cemento consideran este eje como prioritario dado su doble beneficio ambiental.

Se debe considerar que aumentar los niveles de coprocesamiento no solo depende de la industria. La experiencia internacional ha demostrado que la disponibilidad presente y futura de los residuos, los marcos regulatorios y los costos logísticos asociados, influyen significativamente en los niveles de coprocesamiento que se puedan alcanzar.

En resumen, el eje de Coprocesamiento, dado el bajo porcentaje de México, representa una gran oportunidad. De acuerdo con los modelos desarrollados en la calculadora FICEM, solo incorporando el 10% de residuos sólidos urbanos que se encuentran a una distancia máxima de 100 Km de las plantas para América Latina y El Caribe, el coprocesamiento alcanzaría un 21% y para el caso de

las llantas fuera de uso, si se incorporara solo la mitad de estas llantas a nivel nacional el coprocesamiento alcanzaría un 7%. Este potencial de coprocesamiento de un 28% (RSU a 100 Km y 50% de Llantas fuera de uso) podría ser aún mayor si se incorpora un porcentaje superior al 50% de llantas o se aumenta la distancia de recolección a más de 100 Km.

El porcentaje de Coprocesamiento de México (12%) es bajo comparado con la media mundial reportada en GNR. La brecha es mayor al compararlo con las metas del Technology Roadmap CSI 2030 y 2050 (17,5% y 30% respectivamente).

Es importante destacar los logros alcanzados por Alemania y Austria, que, de acuerdo con estudios realizados por FICEM, están relacionados con políticas públicas que han incentivado la valorización de residuos y desestimulado los rellenos sanitarios.

La importancia de este eje no solo radica en el alto potencial de reducción de CO₂ disponible, sino que también en la eliminación segura de residuos, evitando así el alto nivel de emisiones de metano del sector residuos.

Pese a estos logros, la industria del cemento debe seguir promoviendo la aprobación de marcos normativos que apoyen el coprocesamiento como un mecanismo esencial para impulsar la economía circular, además de evaluar la disponibilidad futura de residuos y la consideración de los costos logísticos asociados.

Comparativo Consumo Térmico Macrozona versus GNR

El Consumo Térmico se define como la razón entre el consumo térmico total en horno de todas las plantas integradas de un país o Macrozona, y la cantidad total de clínker producido. El Consumo Térmico promedio

de México es de 3718 MJ/t Clínker, indicador aplicable sólo a las Plantas Integradas.

En la siguiente figura se compara el consumo térmico de México con países y regiones reportados en GNR.

Eficiencia Térmica

País/Región	MJ / t clínker	Origen Data
Percentil 10 GNR	3000	GNR 2019
India	3098	GNR 2019
China / Korea/Japan	3275	GNR 2019
Integradas	3330	GNR 2019
Tailandia	3348	GNR 2019
Asia (n.e.c.)/Oceania	3362	GNR 2019
Peru	3398	HdR FICEM
Medio East	3407	GNR 2019
Republica Dominicana	3440	HdR FICEM
Mundo	3489	GNR 2019
Planta Referencia GNR	3510	GNR 2019
Macrozona FICEM	3515	GNR 2019
Sudamérica ex. Brasil	3523	GNR 2019
España	3531	GNR 2019
Brasil	3538	HdR Indep.
Latinoamérica	3589	GNR 2019
Argentina	3622	HdR FICEM
África	3673	GNR 2019
Polonia	3680	GNR 2019
Central América	3695	GNR 2019
Europea	3717	GNR 2019
México 2016	3718	HdR FICEM
Reino Unido	3815	GNR 2019
Alemania	3817	GNR 2019
North América	3856	GNR 2019
Egipto	3865	GNR 2019
Austria	3882	GNR 2019
Estados Unidos	3884	GNR 2019
Colombia	3885	HdR FICEM
Chile	3887	HdR FICEM
Francia	3905	GNR 2019
Percentil 90 GNR	4100	GNR 2019

De acuerdo con la figura, podemos mencionar que: México tiene un Consumo Térmico superior (3718 MJ/t Clínker) al promedio global de las plantas GNR 2019 (3510 MJ/t). En el caso del promedio de Latinoamérica GNR (3589 MJ/t), México también se encuentra por sobre el promedio de la región.

De acuerdo con el Reporte México, existe una gran heterogeneidad en el desempeño de las plantas. Por un lado, la planta con mejor desempeño alcanza los 3.068 MJ/t clínker, valor muy cercano al percentil 10 de GNR, lo que indica un excelente indicador de eficiencia energética. Y, por otro lado, la planta con más bajo desempeño alcanza los 6.617 MJ/t clínker, consumo térmico que más que duplica a la de mejor desempeño en México.

Con respecto a las tecnologías de referencia para este eje, los papers de la ECRA establece que procesos secos, precalcinador, precalentador de ciclones de múltiples etapas y quemadores multicanal, aseguran los mejores niveles de rendimiento energético disponibles (3.0-3.4 GJ/t clínker). Además, estos papers indican que estas modernizaciones ocurren por condiciones de mercado y/u obsolescencia de equipos, tal como lo señala también la Hoja de Ruta de CSI.

En relación con lo anterior, se puede proyectar que al 2030 existirá un mejoramiento de este indicador debido al proceso de modernización de las plantas de cemento en México.

Se debe tener en cuenta que la implementación de otros ejes de reducción, como coprocesamiento, pueden aumentar el consumo de energía térmica. Por ejemplo, un mayor uso de combustibles alternativos, con un contenido calórico generalmente más bajo, resulta en un aumento de la demanda de energía térmica específica de Clínker (se proyecta en el roadmap CSI que un aumento

de 24 puntos de coprocesamiento reducirían la eficiencia térmica en 110 MJ / t clínker a nivel mundial al 2050).

Las inversiones asociadas no se justifican exclusivamente para reducir CO₂, debido al alto nivel de inversiones y al bajo impacto en la disminución de emisiones de CO₂.

El Consumo Térmico de México (3718 MJ/t Clínker) se encuentra por encima de la Planta de Referencia de GNR 2019. Cabe destacar que el Percentil 10 de GNR es de 3000 MJ/t.

Este nivel de consumo térmico se encuentra por sobre las metas del Technology Roadmap CSI 2030 y 2050 (3300 y 3100 MJ/t clínker, respectivamente).

Este eje es clave en los potenciales al año 2030, como resultado de la modernización de hornos y el uso de materias primas descarbonatadas.

Comparativo Consumo Eléctrico México versus GNR

El Consumo Eléctrico se define como la suma del consumo eléctrico de la producción de la parte de clínker que se utiliza para producir cemento, y el consumo eléctrico en usos no clínker, todo dividido por la producción de cemento de la planta.

El Consumo Eléctrico de México para plantas integradas es de 109 KWh/t cemento y sus emisiones indirectas representan el 7% de las emisiones totales. En la siguiente figura se compara el consumo eléctrico de México con países y regiones reportados en GNR.

Eficiencia Eléctrica

Pais/Región	kWh/ton cemento	Origen Data
India	73	GNR 2019
Percentil 10 GNR	85	GNR 2019
Asia (n.e.c.)/Oceania	94	GNR 2019
Republica Dominicana	98	HdR FICEM
China/Korea/Japan	99	GNR 2019
Macrozona FICEM	100	GNR 2019
Sudamérica ex. Brazil	101	GNR 2019
Argentina	101	HdR FICEM
Colombia	101	HdR FICEM
Mundo	102	GNR 2019
Africa	102	GNR 2019
Planta Referencia GNR	104	GNR 2019
Tailandia	104	GNR 2019
Polonia	105	GNR 2019
Latinoamérica	106	GNR 2019
Brasil	108	GNR 2019
Centroamérica	108	GNR 2019
México 2016	109	HdR FICEM
Middle East	110	GNR 2019
Austria	113	GNR 2019
Alemania	114	GNR 2019
Peru	115	HdR FICEM
Egipto	115	GNR 2019
Reino Unido	116	GNR 2019
Europa	116	GNR 2019
Francia	122	GNR 2019
Percentil 90 GNR	129	GNR 2019
Estados Unidos	135	GNR 2019
Norte América	136	GNR 2019
Chile	137	HdR FICEM
España	150	GNR 2019

De acuerdo con la figura, podemos mencionar que:

México tiene un Consumo Eléctrico que se encuentra 5 KWh/t Cemento por sobre la media global para el 2019 (104 KWh/t cemento). Pero es importante destacar que la mejor planta ha alcanzado los 79 KWh/t cemento, valor en línea con los mejores desempeños a nivel global, pero en contraparte, existe una planta cuyo desempeño alcanza los 203 KWh/t cemento, valor que prácticamente duplica la media mundial.

Se debe tener presente que la implementación de otros ejes de reducción puede aumentar el consumo de energía eléctrica en el futuro. La captura de CO₂, por ejemplo, de las plantas de cemento en el 2DS a nivel mundial da como resultado 15 - 19 kWh /t cemento adicionales.

Dado lo anterior, podría ser una ventaja transformar esta matriz a una compuesta principalmente por energías renovables, tradicionales y no convencionales. Como lo señala el Roadmap de CSI 2018, se recomienda impulsar el uso de energía eléctrica generada por fuentes renovables en las Plantas.

También se debe tener presente que el factor promedio de emisión de CO₂ de energía consumida por las plantas es de 461 kg CO₂/MWh, valor cercano a la media de la industria global; de aquí la importancia de buscar reducir este factor mediante el uso de energías renovables no convencionales.

México posee un Consumo Eléctrico (109 KWh/t cemento) que se encuentra sobre la planta de referencia de GNR 2019 (104 kWh/t cemento), y el promedio de Latinoamérica (106 kWh/t cemento).

De acuerdo CSI, este eje tiene aportes relevantes a las reducciones de CO₂ al año 2030, impulsando el consumo de energía eléctrica proveniente de fuentes de bajo nivel de emisiones de CO₂.

En resumen, con relación a los principales puntos analizados en el presente capítulo, podemos indicar que:

La industria del cemento deberá seguir posicionando al cemento como el material de construcción con mayor resiliencia para la necesaria adaptación a los efectos del cambio climático que se requiere en México, dado que la Adaptación ha sido considerada como prioritaria en todas las políticas climáticas de este país.

Ejemplo de lo anterior son las necesidades de vivienda e infraestructura vial de México, desafíos en los cuales la Industria del Cemento puede contribuir con su experiencia y conocimiento en los códigos y diseños de construcción sostenible, como también la infraestructura que será necesaria para enfrentar el estrés hídrico en México debido a los períodos de sequía proyectados por efectos del cambio climático.

Destacamos la significativa reducción alcanzada en la intensidad de emisiones netas de CO₂ en la producción de cemento en México al año 2016, (24% En el caso emisiones brutas y 26% emisiones netas) con relación al año 1990. Lo anterior, fue logrado, principalmente, por las acciones efectuadas en los ejes Factor *Clínker* y Eficiencia Térmica, en este último es importante aclarar que, en el consumo de energía térmica, superior al promedio global, inciden las plantas de cemento blanco existentes en la industria nacional.

El Potencial de Reducción al año 2030 se proyecta en un 17% (emisiones netas) como propuesta de la industria y condicionada por marcos regulatorios, entre otros. Este Potencial se encuentra enfocado principalmente en los ejes Eficiencia Térmica, Combustibles Alternativos y Factor *Clínker*.

La industria del cemento deberá seguir impulsando el Coprocesamiento y el uso de biomasa, por ser uno de sus principales ejes disponibles para seguir reduciendo emisiones de CO₂.

Además, el Coprocesamiento genera el doble beneficio ambiental de la reducción de CO₂ y el aprovechamiento seguro de residuos. Por ello, la industria del cemento debe seguir apoyando la aprobación de marcos normativos que fomenten el coprocesamiento como un mecanismo esencial para el desarrollo de la economía circular.

Otra de las ventajas de la construcción en cemento es el aporte a las reducciones de GEI indirectas debido a la durabilidad (por ejemplo: carreteras) y eficiencia térmica (por ejemplo: viviendas), que, además, contribuyen a mejorar la calidad de vida.

Se debe considerar la interacción entre los ejes en la reducción de emisiones de CO₂, en donde no siempre existe adicionalidad. Por ejemplo, (1) incrementar la actividad del coprocesamiento puede significar pérdidas en la eficiencia térmica; e (2) aumentar el uso de adicionales tales como escoria pueden implicar un mayor consumo eléctrico.

Todos estos análisis se basan en la aplicación del sMRV y Calculadora FICEM que aportan a la confiabilidad y representatividad de la información.

Es importante destacar que en el proceso de la elaboración de esta Hoja de Ruta ha existido un diálogo permanente con la industria local, lo que ha contribuido a que esta Hoja de Ruta determine los reales potenciales de mitigación de GEI.

6

Acciones y Compromisos Hoja de Ruta

Acciones y Compromisos Hoja de Ruta México - FICEM – CANACEM

1. Esta hoja de ruta representa la ambición de la industria del cemento para aportar a la disminución de emisiones de CO₂, necesarias para cumplir con las trayectorias al 2030 determinadas por FICEM y basadas en el Roadmap de la Cement Sustainability Initiative / International Energy Agency del año 2018.
2. En particular, la industria tiene como meta reducir su intensidad de emisión de CO₂ a 520 kg CO₂/ton cem netas al año 2030, tomando como referencia los 629 kg CO₂/ton cem netas en el año 2016, indicados en el Reporte verificado por PwC (Anexo 1). De acuerdo a lo establecido en esta Hoja de Ruta, este compromiso se alcanzará de acuerdo al siguiente escenario:
 - el aumento de la tasa de coprocesamiento desde los 11,8% alcanzados el año 2016, hasta el 32% de coprocesamiento proyectado al año 2030; y la reducción del Factor Clínter desde un 75% del año 2016 a un 66% al año 2030.
3. Asimismo, en relación a las Emisiones Brutas, la industria tiene como ambición llegar a los 550 KgCO₂/t cem al año 2030, lo que implica una reducción del 16% respecto de los 652 KgCO₂/t cem del año base 2016.
4. La industria del cemento de México se compromete a liderar las acciones necesarias para alcanzar los objetivos definidos en esta Hoja de Ruta, apoyando a las partes interesadas que correspondan, mediante la investigación, capacitación y seguimiento requeridos.
5. Alcanzar las metas propuestas en esta Hoja de Ruta, dependerán dependerá de los 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. Lo anterior se requiere para impulsar el despliegue de mecanismos de reducción de emisiones, tales como: a) el coprocesamiento de residuos a través del trabajo conjunto con autoridades en todos los niveles, y b) la promoción de cemento y concreto bajos en carbono a través del trabajo a nivel normativo.
6. Además del factor clínter y coprocesamiento, enfatizar los esfuerzos en otros ejes de reducción, como el incremento de la eficiencia energética, la inversión en activos ambientales que capturen CO₂, entre otros.
7. Por último, CANACEM se compromete a mantener alineados estos compromisos, con respecto a las directrices que la ciencia climática defina.

7

Referencias
Bibliográficas

Referencias Bibliográficas

- *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, CMNUCC, Acuerdo de París, 2015*
- *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, CMNUCC, 1992*
- *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, CMNUCC, Manual, 2006*
- *CO₂ and Energy Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry, 2011, World Business Council for Sustainable Development, WBCSD, 2011.*
- *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero del 2006, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC, 2006*
- *FICEM Hoja de Ruta CO₂, 2017: Hacia una Economía baja en Carbono, Federación Interamericana del Cemento, 2017.*
- *The GCCA 2050 Cement and Concrete Industry Roadmap for Net Zero Concrete, GCCA, 2021*
- *Getting the Numbers Right, The Cement Sustainability Initiative, CSI, Cement Industry Energy and CO₂ Performance, 2020*
- *Guía de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima CAF, Banco de Desarrollo de América Latina, CAF, 2018*
- *Ley General de Cambio Climático, Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2020*
- *Ley General de Salud, Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2021*
- *“Low Carbon Technology Partnerships initiative - Cement”, Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible, WBCSD, 2015*
<http://docs.wbcsd.org/2015/11/LCTPi-Cement-Report.pdf>
- *MRV 101: Understanding Measurement, Reporting, and Verification of Climate Change Mitigation, World Resources Institute, WRI, 2016*

- *Papers Tecnológicos*, Academia Europea para Investigación del Cemento, ECRA 2017
- *Política Nacional de Cambio Climático, 2017, Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, 2017*
- *Protocolo de Gases Efecto Invernadero*, World Business Council for Sustainable Development, WBCSD / World Resources Institute, WRI, 2001
- *Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC, 2013
- *Technology Roadmap de CSI: Transición a una Industria del cemento baja en carbono, Iniciativa para la Sustentabilidad del Cemento, CSI, 2018*

8

Anexos

Anexo 1

Informe Verificación PwC



INFORME DE LOS PROFESIONALES INDEPENDIENTES

Santiago, 23 de agosto de 2022

Señora
María José García Jaramillo
Directora Ejecutiva
Federación Interamericana del Cemento (FICEM)

Hemos revisado el "Reporte País México 2016", proporcionado por FICEM con fecha 03 de agosto del 2022 que consolida la información sobre niveles base y proyecciones de los procesos industriales, materias primas e insumos utilizados para la producción de clínker y cemento, así como las emisiones estimadas de CO₂ reportadas por distintas compañías cementeras de México. La Administración de FICEM es responsable de la preparación y presentación del "Reporte País México 2016", de acuerdo a los criterios establecidos en el "Protocolo de Procesamiento, Consolidación y Validación de Datos FICEM". Nuestra responsabilidad consiste en expresar una conclusión sobre la correcta utilización de los números basales que PwC ha recibido de las distintas compañías y la aplicación adecuada del Protocolo en la elaboración del "Reporte País México 2016" a base de nuestra revisión.

Nuestra revisión fue efectuada de acuerdo con estándares de atestiguación establecidos por las Normas de Atestiguación emitidas por el Colegio de Contadores de Chile A.G. Tales normas requieren que planifiquemos y realicemos la revisión con el objeto de lograr una seguridad limitada respecto de si cualquier modificación significativa debiera realizarse al "Reporte País México 2016" para que éste esté de acuerdo con los criterios establecidos en el Protocolo de Procesamiento, Consolidación y Validación de Datos FICEM mencionados en el párrafo precedente y la información recibida por PwC de las distintas compañías. Una revisión tiene un alcance substancialmente menor al de un examen, cuyo objetivo es lograr un razonable grado de seguridad si el "Reporte País México 2016" está de acuerdo con los criterios establecidos en el "Protocolo de Procesamiento, Consolidación y Validación de Datos FICEM", en todos sus aspectos significativos, para así poder expresar una opinión. En consecuencia, no expresamos tal tipo de opinión. Consideramos que nuestra revisión nos proporciona una base razonable para nuestra conclusión.

Como parte de nuestra revisión realizamos, entre otros procedimientos, la constatación que los datos utilizados en el "Reporte País México 2016" son consistentes con la información reportada por:

- CEMEX: Plantas Atotonilco Gris, Atotonilco Blanco, Barrientos, Ensenada, Guadalajara, Hidalgo, Huichapan, Merida, Monterrey Gris, Monterrey Blanco, Tamuin, Tepeaca, Torreon, Valles Gris, Valles Blanco, Yaqui y Zapotiltic.
- Cementos Chihuahua: Plantas Samalayuca y Chihuahua.
- Cementos Fortaleza: Plantas Tula, Vito y Palmar.
- Cementos Moctezuma: Plantas Tepetzingo, Cerritos y Apazapan.
- Holcim México: Plantas Acapulco, Apaxco, Hermosillo, Macuspana, Orizaba, Ramoz Arizpe y Tecoman.
- Cruz Azul: Plantas Cycna de Oriente, Hidalgo, Cycna y Lagunas, Oaxaca.

PwC Chile, Av. Andrés Bello 2711 - piso 5, Las Condes - Santiago, Chile
RUT: 81.513.400-1 | Teléfono: (56 2) 2940 0000 | www.pwc.cl



Santiago, 23 de agosto de 2022
Federación Interamericana del Cemento (FICEM)
2

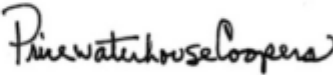
En la ejecución de nuestra revisión, hemos cumplido con la independencia y otros requerimientos éticos expuestos en el Código de Conducta Profesional.

A base de nuestra revisión, no tenemos conocimiento de cualquier modificación significativa que debiera realizarse al "Reporte País México 2016", proporcionado por FICEM con fecha 03 de agosto del 2022, para que éste esté de acuerdo con los criterios establecidos en el "Protocolo de Procesamiento, Consolidación y Validación de Datos FICEM" y la información recibida por PwC de las distintas compañías.

DocuSigned by:

1230180921AF4465

Gonzalo Riederer H.
RUT: 13.757.157-9



Anexo 2

Reporte Emisiones Verificado 2016



Reporte País

País	México
Año datos	2016
Reporte:	sMRV FICEM 009 MX 2016
Fecha reporte	miércoles, 3 de agosto de 2022
N° de plantas	36

I. Producción

Cemento

1. Cemento Producido	46.963.422	ton cemento/año
2. Cementitious Producido	47.127.274	ton cementitious/año

Clinker

1. Producido	35.193.303	ton Clinker/año
2. Comprado	99.268	ton Clinker/año
3. Vendido	86.931	ton Clinker/año
4. Transferido	72.590	ton Clinker/año
5. Variación de stock	248.780	ton Clinker/año
6. Consumido	35.029.451	ton Clinker/año

II. Indicadores Técnicos

	Promedio ponderado	Mínimo	Máximo	
1. Factor Clinker	75%	62%	91%	%
2. Consumo Térmico Plantas Integradas	3.718	3.068	6.617	MJ/ton Clinker
3. Coprocesamiento	11,8%	0,0%	40,9%	%
Factor Emisión Promedio Combustibles	88	67	93	Kg CO ₂ /GJ
4. Consumo Eléctrico (todas las plantas)	109			
Plantas Integradas	109	79	203	KWh/ton cemento
Moliendas	92	92	92	
Factor Emisión Red Eléctrica	461	438	528	Kg CO ₂ /MWh

Informe

sMRV FICEM | 009 | MX | 2016

Generado con


 Calculadora CO₂ FICEM de acuerdo al "Protocolo de procesamiento, agregación y validación de datos FICEM" disponible en www.ficem.org

 OMNICEM
 Página 1 de 2

FICEM		Reporte País	
Hoja de Ruta CO ₂			
País		México	
Año datos		2016	
Reporte:		sMRV FICEM 009 MX 2016	
Fecha reporte		miércoles, 3 de agosto de 2022	
N° de plantas		36	

III. Emisión Específica CO₂

Alcance 1			KgCO ₂ /ton clinker	Kg CO ₂ /ton cementitious	KgCO ₂ /ton cemento
DIRECTAS	BENTAS	1. Descarbonatación	544	406	400
		2. Combustibles convencionales horno	297	222	219
		3. Combustibles fuera de horno	1,5	1,1	1,1
		4. Combustibles alternativos horno	31	23	23
		5. Combustible gen. elec. on-site	0	0	0
		6. Combustible Biomasa (CO ₂ neutral)	7	5	5
Netas			842	629	619
Brutas			874	652	642
Absolutas directas			874	652	642
Alcance 2 Electricidad Externa			39,1	50	50
Alcance 3 Clinker Externo			NA	NA	0
			<i>Factor emisión: 865 KgCO₂/ton clinker</i>		
Alcance 1 + Alcance 2 + Alcance 3			913	702	692

Informe	sMRV FICEM 009 MX 2016	 OPNSICEM Página 2 de 2
Generado con	Calculadora CO ₂ FICEM de acuerdo al "Protocolo de procesamiento, agregación y validación de datos FICEM" disponible en www.ficem.org	

