



Guía para la Tecnología Cementera 2009

Reducciones de emisiones de carbono hasta el 2050



World Business Council for
Sustainable Development



International
Energy Agency

Las tendencias actuales de suministro y uso de energía no son sostenibles – a nivel económico, ambiental o en la sociedad. Podemos y debemos cambiar el camino que hemos tomado: esto implicará una revolución energética, enfocándose en tecnologías energéticas bajas en emisiones de carbono como eje principal. Aunque no tenemos claramente establecidos todos los pasos precisos en el camino hacia una economía baja en emisiones de carbono, no podemos esperar a que el camino se vaya despejando. Por el contrario, debemos avanzar de manera proactiva en materia de investigación, desarrollo y despliegue tecnológico para modelar el futuro nosotros mismos.

En 2008, los líderes del G8 reunidos en Hokkaido solicitaron a la Agencia Internacional de Energía (IEA por su sigla en inglés) liderar el desarrollo de un conjunto de hojas de ruta enfocadas en las tecnologías bajas en emisiones de carbono más importantes en términos de oferta y demanda de energía. Estas hojas de rutas servirán para identificar los pasos necesarios para implementar cambios tecnológicos acelerados y radicales, habilitando a los gobiernos, la industria y los socios financieros para tomar las decisiones correctas. Esto, a su vez, ayudará a las sociedades a tomar mejores decisiones.

Reconociendo la urgencia manifiesta de identificar la tecnología requerida para reducir la intensidad carbónica (CO₂) en la producción de cemento, la IEA ha trabajado de la mano con el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD por su sigla en inglés) en el desarrollo de una guía para la tecnología cementera. Ésta es la única guía para una industria específica; otras hojas de ruta se centran en tecnologías puntuales. Este esfuerzo conjunto muestra la disposición para aprovechar los avances ya logrados, así como la comprensión de la industria de que aún hay más camino por recorrer.

Las emisiones de CO₂ de la producción cementera representan actualmente alrededor del 5% de las emisiones antropogénicas globales de CO₂.

Desde el año 2002, las compañías miembro de la Iniciativa para la Sostenibilidad del Cemento (csi, por

su sigla en inglés) han avanzado significativamente, como grupo, en la medición, reporte y mitigación de sus emisiones de CO₂, compartiendo sus avances con el resto de la industria del cemento. Esta guía tecnológica es un paso lógico y complementario para promover la adopción de medidas eficaces contra el cambio climático. La guía cementera demarca el posible rumbo de transición para que la industria realice contribuciones continuas tendientes a reducir a la mitad las emisiones globales de CO₂ para el año 2050. Como parte de esta contribución, esta guía estima que la industria del cemento puede reducir sus emisiones directas actuales en un 18% para el 2050. Una reducción global de emisiones no implica una reducción lineal y en igual proporción en todas las industrias. Esta guía debe interpretarse como un análisis profundo de las posibilidades y desafíos en una sola industria.

La visión de estas reducciones es ambiciosa y los cambios requeridos para ello deben ser prácticos, realistas y alcanzables. Esta guía es un primer paso. Sólo es posible con un marco político que la soporte y con inversión de recursos económicos a largo plazo. Describe estas políticas, hace un estimado de los requerimientos financieros y describe los cambios técnicos, además de a recomendaciones para apoyar la investigación y desarrollo (R&D por sus siglas en inglés) y la toma de decisiones en inversiones futuras.

Hemos desarrollado esta guía de manera conjunta para mostrar el valor de la colaboración y cooperación en el logro de las reducciones de emisiones requeridas a nivel global. Ofrecemos un rumbo potencial para una industria. Con ello se busca un diálogo abierto con los responsables políticos, socios financieros y otras industrias para ayudarnos unos a otros a adaptarnos efectivamente al mundo con restricciones de carbono que enfrentaremos en los años por venir.

Nobuo Tanaka
Director Ejecutivo
Agencia Internacional de Energía (IEA)



Bjorn Stigson
Presidente
Consejo Empresarial Mundial para el
Desarrollo Sostenible (WBCSD)



Tabla de Contenido

Introducción	2
Enfoque en la industria	2
Preparación de esta guía	3
La fabricación de cemento en un vistazo	4
Ejes de reducción de emisiones de carbono	5
Posibles cementos bajos en carbono	5
Tecnología	6
Eficiencia térmica y eléctrica	6
Uso de combustibles alternativos	9
Sustitución de clínker	12
Captura y almacenamiento de carbono	14
Objetivos de la Guía	centre spread
Producción regional de cemento	centre spread
Hitos regionales clave	centre spread
¿Qué apoyo político se necesita?	17
Un enfoque sectorial para la reducción de emisiones	21
¿Qué apoyo financiero se necesita?	22
Indicadores de progreso	24
Acciones de las partes interesadas	25
En conclusión	26
Glosario	27
Referencias	28
Anexo I: Factores de emisión utilizados en el modelo de hoja de ruta de la IEA	28
Anexo II: Cálculo de la línea base utilizada en el modelo de hoja de ruta de la IEA	28
Anexo III: Principales diferencias entre escenarios de demanda baja y alta de cemento	29

Introducción

Enfoque en la industria

Para apoyar sus actividades hacia una guía centrada en tecnologías clave para la reducción de emisiones, la Agencia Internacional de Energía (IEA) también investigó una industria en particular: el cemento. La producción de cemento incluye tecnologías tanto específicas de esta industria como las que se comparten con otras industrias (por ejemplo, molienda, preparación de combustible, combustión, trituración, transporte). Una guía específica para la industria proporciona un mecanismo eficaz para agrupar varias opciones de tecnología. Describe el potencial de avance tecnológico para la reducción de emisiones en una industria, así como la posible colaboración entre sectores.

El cemento es el "pegante" esencial del concreto, un material de construcción fundamental para la infraestructura de la sociedad en todo el mundo. El concreto es superado sólo por el agua en cuanto a volúmenes totales consumidos anualmente por la sociedad. Pero la producción de cemento también coproduce CO₂, haciendo que la industria del cemento produzca aproximadamente el 5% de las emisiones de CO₂ generadas por el hombre. Con el incremento de las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático, se espera que la demanda de cemento aumente aún más. En los países en desarrollo, en particular, se prevé que, la producción de cemento crezca a medida que la modernización y el crecimiento continúan. En 2006, la producción mundial fue de 2,55 millones de toneladas (USGS, 2008). Para la hoja de ruta se utilizó un escenario de crecimiento

de demanda bajo, con una producción en 3.69 billones de toneladas en 2050. También se modeló un escenario de crecimiento alto, con producción de 4,40 millones de toneladas en 2050, cuyos detalles se incluyen en el Anexo III¹. También es claro que la sustitución del producto a una escala suficiente para el impacto real no es una opción; por lo menos durante la próxima década. Sin embargo, en los últimos años, la industria del cemento ha alcanzado una disociación parcial del crecimiento económico y las emisiones absolutas de CO₂: la producción de cemento a nivel mundial aumentó en un 54% entre 2000 y 2006 (USGS 2008), mientras que las emisiones absolutas de CO₂ aumentaron en un 42% (560 Mt), llegando a 1,88 Gt en 2006 (IEA)². Sin embargo, esta tendencia no puede continuar indefinidamente – donde quiera que el crecimiento de la demanda de mercado para el concreto y el cemento supere las posibilidades técnicas para reducir las emisiones de CO₂ por tonelada de producto, las emisiones absolutas de CO₂ seguirán aumentando.

- 1 La proyección de demanda del cemento es un parámetro fundamental para evaluar las posibles reducciones de emisiones. Una mayor demanda implicará menores reducciones absolutas alcanzables en el tiempo, aceleración de la implementación de la captura y almacenamiento de carbono (CAC), o una combinación de ambos. Una serie de proyecciones se encuentra en diversos estudios realizados: véase el Anexo III.
- 2 1.88Gt emisiones de CO₂ de las emisiones directas de energía y el proceso solamente.

Iniciativa de Sostenibilidad del Cemento de la WBCSD (CSI)

Las compañías miembro de la CSI – una iniciativa voluntaria por parte de las empresas – han abordado cuestiones relativas al cambio climático desde hace más de una década. Aunque hay efectos ambientales negativos de la fabricación de cemento que son bastante conocidos, también se sabe de beneficios del uso del concreto. El concreto puede durar por siglos con costos limitados de mantenimiento o reparación, y al final de su vida útil es reciclable (en agregados). Un edificio de concreto bien diseñado típicamente consume de 5 a 15% menos calor que un edificio equivalente de construcción ligera, y requiere menos servicios internos de calefacción y refrigeración. Durante su vida útil, el concreto lentamente absorbe CO₂ del aire (secuestro de carbono). Tiene un elevado efecto albedo, es decir, muchos rayos solares se reflejan y se absorbe menos calor, lo que resulta en temperaturas locales más frescas y reducción de los efectos "isla de calor urbano". El cemento también se produce y suministra a nivel local. La CSI está trabajando para entender el impacto del ciclo de vida del cemento, es decir, como concreto y material reciclado, y un posible paso siguiente a esta hoja de ruta es el desarrollo de una hoja de ruta tecnológica que tenga en cuenta este punto.

Elaboración de esta guía

La hoja de ruta se basa en un modelo para la industria del cemento en el contexto de los escenarios BLUE de la IEA, que examinan las implicaciones de un objetivo político general de reducir a la mitad las emisiones globales de CO₂ para el 2050 con respecto al 2006. Según el Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por su sigla en inglés), los escenarios BLUE son consistentes con

un aumento global de temperaturas de 2-3 °C, pero sólo si la reducción de emisiones globales de CO₂ relacionadas con la energía se combina con fuertes reducciones de otras emisiones gases de efecto invernadero. La hoja de ruta está basada en datos modelo de : *“Transiciones de Tecnología Energética para la Industria”* (IEA, 2009).

Escenario de Perspectivas de Tecnología Energética (ETP por su sigla en inglés) del Mapa BLUE 2008

El escenario ETP del mapa BLUE describe cómo puede transformarse la economía energética global para el 2050 a fin de alcanzar el objetivo mundial de reducir a la mitad las tasas anuales de emisiones de CO₂. El modelo es un modelo ascendente de repartición de mercados (MARKAL bottom-up) que utiliza la optimización de costos para identificar las mezclas de tecnologías energéticas y de combustibles de menor costo para satisfacer la demanda de energía, teniendo en cuenta restricciones tales como la disponibilidad de recursos naturales. El modelo ETP es un modelo global de 15 regiones que permite el análisis de opciones de combustible y tecnología en todo el sistema energético. La representación detallada de opciones de tecnología del modelo incluye cerca de 1000 tecnologías individuales. Adicionalmente, el modelo ETP se complementó con los modelos de demanda detallados para los principales usos finales en la industria, los sectores de construcción y transporte.

Las opciones de mitigación de la hoja de ruta de tecnología se describen en un conjunto de 38 documentos tecnológicos desarrollados por la Academia Europea de Investigación del Cemento (ECRA por su sigla en inglés), patrocinado por la CSI. Los potenciales de reducción específicos que contribuyen a la hoja de ruta fueron seleccionados por la IEA. Los documentos esbozan las tecnologías existentes y potenciales, sus costos estimados, los plazos de ejecución y el potencial de reducción.

Los documentos se centran en cuatro “ejes de reducción” a disposición de la industria del cemento: eficiencia térmica y eléctrica, uso de combustibles alternativos, sustitución de clínker, y captura y almacenamiento de carbono (CAC). Fundamentalmente, todas estas tecnologías y oportunidades deben utilizarse en forma conjunta si se pretende alcanzar los objetivos de los escenarios BLUE – ninguna opción puede, por si sola, generar las reducciones de emisiones necesarias.

Si bien los documentos se basan en los conocimientos actuales sobre el desarrollo de la tecnología, también ofrecen una visión de las posibles reducciones de emisiones futuras. Los documentos no contemplan un gran avance en la tecnología de fabricación del cemento, por lo que la importancia de la CAC es fundamental para que la industria reduzca sus emisiones de manera significativa. Pero incluso con el desarrollo e implementación de CAC, la industria del cemento no podría ser neutral en cuanto a emisiones de carbono con su actual marco tecnológico, financiero y de innovación. No existe actualmente un material de construcción alternativo para reemplazo del concreto a nivel global que pueda usarse a una escala suficiente. Otros materiales pueden ser sustitutos en algunas aplicaciones, pero no para aplicaciones tan amplias como el uso actual del concreto.

Los documentos tecnológicos pueden encontrarse en www.wbcsdcement.org/technology

La fabricación de cemento en un vistazo

El cemento es un polvo hecho por el hombre que, cuando se mezcla con agua y agregados, produce concreto. El proceso de toma de cemento se puede dividir en dos etapas básicas:

1. El clínker se hace en el horno a temperaturas de 1.450°C.
2. El clínker luego se muele con otros minerales para producir el polvo que conocemos como cemento.



1. Extracción de materias primas

Los depósitos calcáreos naturales tales como los de piedra caliza, margas o cretas proporcionan carbonato de calcio (CaCO_3) y se extraen de canchales habitualmente cerca de la planta de cemento. Pueden requerirse cantidades muy pequeñas de materiales "correctivos" como mineral de hierro, bauxita, esquistos, arcilla o arena para proporcionar el óxido de hierro (Fe_2O_3), alúmina (Al_2O_3) y de sílice (SiO_2) necesarios para adaptar la composición química de la mezcla cruda a los requerimientos de proceso y de producto.

2. Trituración

La materia prima se extrae y se transporta a las trituradoras primaria y secundaria para reducirse a piezas de 10 cm de largo.

3. Pre-homogenización y molienda de harina cruda

La pre-homogenización se lleva a cabo con materias primas que se mezclan para mantener la composición química requerida, y las piezas trituradas se muelen juntas para producir la "harina cruda". Para garantizar alta calidad del cemento, la química de materias primas y harina cruda se monitorea y controla cuidadosamente.

4. Precalentamiento

Un precalentador es una serie de ciclones verticales a través de los cuales se hace pasar la harina cruda, entrando en contacto con los gases calientes de salida del horno que se mueven en la contracorriente. En estos ciclones, se recupera la energía térmica de los gases de combustión calientes y la materia prima se precalienta antes de entrar en

el horno, a fin de que las reacciones químicas necesarias ocurran más rápido y más eficientemente. Dependiendo del contenido de humedad de la harina cruda, un horno puede tener hasta seis etapas de ciclones con recuperación de calor creciente en cada etapa adicional.

5. Precalcinación

La calcinación es la descomposición de la piedra caliza a cal. Parte de la reacción sucede en el "precalentador", una cámara de combustión en la parte inferior del precalentador encima del horno, y parte en el horno. En este caso, la descomposición química de la piedra caliza por lo general emite un 60-65% de las emisiones totales. La quema de combustible genera el resto, 65% de las cuales ocurren en el precalentador.

6. Producción de clínker en el horno rotatorio

La mezcla precalentada entra en el horno. El combustible se enciende directamente en el horno para alcanzar temperaturas de hasta 1450°C. A medida que el horno gira, de 3-5 veces por minuto, el material se desliza y cae por zonas progresivamente más calientes a lo largo de la llama. El calor intenso causa reacciones químicas y físicas que funden parcialmente la harina cruda, convirtiéndola en clínker.

7. Enfriamiento y el almacenamiento

Desde el horno, el clínker caliente cae a una rejilla enfriadora donde se enfría por aire de combustión entrante, minimizando así la pérdida de energía del sistema. Una planta de cemento típica tendrá almacenamiento del clínker entre la

producción de clínker y la molienda. El clínker habitualmente se intercambia.

8. Mezclado

El clínker se mezcla con otros componentes minerales. Todos los tipos de cemento contienen alrededor de 4-5% de yeso para controlar el tiempo de fraguado del producto. Si se utilizan grandes cantidades de escoria, cenizas volantes, piedra caliza u otros materiales para reemplazar clínker, el producto se denomina "cemento mezclado".

9. Molienda del cemento

El clínker enfriado se muele con una mezcla de yeso, convirtiéndose en un polvo gris, cemento Portland ordinario (OPC por su sigla en inglés), o con otros componentes minerales para obtener el cemento mezclado. Tradicionalmente se han utilizado molinos de bolas para la molienda, aunque en muchas plantas modernas de hoy se utilizan tecnologías más eficientes - prensas de rodillos y molinos verticales.

10. Almacenamiento de cemento en silo

El producto final se homogeniza y almacena en silos de cemento y desde ahí se despacha, bien a una estación de empaque (para cemento empacado) o a un silo para cemento a granel.

Nota: Hay tecnologías más antiguas y mucho menos eficientes, por ejemplo el horno húmedo en el que se alimenta la materia prima en forma de lodo y no como polvo (horno seco).

Ejes de reducción de emisiones de carbono

Varios estudios diferentes (IEA (2008, 2009), CSI (2009), ECRA (2009), CCAP (2008), McKinsey (2008)) se han centrado en el potencial de reducciones de emisiones de la industria del cemento. Usando diferentes escenarios, las emisiones de línea base y las proyecciones de demanda futura no obstante, llegan a conclusiones similares, y presentan los de relieve los impactos de los cuatro ejes de reducciones de emisiones de carbono:

1. Eficiencia térmica y eléctrica – despliegue de tecnologías de punta existentes en nuevas plantas cementeras y reacondicionamiento de equipos de eficiencia energética cuando sea económicamente viable.
2. Combustibles alternativos – uso de menos combustibles fósiles intensivos en carbono y más combustibles alternativos (fósiles) y biomasa en el proceso de producción de cemento. Los combustibles alternativos incluyen residuos que de otro modo serían quemados en incineradores, vertidos o depositados en rellenos sanitarios o

destruidos indebidamente.

3. Sustitución de clínker – sustituyendo el clínker intensivo en carbono, un producto intermedio en la fabricación de cemento, con otros materiales más bajos en carbono y con propiedades cementosas.
4. Captura y almacenamiento de carbono (CSS) - capturar el CO₂ antes de que sea liberado a la atmósfera y almacenarlo de forma segura para que no se libere en el futuro

Con frecuencia se da el caso que cada eje individual tiene influencia sobre el potencial de otro eje para reducir las emisiones. Por ejemplo, el uso de combustibles alternativos en general aumentará el consumo específico de calor (por ejemplo, debido a niveles de humedad más altos). Por tanto, la simple suma de los potenciales de reducción de cada tecnología para calcular los potenciales totales no es factible. El potencial de reducción de emisiones se basa en las emisiones netas.

Posibles cementos de bajo carbono

Una serie de cementos bajos en carbono o con carbono negativo están siendo desarrollados por empresas en creación que tengan previsto construir plantas piloto en 2010/11. Las propiedades mecánicas de estos cementos parecen ser similares a las del cemento Portland. Sin embargo, estos nuevos procesos se encuentran aún en fase de desarrollo. Aún no han demostrado ser económicamente viables ni probados a escala para su adecuación a largo plazo. Tampoco se han aceptado sus productos en la industria de la construcción, donde existen normas sólidas en cuanto a materiales y construcción. Según y cuando las primeras plantas de producción entren en funcionamiento, los usos iniciales posiblemente serán limitados y aplicables a mercados específicos, a la espera de una disponibilidad y aceptación del cliente. Por lo tanto, no sabe si puede tener un impacto en la industria futura del cemento. En consecuencia, no se han incluido en el análisis de la hoja de ruta. A largo plazo, pueden ofrecer oportunidades para reducir la intensidad de CO₂ de la producción de cemento; su progreso deben ser vigilado cuidadosamente y contar con apoyo potencial de los gobiernos y de la industria.

- **Novacem** tiene su base en silicatos de magnesio (MgO) en lugar de la piedra caliza (carbonato de calcio) que se utiliza en Cemento Portland Ordinario. Se estima que las reservas mundiales de silicatos de magnesio son grandes, pero éstas no están distribuidas uniformemente y requieren de transformación antes de su uso. La tecnología de la compañía convierte los silicatos de magnesio en óxido de magnesio en un proceso bajo en carbono,

a temperatura baja, y luego añade aditivos minerales que acelerar el desarrollo de la resistencia y absorción de CO₂. Esto ofrece la posibilidad de cemento con carbono negativo.

- **Calera** es una mezcla de carbonatos de calcio y magnesio, e hidróxidos de calcio y magnesio. Su proceso de producción consiste en hacer que el agua de mar, agua salobre o salmuera entre en con el calor residual del gas de combustión en la planta de generación de energía, donde se absorbe el CO₂, precipitando los minerales carbonatados.
- El cemento **Calix** se produce en un reactor por la calcinación rápida de roca dolomítica en vapor sobrecalentado. Las emisiones de CO₂ pueden capturarse usando un sistema separado de depuración de CO₂.
- El **cemento de geopolímeros** utiliza materiales de desecho de la industria energética (cenizas volantes, cenizas gruesas), la siderurgia (escoria), y de residuos de concreto, para hacer cementos activados con álcalis. El rendimiento de este sistema depende de la composición química de los materiales de base, la concentración de hidróxido de los activadores químicos hidróxido de sodio (NaOH) e hidróxido de potasio (KOH), y de la concentración de silicatos solubles. Los cementos geopolímeros se han comercializado en pequeñas instalaciones, pero aún no se han utilizado en aplicaciones a gran escala, donde la resistencia es crítica. Este proceso fue desarrollado en la década de 1950.

Tecnología

Eficiencia térmica y eléctrica

Cuando se construyen nuevas plantas cementeras, los fabricantes instalan las tecnologías desarrolladas más recientemente y que son típicamente las más eficientes en términos de energía. Por lo tanto, los hornos nuevos son comparativamente muy eficientes en términos de energía. Las tecnologías más eficientes suelen proporcionar una ventaja de costos para el productor a través de menores costos de energía, por lo que la eficiencia sí aumenta gradualmente en el tiempo con la adición de nuevas plantas y el reacondicionamiento de las plantas viejas.

Existe una gama muy amplia de tecnologías disponibles, y los ahorros por unidad varían entre 0,2 y 3,5 GJ / tonelada de clínker. La industria está eliminando gradualmente hornos largos secos e ineficientes, así como el proceso de producción húmeda. Las fuerzas de mercado y económicas provocan por lo general el cierre de instalaciones poco eficientes a medida que tecnologías más avanzadas se ponen en marcha.

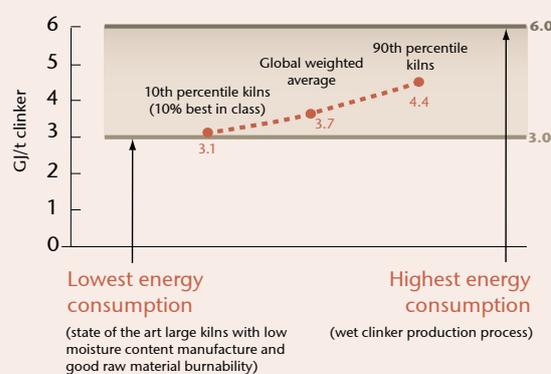
La eficiencia térmica de una instalación está definida en gran parte por su diseño de ingeniería original. Sin embargo, luego de la instalación, la eficiencia con la que se opera la maquinaria y el mantenimiento de la misma son clave para asegurar el logro de las máximas eficiencias operativas potenciales. Esta eficiencia operativa varía según la tecnología y es difícil de medir, pero es un aspecto importante en gestión de la energía y emisiones. Lo último en la actualidad, es el proceso de fabricación en seco con tecnología de precalentador y precalcinador. Con base en los datos de "Getting the Numbers Right" de CSI (Getting the Numbers Right (GNR), base de datos sectorial a nivel global, que comprende más de 800 plantas cementeras en más de 100 países y proporciona datos precisos y verificados sobre las emisiones de CO₂ de la industria del cemento y desempeño de energía) el promedio ponderado del consumo de energía térmica específica para este tipo de horno en 1990 fue de 3.605 MJ / t de clínker, y en

2006 fue de 3.382 MJ / t de clínker, lo que indica una reducción de alrededor de 220 MJ / t de clínker (6%) a lo largo de 16 años.

La eficiencia es una función de las inversiones iniciales y posteriores en plantas cementeras, que a menudo son dictadas por los precios locales de energía. Por ejemplo, las empresas que operan en la India invierten fuertemente en medidas de eficiencia eléctrica, así como en medidas de eficiencia térmica debido a los altos precios energéticos, y la insuficiente disponibilidad de carbón (el combustible principal en la India), y por la dependencia parcial de carbón importado, más caro. Como el suministro de electricidad no es fiable en muchas zonas del país, los productores de cemento instalan sus propias plantas eléctricas con calderas de alto rendimiento y, más recientemente, con instalaciones de recuperación de calor residual.

De los cuatro ejes de reducción de emisiones, sólo la eficiencia energética es se gestionar directamente por la industria - los otros son influenciados en gran medida por la política y los marcos legales.

Range of thermal efficiency (clinker)



Source: Getting the Numbers Right data 2006, WBCSD

Eficiencia eléctrica (cemento)

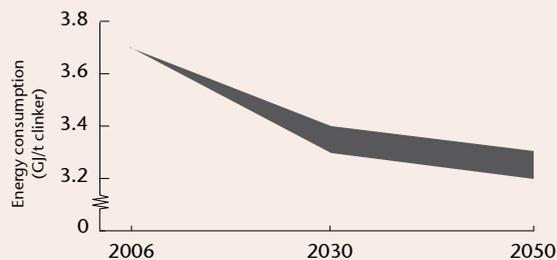
Consumo de energía eléctrica en la fabricación de cemento	kWh/t cemento
Molinos en percentil 10	89
Promedio ponderado global	111
Molinos en percentil 90	130

Note: Figures are for blended and Portland cement
Source: Getting the Numbers Right data 2006, WBCSD

Consumo proyectado de energía térmica para una planta de cemento que use un horno con tecnología de punta

Thermal efficiency

Thermal energy consumption for clinker manufacture in different years:



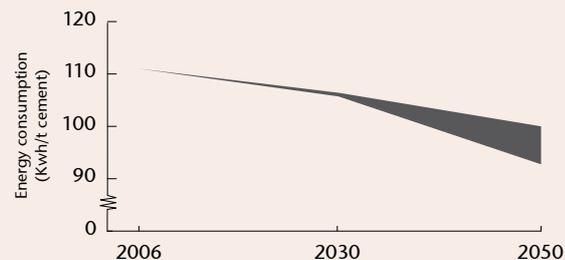
Source: ECRA Technology Papers (2009)

Note: Both graphs show estimated averages

Note: The IEA forecast includes global decarbonisation of electricity by 2050. This forecast is used only in the mitigation case and not in the baseline, therefore CO₂ emissions and CCS volumes in the mitigation case are not affected by electric efficiency.

Electric efficiency (approximately 10% of energy consumed)

Electric energy consumption for cement manufacture in different years (without CCS):



Límites en la implementación

El consumo teórico mínimo de energía primaria (calor) para las reacciones químicas y mineralógicas es de aproximadamente 1,6 a 1,85 GJ / t (Locher, 2006). Sin embargo, hay razones técnicas por las cuales esto no se alcanzará, por ejemplo la inevitable pérdida de calor por conducción a través de las superficies del horno de calcinación.

Sin embargo, existen otras barreras que también impiden a la industria alcanzar este mínimo de reducción del consumo específico de energía (electricidad), por ejemplo:

- Una disminución significativa en el consumo de energía específico sólo se logrará con modernizaciones importantes. Éstas tienen **altos costos de inversión** y, por tanto, los reacondicionamientos están actualmente limitados.
- **Requerimientos ambientales cada vez más estrictos requisitos ambientales** puede aumentar el consumo de energía (por ejemplo, los límites de las emisiones de polvo requieren más energía para separar el polvo, independientemente de la tecnología aplicada).
- La **exigencia de alto desempeño del cemento**, lo cual requiere trituración muy fina y utiliza mucha más energía que el cemento de bajo desempeño.
- Se acepta generalmente que la **CAC** es clave para la reducción de emisiones de CO₂, pero se ha

estimado que aumenta el consumo de energía en un rango de 50 á 120% a nivel de planta (energía para separación de aire, desgranado, purificación,, compresión de CO₂, etc.)

- **Otros ejes de reducción** pueden tener una correlación negativa con la eficiencia energética, por ejemplo, sustitutos del clínker como la escoria y las cenizas volantes reducen las emisiones de CO₂ en el proceso de producción de clínker, pero generalmente requieren más energía para moler el cemento finamente.

Necesidades y objetivos de I&D

El lecho fluidizado es una tecnología prometedora para mejorar la eficiencia térmica y es ampliamente utilizada en otras industrias. Todavía tiene que demostrar su aptitud a escala en la industria del cemento. No se prevén otras tecnologías avanzadas que puedan conducir a una eficiencia térmica o eléctrica significativamente mayor. Por lo tanto, es vital asegurar que las nuevas plantas estén dotadas con las tecnologías más eficientes y que se operen y mantengan bien.

También se están investigando nuevos equipos de molienda y aditivos para reducir el consumo específico de energía de molinos de cemento. Esta tecnología existente requiere de I&D continuado para asegurar máximo progreso. Cabe señalar que las reducciones relacionadas con la eficiencia de las emisiones en el escenario BLUE son un producto de la sustitución de los hornos antiguos con nuevos, hornos más eficientes, no un desarrollo tecnológico en sí mismo.

Funciones de los participantes

Ítem/Socio	Industria	Proveedores de la Industria	Gobiernos	Academia	Institutos de Investigación
Mejor Práctica	x	x			
Investigación Tecnológica	x \$	x \$	\$	x	x
Difusión Tecnológica	x \$	x	\$		
Estructura Institucional	x	x	x	x	x
Datos de Desempeño	x				

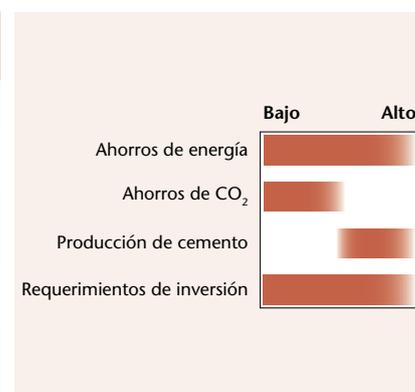
X – rol de liderazgo y participación directa requerida

\$ - fuente de financiación

Nota: La tabla de funciones de los participantes muestra los diversos roles que las partes interesadas deben asumir para facilitar el desarrollo e implementación de tecnologías de eficiencia térmica y eléctrica, así como las fuentes de financiación para esos desarrollos. Un cuadro similar se muestra para cada eje de reducción de emisiones de carbono en esta hoja de ruta.

Nota: La tabla de muestra los impactos potenciales de una mayor eficiencia energética en la fabricación de cemento, en cada uno de los ítems descritos en el lado izquierdo. Cuando el rango de impactos potenciales puede ser grande, el color va de menos a más, y donde hay más claridad sobre el impacto potencial, sólo se colorea la escala correspondiente. Un gráfico similar se muestra para cada eje de reducción de emisiones de carbono en esta hoja de ruta, cada uno relacionado con el eje específico.

Impactos Potenciales



Tecnología

Uso de combustibles alternativos

El uso de combustibles alternativos implica reemplazar los combustibles convencionales (principalmente carbón y / o coque de petróleo), para calentar el horno de cemento, con los combustibles fósiles alternativos (incluyendo gas natural) y combustibles de biomasa. El combustible mezclado puede ser un 20-25% menos intensivo en carbono que el carbón (los factores de emisión IEA utilizados en la hoja de ruta se encuentran en el Anexo I³). Los hornos de cemento están particularmente bien adaptados para estos combustibles por dos razones: el componente energético de los combustibles alternativos se utiliza como sustituto de los combustibles fósiles y los componentes inorgánicos, como las cenizas, están integrados en el producto clínker. Estos pueden ser sustitutos eficaces con menos emisiones de CO₂ que los combustibles sólidos tradicionales.

El análisis del ciclo de vida muestra que: a) si estos materiales fueran considerados como residuos e

incinerados, sería necesario utilizar combustibles fósiles adicionales que emitirían CO₂, y b) el uso de combustibles alternativos evita rellenos sanitarios innecesarios.

Combustibles alternativos típicos utilizados por la industria del cemento

- Residuos sólidos industriales y municipales (residuos domésticos) previamente tratados
- Neumáticos desechados
- Aceite y solventes desechados
- Plásticos, textiles y papeles desechados
- Biomasa
 - > Alimento para animales
 - > Troncos, astillas y residuos de madera
 - > Madera y papeles reciclados
 - > Residuos agrícolas (cascarilla de arroz, aserrín, etc.)
 - > Lodo de alcantarillado
 - > Cultivos de Biomasa

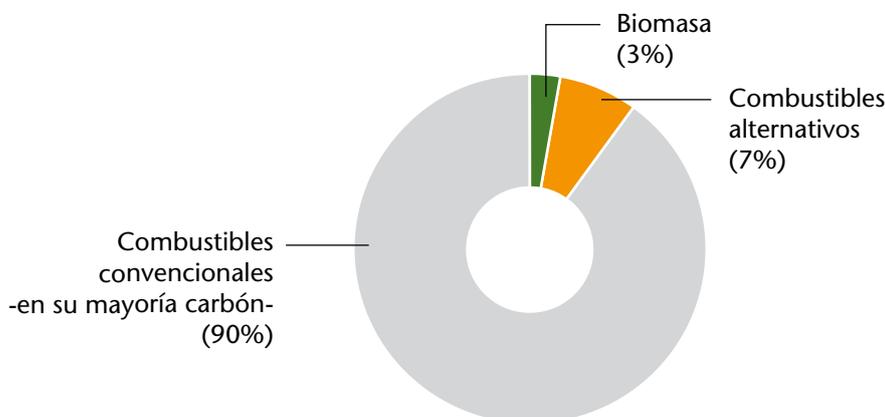
3 El modelo IEA supone el 40% de biomasa como combustible alternativo, una cifra alta comparada con la situación actual.

Combustible alternativo en la mira: llantas usadas

Se estima que aproximadamente un billón de neumáticos llegan al final de su vida útil cada año a nivel mundial. Los hornos de cemento están en capacidad de utilizar llantas, bien sea enteros o triturados, como combustible derivado de llantas, siendo éste el mayor uso de los llantas desechados en Japón y los EE.UU.. Los llantas tienen mayor contenido de energía que el carbón y, cuando se queman en un ambiente controlado, las emisiones no son mayores a las de otros combustibles. En algunos casos, el uso de combustible derivado de llantas en lugar de combustibles fósiles vírgenes reduce las emisiones de dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y dióxido de carbono. Los residuos de metales pesados se capturan y confinan en el clínker.

Uso de combustibles alternativos – participantes en la GNR (2006)

Porcentaje de consumo total de combustible por fuente del combustible



Fuente: Datos de "Getting the Numbers Right" 2006, WBCSD

Técnicamente es posible lograr mayores tasas de sustitución. En algunos países europeos, la tasa de sustitución promedio es superior al 50% para la industria del cemento y hasta un 98% como promedio anual en plantas cementeras individuales. Dado que

las emisiones de CO₂ relacionadas con el combustible representan el 40% del total de emisiones procedentes de la fabricación del cemento, el potencial de reducción de emisiones de CO₂ por uso de combustibles alternativos puede ser significativo.

Debido al alto precio del carbono y los diversos precios de combustibles asumidos en los cálculos modelo para el 2050, resulta económicamente atractivo cambiar el combustible del horno de carbón y coque de petróleo a gas natural. Dado que el gas natural tiene un contenido de carbono significativamente menor, el efecto de este cambio en la reducción de emisiones es más importante que el efecto de un mayor uso de combustibles alternativos, eficiencia energética o sustitución de clínker. En esta hoja de ruta, este "cambio de combustible" se incluye dentro de la categoría de "uso de combustibles alternativos", ya que ambos se refieren al mismo eje fundamental, el promedio de intensidad de carbono de la mezcla de combustible.

Barreras en la implementación

Aunque, técnicamente, los hornos de cemento podrían utilizar hasta el 100% de combustibles alternativos, existen algunas **limitaciones prácticas**. Las propiedades físicas y químicas de la mayoría de los combustibles alternativos difieren significativamente de las de los combustibles convencionales. Mientras que algunos (tales como las harinas animales) puede utilizarse fácilmente en la industria del cemento, muchos otros pueden ocasionar problemas técnicos. Estos problemas están relacionados por ejemplo, bajo poder calorífico, alto contenido de humedad, o alta concentración de cloro u de otros oligoelementos. Por ejemplo, los metales volátiles (v. g., mercurio, cadmio, talio) deben manejarse con cuidado, y se hace necesario eliminar adecuadamente el polvo de horno de cemento del sistema. Esto significa que a menudo es necesario **tratamiento previo** para garantizar una composición más uniforme y una combustión óptima.

Sin embargo, el logro de mayores tasas de sustitución tiene barreras más fuertes a nivel político y legal que a nivel técnico:

- **La normatividad sobre manejo de residuos** impacta significativamente la disponibilidad: hay lugar a mayor sustitución de combustibles

sólo si la normatividad sobre residuos a nivel local o regional limita los rellenos sanitarios o la incineración dedicada, y permite ejercer control sobre la recolección de residuos y tratamiento de combustibles alternativos.

- Las **redes locales de recolección de residuos** deben ser adecuadas.
- Es probable que los **costos de combustibles alternativos** aumenten a la par con altos costos de CO₂. Luego puede llegar a ser cada vez más difícil para la industria del cemento surtirse de cantidades significativas de biomasa a precios aceptables. Esta hoja de ruta supone que será económicamente viable para la industria del cemento a utilizar combustibles alternativos hasta el 2030, cuando los precios alcancen un 30% de los costos de combustible convencionales, aumentando hasta el 70% en 2050.
- El **nivel de aceptación social** del coprocesamiento de residuos combustibles en las plantas cementeras pueden afectar fuertemente la captación local. Las personas se preocupan con frecuencia por las emisiones nocivas producto del coprocesamiento, aunque los niveles de emisiones de las plantas cementeras bien manejadas son los mismos, con o sin el uso de combustibles alternativos.

Además, el uso de combustibles alternativos tiene el potencial de aumentar el consumo de energía térmica, por ejemplo cuando el tratamiento previo se requiere como se describe anteriormente.

Necesidades y objetivos de I&D

Deben identificarse y clasificarse los materiales adecuados que podrían ser utilizados como combustibles alternativos. Así mismo, debe compartirse la labor de I&D del procesamiento y utilización de estos combustibles a fin de permitir la experticia generalizada en el uso de volúmenes altos y estables de combustibles alternativos.

Funciones de los participantes

Ítem/Socio	Industria	Proveedores de la Industria	Gobiernos	Academia	Institutos de Investigación
Mejor Práctica	x	x			
Investigación Tecnológica	x \$	x \$	\$	x	x
Difusión Tecnológica	x \$	x \$	\$		
Estructura Institucional	x	x	x	x	x
Datos de Desempeño	x				

X – rol de liderazgo y participación directa requerida
\$ - fuente de financiación

Impactos Potenciales

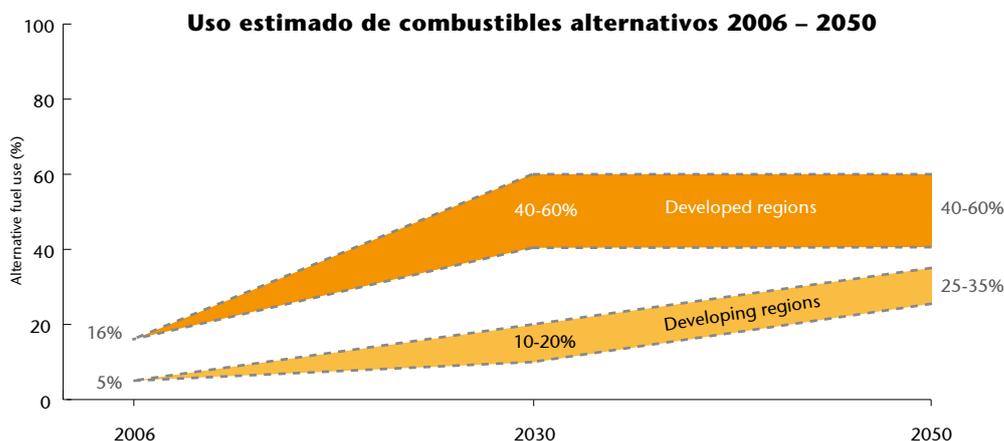


(*) El rango dado depende de la definición del combustible alternativo a ser utilizado

Perspectiva regional

La utilización de los residuos como fuente de energía alternativa varía mucho entre regiones y países y se ve influenciada en gran medida por el tipo de industria local, el grado de desarrollo de la normatividad sobre

residuos, los marcos regulatorios y su aplicación, la infraestructura de recolección de residuos y la conciencia ambiental local.



Fuente: Documentos de Tecnología ECRA (2009), datos GNR 2006 (WBCSD), IEA (2009)

Nota: Los niveles máximos en cada región dependen de la competencia de otras industrias por combustibles alternativos

Un análisis geográfico más detallado de los datos GNR muestra que los combustibles alternativos aportan el 20% de la energía necesaria en plantas cementeras europeas (15% fósil y 5% biomasa). América del Norte y Japón-Australia-Nueva Zelanda se surten en un 11% a partir de residuos, esencialmente combustibles fósiles alternativos. Latinoamérica se surte en un 10% con energía alternativa (6% fósil, 4% biomasa). Asia ha iniciado dicho abastecimiento alcanzando una tasa de sustitución del 4% en 2006 (2% fósil, 2% biomasa).

En África, el Medio Oriente y la Comunidad de Estados Independientes (CEI), el abastecimiento a partir de energía alternativa es insignificante. Incluso en las regiones desarrolladas existen grandes diferencias en el uso de combustibles alternativos, por ejemplo 98% en los Países Bajos pero cerca al 0% en España. Esto

significa que los promedios utilizados en el gráfico siguiente no muestran el muy amplio rango posible. Se deben considerar con mayor detalle los casos individuales de cada país. Un obstáculo esencial para un mayor uso de combustible alternativo es a menudo la disponibilidad de combustible. En Maastricht, Países Bajos, el uso de combustibles alternativos en el año 2008 fue del 98%, reduciéndose drásticamente al 89% en 2009 por disponibilidad limitada. En Japón, el estimado máximo de uso de combustibles alternativos en 2030 es del 20% si se incluye la biomasa, por disponibilidad limitada. En otras áreas, la escasez de tierras para relleno sanitario es un motor principal e importante a nivel de conciencia ambiental local o normatividad sobre residuos.

Las empresas miembro de CSI, siguiendo las directrices del IPCC de 1996 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, consideran que los combustibles de biomasa son climáticamente neutros cuando se obtienen sosteniblemente (porque las emisiones se pueden compensar con el nuevo crecimiento de biomasa en el corto plazo). La industria del cemento reporta sus emisiones brutas como el total de emisiones directas de CO₂ de una planta cementera o empresa en un período determinado. Las emisiones brutas incluyen el CO₂ proveniente de combustibles fósiles alternativos, pero excluyen el CO₂ de combustibles de biomasa.

El uso de combustibles alternativos en la industria cementera típicamente genera reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en rellenos sanitarios (v. g., metano) y plantas de incineración donde estos materiales podrían ser eliminados de otro modo. Estas reducciones de emisiones indirectas pueden ser menores, iguales a o mayores que las emisiones directas de CO₂ procedentes de la quema de combustibles alternativos en la planta de cemento, dependiendo del tipo de residuo y la ruta de desecho alternativa que ya no se utilice. Esto se traduce en reducciones globales de emisiones CO₂. Junto con los aumentos previstos en los costos de biomasa y la disminución en la disponibilidad, la combinación de los efectos sobre las emisiones directas, la reducción de emisiones indirectas y la eficiencia de los recursos hace de la sustitución de combustibles fósiles convencionales por combustibles alternativos una manera efectiva de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Por estas razones, la industria del cemento también reporta las emisiones netas en las cuales las emisiones de combustibles fósiles alternativos se deducen de las emisiones brutas.

Si todos los combustibles alternativos (incluidos los combustibles fósiles alternativos) se tratan como neutros en carbono, las reducciones de emisiones calculadas en 2050 aumentan del 18%, a un estimado de 24% para la industria del cemento.

Tecnología

Sustitución de clínker

El clínker es el componente principal en la mayoría de tipos de cemento. Cuando se muele y se mezcla con yeso al 4-5%, reacciona con el agua y se endurece. Otros componentes minerales también tienen estas propiedades hidráulicas cuando se muele y se mezcla con clínker y yeso, particularmente la escoria de alto horno (un subproducto de la industria del hierro o acero), las cenizas volantes (un residuo de las centrales eléctricas a carbón) y los materiales volcánicos naturales. Estos pueden ser usados para sustituir parcialmente el clínker en el cemento, reduciendo por tanto, los volúmenes de clínker utilizados y también las emisiones de CO₂ de proceso, tanto de combustible como de energía, asociadas a la producción de clínker.

El contenido de clínker en el cemento (la “relación clínker/cemento”) puede variar ampliamente,

aunque los extremos se utilizan únicamente para aplicaciones especiales. El Cemento Portland Ordinario puede contener hasta un 95% de clínker (siendo el resto yeso). Con base en datos GNR de 2006, el promedio mundial de la relación clínker/cemento fue de 78%, equivalente a más de 500 millones de toneladas de productos de sustitución de clínker para 2.400 millones de toneladas de cemento producido. Pero hay diferencias regionales muy amplias (ver páginas centrales)⁴.

4 Existen diversas estructuras industriales en las naciones; por ejemplo, en la mayoría de países europeos se agregan sustitutos de clínker al clínker en la planta, lo cual reduce la relación clínker/cemento, mientras que en los EE.UU. y Canadá, los sustitutos del clínker se suelen añadir a nivel de concreto (p. e., en planta de premezclado).

Sustituto del Clínker	Fuente	Características positivas	Características limitantes	Nivel estimado de producción anual	Disponibilidad
Escoria de alto horno	Producción de hierro y acero	Mayor resistencia a largo plazo y resistencia química mejorada	Baja resistencia inicial y mayor demanda de energía eléctrica para la molienda	200 millones de toneladas (2006)	Los volúmenes futuros de producción de hierro y acero son muy difíciles de predecir
Cenizas volantes	Gases de combustión de hornos de carbón	Baja demanda de agua, docilidad mejorada mayor resistencia a largo plazo, mayor durabilidad (según la aplicación)	Baja resistencia inicial, la disponibilidad puede ser reducida por el cambio en fuentes de combustible por parte del sector energético	500 millones de toneladas (2006)	La cantidad y capacidad futura de las plantas de energía a carbón es muy difícil de predecir
Puzolanas naturales (por ejemplo, ceniza volcánica, ceniza de cáscara de arroz, humo de sílice)	Volcanes, algunas rocas sedimentarias, otras industrias	Contribuye al desarrollo de fuerza, puede demostrar mejor docilidad, mayor resistencia a largo plazo y resistencia química mejorada	La mayoría de puzolanas naturales hacen que se reduzca la resistencia inicial, las propiedades del cemento pueden variar de manera significativa	300 millones de toneladas disponibles (2003), pero sólo el 50% se ha utilizado	La disponibilidad depende de la situación local – muchas regiones no prevén el uso de puzolana para el cemento
Puzolanas artificiales (por ejemplo, arcilla calcinada)	Fabricación específica	Similares a las de las puzolanas naturales	La calcinación requiere energía térmica adicional y por tanto reduce el efecto positivo de reducción de CO ₂	Desconocido	Disponibilidad muy limitada debido a restricciones económicas
Piedra caliza	Canteras	Docilidad mejorada	Mantener la fuerza puede requerir energía adicional para la molienda de clínker	Desconocido	Fácilmente disponible

Fuente: Documentos de Tecnología ECRA (2009)

Límites en la implementación

Desde el punto de vista técnico, es posible obtener relaciones cemento-clínker bajas para ciertos productos de concreto, pero cinco factores no técnicos pueden crear barreras:

- **Disponibilidad Regional** de materiales sustitutos de clínker
- El aumento de **precios** de los materiales de sustitución
- **Propiedades** de los materiales de sustitución y la **aplicación prevista** del cemento
- **Estándares Nacionales** para Cemento Portland Ordinario y cementos compuestos
- La **práctica común y aceptación** de cementos compuestos por contratistas de construcción y clientes

Hay incertidumbre en torno a la disponibilidad futura de sustitutos del clínker, que puede verse afectada en gran medida por la política ambiental y la regulación. Por ejemplo, con cualquier descarbonización futura del sector energético, la disponibilidad de cenizas volantes podría verse limitada, o cuando se

utilizan técnicas DeNOx⁵-en estaciones eléctricas a carbón, el resultado es que la ceniza volante puede ser inutilizable como sustituto del clínker por concentraciones excesivas de NH₃ (amoníaco).

Necesidades y objetivos de I&D

Se hace necesaria una evaluación documentada de las propiedades del material de sustitución para comprender y comunicar qué sustitutos son los mejores para las aplicaciones previstas. Por ejemplo, las normas cementeras permiten hasta un 95% de escoria de alto horno en algunos cementos. Sin embargo, esto genera una baja resistencia inicial. Estos cementos sólo son adecuados para aplicaciones muy especiales, y su uso depende de su disponibilidad. Sería de gran valor desarrollar hojas de ruta cruzadas para las diferentes industrias vinculadas a la industria del cemento por producción de sustitutos de clínker. Esto permitirá proyectar los efectos de las tecnologías de mitigación de un sector cuando impactan el potencial de mitigación de otras industrias.

5 Proceso para eliminar los óxidos de nitrógeno (NOx) de los gases

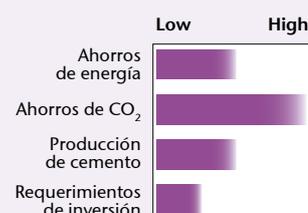
Funciones de los participantes

Ítem/Socio	Industria	Proveedores de la Industria	Gobiernos	Academia	Institutos de Investigación	standardisation bodies
Mejor Práctica	x	x	x	x	x	x
Investigación Tecnológica	x \$	x	\$	x	x	x
Difusión Tecnológica	x \$	x	\$		x	x
Estructura Institucional	x	x	x	x	x	x
Datos de Desempeño	x		x			x

X – rol de liderazgo y participación directa requerida

\$ - fuente de financiación

Impactos Potenciales



Tecnología

Captura y almacenamiento de carbono

(Nota: esta hoja de ruta se limita a tecnologías de captura. La hoja de ruta de la IEA sobre CAC contiene más datos sobre la cadena completa de CAC, incluyendo transporte y almacenamiento. Para ver la hoja de ruta, consulte: www.iea.org/Papers/2009/CAC_Roadmap.pdf)

La captura y almacenamiento de carbono (CAC) es una tecnología nueva, aún no probada a escala industrial en la producción de cemento, pero potencialmente prometedora. El CO₂ se captura a medida que se emite, se comprime en un líquido para ser transportado a través de tuberías para almacenamiento permanente a gran profundidad. En la industria del cemento, el CO₂ es emitido por la combustión del combustible y la calcinación de piedra caliza en el horno. Estos dos fuentes de CO₂ pueden requerir técnicas de capturas específicas para la industria, que son de bajo costo y eficientes, y la literatura muestra que algunas tecnologías de captura parecen más adecuadas que otras para hornos de cemento.

Consulte el texto *Captura y Almacenamiento de CO₂ - Una Opción Clave en Reducción de Carbono* (IEA, 2008) para más información sobre tecnologías de CAC. La industria del cemento se encuentra activa en cuanto a I&D para captura de CO₂. Es importante tener en cuenta que las tecnologías de captura sólo tienen valor cuando involucran la cadena completa de CAC, incluyendo infraestructura de transporte, acceso a lugares de almacenamiento adecuados y un marco legal para transporte y almacenamiento de CO₂, vigilancia y verificación y procedimientos de concesión de licencias.

Hasta ahora, nunca se han utilizado tecnologías pre-combustión en una planta de cemento. En primer lugar, las emisiones de CO₂ originadas de la calcinación de piedra caliza, fuente de la mayoría de las emisiones en la producción de cemento, se mantendría constante incluso si se utilizan tecnologías pre-combustión. Además, el hidrógeno puro tiene propiedades explosivas y el proceso de quema de clínker necesitaría modificaciones significativas. Por lo tanto, el enfoque de esta hoja de ruta se orienta a tecnologías de captura de CO₂ adecuadas para la producción de cemento:

1. Las tecnologías post-combustión se refieren a mecanismos aplicados al final del tubo que no requerirían cambios fundamentales en el proceso de quema de clínker, por lo que podrían estar disponibles para nuevos hornos y particularmente para hornos modernizados:

- La absorción química es bastante prometedora y se han logrado altas tasas de captura de CO₂ en otras industrias, usando aminas, potasio y otras soluciones químicas.
- Las tecnologías de membrana también pueden utilizarse en hornos de cemento en el largo plazo, si se desarrollan materiales y técnicas de limpieza adecuados.

- Formación de anillos de carbono, un proceso de adsorción en el que se pone óxido de calcio en contacto con el gas de combustión, que contiene dióxido de carbono, para producir carbonato de calcio; es una tecnología que está siendo evaluada actualmente por la industria del cemento como una opción potencial de modernización/adaptación para hornos existentes y de desarrollo de nuevos hornos de oxicomustión. Además, se pueden generar sinergias con centrales eléctricas (los absorbentes desactivados en centrales eléctricas podrían reutilizarse como materia prima secundaria en hornos de cemento).
- Las tecnologías para otras medidas post-combustión (por ejemplo, absorción física o adsorción mineral) están actualmente mucho menos desarrolladas.

2. En la tecnología de oxicomustión, el uso de oxígeno en vez de aire en hornos de cemento, daría lugar a un flujo de CO₂ relativamente puro. Aún se requiere de mayor investigación para comprender todos los impactos potenciales en el proceso de quema de clínker. La tecnología de oxicomustión está siendo probada en plantas de energía a pequeña escala, por lo que los resultados obtenidos pueden ser útiles en el futuro para los hornos de cemento.

Desde el punto de vista técnico, es probable que las tecnologías de captura de carbono en la industria del cemento no estén comercialmente disponibles antes de 2020. Antes que eso, es necesario realizar las primeras pruebas piloto y de investigación para obtener experiencias prácticas con estas nuevas tecnologías en desarrollo. Algunas han comenzado, por ejemplo, investigación de la ECRA y pruebas piloto en California y el Reino Unido. Entre 2015 y 2020 iniciarán grandes proyectos de demostración (en especial con tecnologías post-combustión), pero la reducción total de CO₂ seguirá siendo baja. Una estimación aproximada, basada en 10-20 proyectos de horno grande a nivel mundial (promedio 6.000 toneladas por día) y una eficiencia de reducción del 80%, daría lugar a una reducción global de emisiones de CO₂ máxima de 20-35 Mt por año. Después de 2020, la CAC podría implementarse comercialmente si el marco político lo apoya y se obtiene aceptación social.

Debido al aumento de los costos específicos, se espera que los hornos con capacidad menor a 4.000-5.000 toneladas por día no estén equipados con tecnología de CAC, y que las modernizaciones no sean frecuentes. Dado que la CAC requiere infraestructura de transporte de CO₂ y acceso a lugares de almacenamiento, los hornos de cemento en las regiones industrializadas podrían conectarse más fácilmente a las redes, en comparación con las plantas en áreas no industrializadas. Para la tecnología de oxicomustión, la disponibilidad comercial podría lograrse en 2025.

Estimado de costos de captura de carbono post-combustión utilizando tecnologías químicas de absorción para planta de clínker (con producción de) 2 Mt por año

	Instalaciones Nuevas - Modernizadas	
	Investment (Mio€)	Operational (€/t clínker)
2015	Not available	Not available
2030	100-300	10-50
2050	80-250	10-40

Fuente: Documentos de Tecnología ECRA (2009)

Nota: los gastos previstos son estimaciones basadas en cálculos de ECRA (2009). Los costos de inversión se han indicado como adicionales al costo de inversión de la planta de cemento, y no incluyen transporte o almacenamiento.

Barreras en la implementación

Además de los aspectos técnicos, el **marco económico** será decisivo para futuras aplicaciones de la CAC en la industria del cemento. Aunque se espera que el costo de la CAC se reduzca en el futuro de acuerdo a los avances técnicos y científicos, los actuales costos estimados para captura de CO₂ son altos. Van de 20 euros hasta más de 75 euros por tonelada de CO₂ capturado (20 euros / t CO₂ puede ser factible sólo en circunstancias muy favorables y no es representativo del costo promedio del despliegue masivo de CAC).

La CAC podría aplicarse en la industria del cemento sólo si el **marco político** limita efectivamente el riesgo de fuga de carbono (reubicación de la producción de cemento en países o regiones con menos restricciones). La conciencia pública sobre CAC es actualmente baja, y el público no se ha formado una opinión firme sobre la CAC y su papel en la mitigación del cambio climático (IRGC, 2008). El apoyo público es fundamental y debe desarrollarse de múltiples formas:

- El **apoyo político** a incentivos del gobierno, la financiación de investigaciones, la responsabilidad a largo plazo y el uso de la CAC como un componente de una estrategia integral para el cambio climático.
- La **cooperación de los propietarios** para obtener los permisos y aprobaciones necesarios para el transporte y almacenamiento de CO₂.
- **Consentimiento informado por parte de los lugareños** en cuanto a los proyectos de CAC propuestos en sus comunidades.
- Mayores esfuerzos por parte del gobierno y la industria para **educar e informar al público y las partes interesadas clave** sobre la CAC.

Necesidades y objetivos de I&D

Se están discutiendo medidas de CAC para la industria del cemento, pero hasta la fecha sólo unos pocos estudios de viabilidad se han llevado a cabo

y no hay resultados disponibles de ensayos piloto o a escala industrial en hornos de cemento. La tecnología de oxidación en particular necesita un mayor desarrollo para poder aplicar tecnologías de CAC a escala en la industria.

El transporte es el vínculo crucial entre las fuentes de emisión de CO₂ y los sitios de almacenamiento, y se ha prestado poca atención a las necesidades tecnológicas y de infraestructura. El transporte por ductos supone retos diferentes a nivel reglamentario, de acceso y de desarrollo en regiones diferentes y la magnitud, complejidad y diseminación geográfica de tuberías integradas de transporte para CAC requiere un enfoque claro al respecto.

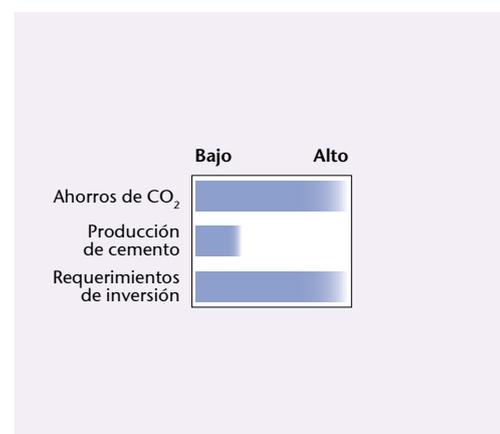
Dado que la disponibilidad de sitios de almacenamiento a nivel mundial apenas se está comenzando a comprender, aún no es posible hacer una estimación detallada de la implementación potencial de tecnologías de CAC. Se requiere financiación adicional para la caracterización avanzada de lugares de almacenamiento para que a CAC tenga éxito comercial para todas las industrias. Los hornos de cemento suelen estar cerca de grandes canteras de piedra caliza, que pueden o no estar cerca de lugares adecuados de almacenamiento de CO₂. También es probable que los conjuntos de CAC se vean influenciados por la cercanía a fuentes mucho más grandes de CO₂, como las grandes plantas eléctricas a carbón. Se deben ampliar los estudios de prospectividad de almacenamiento de CO₂ y cubrir los países en desarrollo, donde se estima se encuentra el 80% de toda la capacidad de cemento nuevo a 2050. También es necesario bastante trabajo de parte de los gobiernos para el desarrollo de enfoques comunes y armonizados para la selección segura del sitio, su operación, mantenimiento, vigilancia y verificación de retención y cierre de CO₂. La industria del cemento debe seguir examinando el creciente interés de donantes bilaterales y multilaterales para apoyar la transferencia de tecnología y creación de capacidad de CAC.

Funciones de los participantes

Ítem/Socio	Industria	Proveedores de la Industria	Gobiernos	Academia	Institutos de Investigación	other industries involved in ccs transport and storage
Mejor Práctica	x		x \$ (transporte)		x	
Investigación Tecnológica	x \$	x \$	\$	x	x	x
Difusión Tecnológica	x \$	x \$	\$	x	x	x
Estructura Institucional	x	x	x	x	x \$	x
Datos de Desempeño	x	x	x	x	x	

X – rol de liderazgo y participación directa requerida
\$ - fuente de financiación

Impactos Potenciales



Esta hoja de ruta describe la implementación de tecnología necesaria para alcanzar niveles de reducción de emisiones del 18% para la industria del cemento. Las siguientes cifras constituyen un reto y muestran cómo llegar a esto mediante la implementación de tecnología de CAC. Suponiendo una vida útil de 30-50 años para un horno de cemento, el 20-33% de los hornos existentes serán reemplazados por hornos nuevos antes de 2020. Suponiendo que el 50% de la capacidad futura nueva será de hornos de gran tamaño (2Mt por año), y una tasa de ejecución del 100% de CAC para hornos nuevos de gran tamaño, aproximadamente el 40-45% de la capacidad global podría estar equipada con tecnología de CAC entre 2030 y 2050. El 10% de dichos hornos serían modernizados (ECRA, 2009). Este programa de reemplazo potencial sólo da una idea de los posibles órdenes de magnitud para sustitución en la industria del cemento y supone que los asuntos de transporte y almacenamiento han sido resueltos.

La implementación de CAC posiblemente tendrá lugar en las regiones donde se requiera gran cantidad de nuevas capacidades o donde existan hornos grandes en funcionamiento que puedan modernizarse, y donde haya acceso a lugares de almacenamiento adecuados. Sin embargo, debido a la larga vida de la infraestructura de las plantas de cemento, la mayoría de las plantas construidas en la próxima década aún pueden estar operando en 40-50 años. Reducir las emisiones para el año 2050 requerirá inversiones en nuevos sitios urbanizados y baldíos para plantas listas para captura de CO₂⁶. Estas decisiones tienen claras implicaciones económicas y políticas a corto plazo, que deben ser cuidadosamente evaluadas por todas las partes interesadas.

6 Una planta "lista para captura" (capture ready) es una planta de cemento que puede incluir la captura de CO₂ cuando existen los motores necesarios a nivel económico y regulatorio. Las fábricas de cemento pueden hacerse plantas "listas para captura" mediante un estudio de diseño de modernización de captura, incluyendo espacio suficiente, acceso a equipos de captura e identificación de rutas de almacenamiento de CO₂.

¿Qué apoyo político se necesita?

Sólo será posible cualquier aplicación exitosa de la hoja de ruta del cemento si el marco político apoya las necesidades de desarrollo y difusión tecnológica. Haciendo frente a las necesidades políticas, este plan tiene como objetivo proponer recomendaciones de

políticas concretas a los gobiernos de todo el mundo. Posteriormente se han de desarrollar políticas apropiadas para cada país a fin de reforzar estas recomendaciones.

1. Promover la adopción de tecnologías con la mejor eficiencia disponible para hornos nuevos y modernizados
2. Alentar y facilitar un mayor uso de combustibles alternativos
3. Fomentar y facilitar una mayor sustitución de clínker
4. Facilitar el desarrollo de la captura y almacenamiento de carbono (CAC)
5. Fomentar políticas de restricciones de CO₂ y marcos energéticos previsibles, objetivos y estables a nivel internacional
6. Mejorar las capacidades, habilidades, conocimientos e innovación en investigación y desarrollo (I&D)
7. Fomentar la colaboración internacional y las asociaciones público-privadas (mixtas)

1. Promover la adopción de tecnologías con la mejor eficiencia disponible para hornos nuevos y modernizados

La industria del cemento ha reducido significativamente su intensidad energética con el desarrollo de hornos de proceso seco con precalentador y precalcinador. Aunque existe una amplia gama de tecnologías energéticas eficientes disponible, los altos costos de inversión y la larga vida de la infraestructura son a menudo una barrera clave en la implementación. Más mejoras en la eficiencia energética son posibles en muchas regiones, y darse cuenta de este potencial debe ser un objetivo inmediato. La implementación es posible a través instrumentos políticos de apoyo a proyectos bien conocidos, aún cuando la inversión no se justifique económicamente. Proyectos de implementación conjunta como la renovación una planta de cemento en Ucrania con tecnología moderna, energéticamente eficiente, realizada por CRH, son buenos ejemplos de inversiones que lideran la política hacia una tecnología energéticamente eficiente.

Esta hoja de ruta recomienda:

- Eliminar el subsidio a precios de energía que pudieran actuar como una barrera para la implementación de tecnologías energéticas más eficientes.
- Eliminación de hornos secos largos y procesos de producción húmedos ineficientes en los países tanto desarrollados como en desarrollo.
- Fortalecer la cooperación internacional para reunir datos confiables de energía y emisiones a nivel de la industria; apoyar el desarrollo de políticas eficaces; seguimiento al desempeño e identificación de brechas de desempeño regionales y nacionales y los

mejores puntos de referencia en cuanto a prácticas, por ejemplo a través de la base de datos GNR de CSI.

- Elaboración e implementación de normas internacionales para eficiencia energética y emisiones de CO₂ en la industria del cemento.
- Compartir las políticas de mejores prácticas para promoción de la eficiencia energética y reducción de emisiones de CO₂ en la industria del cemento; por ejemplo, el Centro de Excelencia de la Asociación Asia Pacífico en Beijing, que se centra en la difusión de tecnología y creación de capacidad.

2. Alentar y facilitar un mayor uso de combustibles alternativos

El uso de combustibles alternativos puede prevenir la quema innecesaria de combustibles fósiles o el envío de fuentes potenciales de combustible a rellenos sanitarios. Hay buena comprensión de la industria en cuanto al proceso y la implementación potencial creciente, sin embargo, es necesario contar con marcos legislativos y reglamentarios apropiados para reducción adicional de emisiones. Estos deben fortalecer las capacidades de seguimiento y ejecución de las autoridades ambientales, así como aumentar la transparencia y fomentar la confianza de la comunidad. Los estimados proponen que el promedio de tasas de sustitución global podría ser un 30% en 2030 y un 35% en 2050, en comparación con la actualidad (sin embargo, dentro de ese promedio, el rango de uso de combustibles alternativos en los distintos países podría ser amplio).

Las barreras actuales para un mayor uso de combustibles alternativos son variaciones en la disponibilidad de combustibles alternativos y biomasa, cambios en el apoyo y ejecución a nivel legislativo respecto al coprocesamiento, rellenos sanitarios e

incineración, y poca comprensión y aceptación por parte del público. Existen buenos ejemplos de la superación de estas barreras, v. g., la Directiva sobre Incineración de Residuos Europea (2006/7), que adopta un enfoque paso a paso para permitir el uso de combustibles alternativos, y las "Directrices de Selección y Uso de Combustibles y Materias Primas en el Proceso de Fabricación del Cemento" (CSI, octubre de 2005), que categoriza los posibles combustibles alternativos.

Esta hoja de ruta recomienda:

- Legisladores que faciliten el entendimiento de las partes interesadas y el público en general del rol que juega uso de combustibles alternativos en la reducción de emisiones. Por ejemplo, en la Política Nacional de Residuos de Noruega, los hornos cementeros comparten el método preferido de manejo de residuos peligrosos.
- Revisión y posible actualización de la legislación a nivel regional, nacional y local, para garantizar que las políticas incentiven el uso de combustibles alternativos y biomasa en vez de limitarlo.
- Lograr que a nivel gobierno se introduzca el concepto de ecología industrial y se promueva el concepto de una sociedad basada en el reciclaje, como por ejemplo, el National Industrial Symbiosis Programme (NSIP) (Reino Unido). Los marcos legal y regulatorio deben soportar el desarrollo de, por ejemplo, parques industriales como Kalundborg (Dinamarca), o el BPS en los EE.UU. | Procesos regionales de Sinergia de Subproductos (p. e., Chicago Waste to Profit Network (W2P), Partnership for Industrial Ecology in Central Ohio (PIECO)).
- Asegurar que los operadores sigan un conjunto de directrices comunes sobre el uso de combustibles alternativos a fin de garantizar procesos adecuados tales como inducción y reentrenamiento, documentación y monitoreo para empleados y contratistas.
- Asegurar el entrenamiento que deben recibir las autoridades y la debida experiencia en asuntos técnicos de los servidores públicos a cargo de permisos, control y supervisión.
- Discusiones entre gobierno e industria, tendientes a investigar el concepto de rellenos sanitarios en zonas mineras para generación de combustibles y materias primas alternativos (dado el espacio requerido para expansión urbana).

3. Fomentar y facilitar una mayor sustitución de clínker

Los factores actuales que impiden que se alcance todo el potencial de sustitución de clínker incluyen las normas cementeras y códigos de construcción

existentes, poca comprensión del proceso por parte del público y de los clientes, la disponibilidad regional y local de materiales de sustitución, y la nueva normatividad a nivel internacional y nacional que no refleja la disponibilidad. Varios cementos mezclados se han producido a nivel local según las nuevas especificaciones de construcción estándar, por ejemplo en Europa. Estos poseen propiedades químicas, físicas y mecánicas algo diferentes de las del Cemento Portland Ordinario convencional y su uso en concreto debe seguir parámetros específicos para garantizar la seguridad estructural adecuada. Sin embargo, se ha avanzado en la ampliación de su uso. Por ejemplo, la proporción de la producción de cementos no-CEM I en la UE, como porcentaje de la producción total de cemento de la UE, ha aumentado en un 13,1% a 72,5% entre 1994 y 2004 (CEMBUREAU, 2007)⁷.

Esta hoja de ruta recomienda:

- Estudios de Impacto Ambiental (EIA) independientes sobre el uso de materiales de sustitución clave en la industria cementera y en otras, que muestren dónde se puede alcanzar la máxima reducción potencial de emisiones.
- Desarrollo de nuevos estándares y códigos para producción de cemento o revisión de los ya existentes, en algunos países, para permitir un uso más difundido del cemento mezclado; por ejemplo, basar los estándares en desempeño más que en composición y garantizar su aceptación por parte de las autoridades locales.
- I&D de técnicas de proceso para sustitutos potenciales del clínker que actualmente no pueden utilizarse por cuestiones de calidad.
- Promover eventos internacionales de entrenamiento con entes de estandarización e institutos de acreditación a nivel nacional para facilitar el intercambio de experiencias en cuanto a sustitución, estándares para la industria cementera, desempeño concreto de cementos nuevos en el largo plazo e impactos económicos y ambientales.

4. Facilitar el desarrollo de la captura y almacenamiento de carbono

La captura y almacenamiento de carbono (CAC) es actualmente la nueva opción tecnológica más viable para reducir las emisiones de CO₂ en la industria del cemento y se requiere acción urgente para apoyar su desarrollo e implementación. La I&D, proyectos piloto y de demostración de captura efectiva de CO₂ a escala industrial en la industria del cemento, deben

⁷ "Non-CEM I" son todos los cementos comunes a excepción de Cemento Portland Ordinario de acuerdo con la norma europea EN 197-1. Estos cementos tienen un menor contenido de clínker de cemento Portland ordinario..

incentivarse y ponerse en acción a corto plazo para permitir que la captura a gran escala tenga lugar en la industria del cemento. Ello contribuirá a la cadena completa de CAC.

El costo marginal de reducción de CAC se estima en US\$ 40-170 / t CO₂⁸ disminuido (IEA, 2009), y su aplicación podría dar lugar a una duplicación de los costos del cemento. Sin un marco global, la implementación de esta tecnología sólo será posible si los marcos políticos limitan el riesgo de fuga de carbono (ver glosario). Dado que el costo de implementación de CAC será menor para las plantas nuevas que para las ya existentes que se modernicen, y como la mayoría de la demanda futura se dará en regiones sin limitaciones actuales de carbono, los incentivos deben estar en pie para fomentar el pronto despliegue de la CAC en todas las regiones.

Esta hoja de ruta recomienda:

- Desarrollar marcos regulatorios para la CAC y colaboración internacional en materia de regulación de CAC, por ejemplo, el Apoyo a las Actividades de Regulación para Captura y Almacenamiento de Carbono (STRACO₂) está diseñado para apoyar el desarrollo de un marco regulador para la CAC en la Unión Europea (www.euchina-CAC.org).
- Apoyo gubernamental para la financiación de proyectos piloto y de demostración en la industria del cemento, conducentes a plantas de demostración a escala comercial y a accesibilidad del sitio de almacenamiento.
- Identificación y prueba de redes de transporte y sitios de almacenamiento cerca de las plantas cementeras.
- Coordinar las redes de transporte de CO₂ a nivel regional, nacional e internacional para optimizar el desarrollo de infraestructura y reducir los costos.
- Investigar los vínculos de las redes existentes o integradas y oportunidades para actividades grupales en zonas industriales.
- Expansión significativa de los esfuerzos gubernamentales y de la industria para educar e informar a las partes interesadas clave sobre CAC.

5. Fomentar políticas de restricciones de CO₂ y marcos energéticos previsible, objetivas y estables a nivel internacional

Mientras no haya un precio global de carbono, o claridad sobre sí y cuando esto puede ocurrir, la industria es incapaz de planificar eficazmente la I&D de tecnología. Los mercados de carbono deben estar vinculados a los mecanismos que involucren efectivamente a la industria en la adopción de tecnologías más limpias para reducir las emisiones. Las negociaciones internacionales sobre el cambio climático deben basarse en acuerdos tales como los enfoques sectoriales hacia la reducción de las emisiones de la industria o estrategias apropiadas de mitigación a nivel nacional (NAMAs, por su sigla en inglés).

Esta hoja de ruta recomienda:

- Modificación del marco actual del Mecanismo de Desarrollo Limpio (CDM) para facilitar la financiación de proyectos de eficiencia energética, combustibles alternativos y sustitución de clínker y la inclusión de proyectos de CCA, aceptando, así mismo, créditos de CAC en esquemas de comercio de emisiones como el ETS de la UE. Asegurar que las políticas, bajo el marco de prácticas de Medición, Reporte y Verificación (MRV), incentiven la tecnología de CAC a través de MDL. Podría desarrollarse un fondo mundial del MDL, para el cual las tecnologías de CAC serían elegibles (y ayudaría a la viabilidad comercial de la CAC en el mediano y largo plazo), o los criterios de proyecto del MDL podrían incluir evaluaciones comparativas dentro de la industria del cemento, en la que el MDL ofrece incentivos al desarrollo temprano de CAC.
- Reconocer la captura de CO₂ biogénico como una emisión neutral, dado el alto porcentaje esperado de la utilización de combustibles de biomasa en la industria del cemento.
- Recompensar las inversiones en energía limpia, por ejemplo con incentivos fiscales por recuperación de calor residual y penalizar las malas inversiones energéticas, por ejemplo la reducción de subsidios si la generación de energía es ineficiente.
- Cooperación conjunta del gobierno y la industria en el proceso de la UNFCCC a fin de explorar elementos clave para el logro de marcos exitosos, p. e., requerimientos de datos del sector; prácticas de Medición, Reporte y Verificación (MRV); fijación de metas y mecanismos potenciales de créditos basados en una metodología de cálculo común para emisiones de CO₂ según lo estipule un estándar internacional.

8 Incluye costos de transporte y almacenamiento.

- Definición conjunta, entre gobierno e industria, de medidas y mecanismos políticos efectivos para contribuir a la reducción de emisiones de CO₂ en la industria cementera y garantizar la distribución equitativa de responsabilidades. Las acciones a nivel local y regional serán determinadas mediante buena coordinación con los gremios.
- Asegurar que el marco político global limite efectivamente el riesgo de fugas de carbono.

6. Mejorar las capacidades, habilidades, conocimientos e innovación en investigación y desarrollo (I&D)

Se necesita un aumento significativo en investigación y desarrollo en la industria del cemento durante un muy largo plazo. La inversión a lo largo de toda la cadena de innovación, desde la formación a nivel universitario a la innovación a escala industrial, tiene que venir de la academia, de la industria, de los proveedores de equipos y de los gobiernos. Por ejemplo, una nueva generación de aglomerantes hidráulicos podría generar reducciones de emisiones altas, pero aún no se comprenden bien o no están desarrollados a escala y necesitan un mayor enfoque en I&D.

Esta hoja de ruta recomienda:

- Aumentar el número y destrezas de los investigadores científicos con experiencia en la industria cementera a través del apoyo conjunto de la industria y el gobierno a programas universitarios adecuados y la creación de cargos educativos y de investigación en la ciencia de los materiales y la protección del clima por parte de la industria.
- Integración y/o alineación de los programas de investigación a nivel nacional e internacional y participación activa de las compañías en los programas existentes y futuros en los países en que operan.
- Promover proyectos conjuntos de investigación científica y de ingeniería entre países, y establecer programas de cooperación investigativa o redes entre compañías, proveedores de equipos, institutos de investigación y gobiernos para el logro de fondos y recursos comunes para I&D.
- Promover la elaboración de estándares que incluyan una nueva generación de cementos emergentes, p. e., aglomerantes hidráulicos, para fomentar rápido crecimiento en el uso de cementos con alto potencial de reducción de emisiones.

7. Fomentar la colaboración internacional y las asociaciones público-privadas (mixtas)

El conocimiento existente a nivel internacional en todas las áreas de esta hoja de ruta debe evaluarse y aquello que constituya conocimiento fundamental deberá integrarse en un objetivo común: la implementación total de tecnología de reducción de emisiones a nivel mundial. La colaboración internacional tiene un papel importante que desempeñar como catalizador en la aceleración del progreso tecnológico en la fase de demostración. En particular, la entrega de instalaciones de CAC críticas para el año 2020 va más allá de la capacidad financiera y técnica de las empresas o países, por lo que requiere cooperación a gran escala en todas las etapas.

Deben definirse nuevas formas de colaboración público-privada, de modo tal que los gobiernos, las instituciones de investigación, la industria del cemento, y los proveedores de equipos trabajen juntos para organizar, financiar, filtrar, desarrollar y probar tecnologías seleccionadas en plazos más cortos. Un buen ejemplo en la siderurgia es el proyecto ULCOS (sigla en inglés de "Siderurgia Ultra Baja en CO₂"). Se trata de un consorcio de 48 empresas y organizaciones europeas, apoyadas financieramente por la Comisión Europea, involucradas en la I&D cooperativo para reducción de emisiones de CO₂ derivadas de la producción de acero.

Esta hoja de ruta recomienda:

- Creación de sociedades públicas y privadas que minimicen el riesgo tecnológico y generen opciones para incrementar la eficiencia energética y/o reducir las emisiones de CO₂, por ejemplo, la Sociedad Mixta GTZ-Holcim coordinada por la Universidad de Ciencias Aplicadas del Noreste de Suiza (www.coprochem.org).
- Garantizar cooperación internacional para plantas de demostración de CAC en la industria cementera.
- Cambiar las prioridades nacionales de innovación para garantizar que la colaboración internacional en actividades de investigación y desarrollo (I&D) en el área de la protección climática sea efectiva en la escala y a la velocidad que se requiere.
- Adaptar los procesos de transferencia de tecnología para cada región, reconociendo así que existen diferencias en cuanto a disponibilidad de suministros (materias primas, combustibles alternativos, sustitutos del clínker), apoyo legislativo y exigibilidad y en el entendimiento público de los procesos de fabricación del cemento.

Un enfoque sectorial para la reducción de emisiones

En ausencia de un acuerdo global sobre la reducción de emisiones, un análisis sectorial de la problemática del clima y un enfoque sectorial, pueden ofrecer varias ventajas respecto a respuestas organizadas geográficamente. Por ello, los enfoques sectoriales se encuentran ahora en la agenda de política climática internacional. Para la CSI, un enfoque sectorial comprende la acción organizada de los productores clave en una industria específica, y sus gobiernos anfitriones para hacer frente a las emisiones de gases de efecto invernadero originadas de sus productos y procesos, en el marco de la CMNUCC. Se puede implementar como parte de las estrategias de mitigación apropiadas para cada país (NAMAs). Para mostrar el impacto relativo de las diferentes opciones de política sobre emisiones de CO₂, la CSI llevó a cabo un proyecto de modelación económica y política, junto con diálogos con las partes interesadas. Un modelo económico fue construido con ocho regiones del mundo e incluye datos sobre tecnología de producción, transporte, costos de energía y opciones de reducción de CO₂. El modelo incluye las metas regionales y costos de las opciones de reducción de carbono, así como el comercio del mismo. Se pueden analizar y comparar diversas opciones de política sobre carbono, analizando sus efectos sobre los flujos y costos regionales de CO₂ y de cemento.

Un enfoque sectorial fue modelado como una combinación de límites fijos de emisión (caps) en los países del Anexo I, con metas de eficiencia de emisiones en países no incluidos en el Anexo I – sólo una de un número de combinaciones posibles de política. A diferencia de otros informes sobre el mismo tema, el modelo CSI de enfoque sectorial no hace pronósticos sobre el futuro. En su lugar, compara las diferentes opciones políticas con un caso base “sin compromisos”. Las proyecciones⁹ del modelo indican que:

- Un enfoque sectorial podría reducir las emisiones de la industria del cemento de manera significativa en comparación con el caso base.
- Si bien existen diferencias regionales, un enfoque sectorial podría aumentar significativamente el acceso a los ejes principales de mitigación de gases de efecto invernadero en la industria mediante el diseño cuidadoso de políticas nacionales.
- Alcanzar el potencial del enfoque sectorial requiere políticas de apoyo gubernamentales en los países participantes (por ejemplo, en materia de normas de cemento, códigos de construcción y prácticas de gestión de residuos).

Para la mayoría de gobiernos, un enfoque sectorial ofrece un control significativo a nivel nacional para ajustar el manejo de emisiones y metas de eficiencia a las circunstancias y capacidades locales. Un enfoque sectorial podría ayudar a mejorar la velocidad y eficacia de los esfuerzos de mitigación de gases de efecto invernadero en la industria. Si se diseñan adecuadamente, podría ofrecer fuertes incentivos por participación de economías, empresas y gobiernos en desarrollo.

La CSI está lista, dispuesta y en capacidad de colaborar en la definición de tal enfoque con mayor detalle, incluyendo requerimientos de datos de la industria, prácticas de medición, reporte y verificación (MRV), políticas de fijación de metas y acreditación, y políticas puntuales a nivel nacional, por ejemplo alrededor normas para productos del cemento y códigos de construcción.

El reto para los legisladores es convertir conceptos actuales en torno a los enfoques sectoriales en instrumentos eficaces de política internacional que promuevan el despliegue rápido y rentable de la mejor tecnología disponible, y emitan una señal fuerte a la industria para hacer de la mitigación de emisiones una prioridad de innovación.

Un trabajo reciente realizado por la Comisión Europea muestra la aceptación política de diversas opciones, así como las condiciones que deben cumplirse para que un mecanismo de acreditación sectorial sea eficaz (CCAP et al., 2008). Otros trabajos han explorado el proceso de llegar a enfoques sectoriales factibles en el marco del régimen de la CMNUCC (Baron et al, 2008;.. Ward et al, 2008). Por otra parte, la presentación del Japón para la reunión sobre enfoques sectoriales de la CMNUCC en Poznan ha identificado una serie de pasos que son necesarios para su implementación exitosa.¹⁰

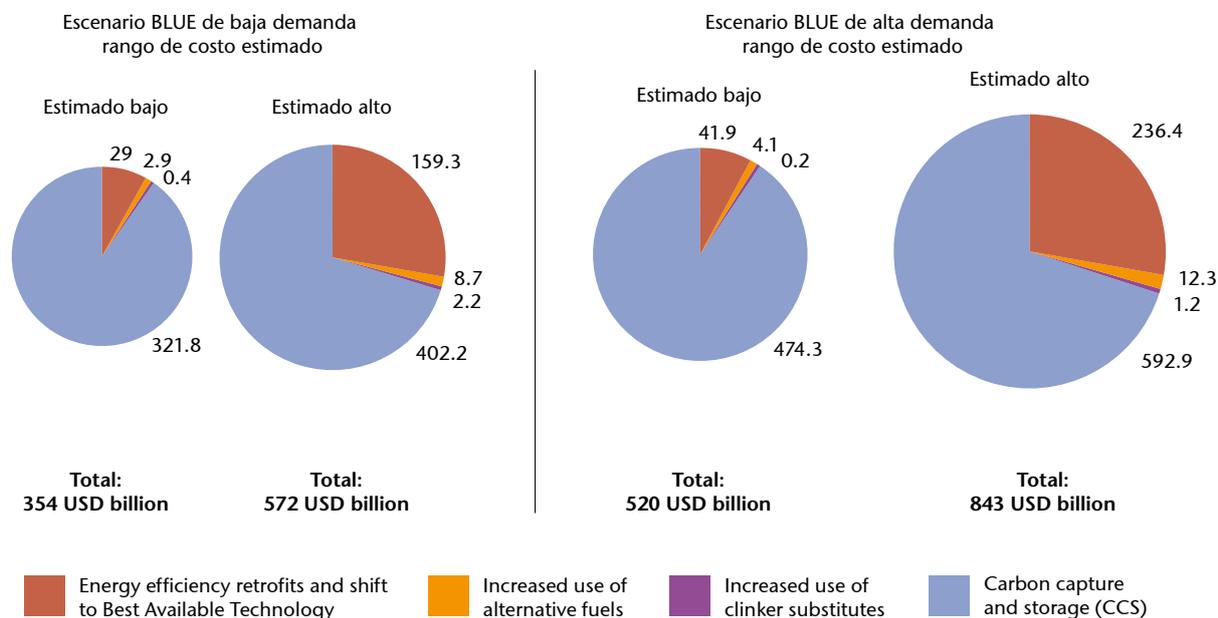
9 www.wbcsdcement.org/sectorial

10 Presentación del Japón sobre la Aplicación de Enfoques Sectoriales - memorándum, noviembre de 2008

¿Qué apoyo financiero se necesita?

Estimado de necesidades acumuladas de inversión adicional en los escenarios BLUE

Costo adicional (por encima del costo de referencia) en billones de USD



Este informe calcula las necesidades de inversión adicional desde el 2005 al 2050 como la diferencia en la inversión tecnológica entre el escenario normal de negocios y los escenarios BLUE. El estimado no incluye los beneficios económicos que estas inversiones producen los cuales llevarían a costos de inversión reducidos.

Fuente: IEA, 2009

La IEA estima que los costos de inversión adicionales para lograr una reducción de emisiones de CO₂ están en el rango de USD350-570 billones de dólares bajo un escenario de baja demanda y de USD520-840 billones en un escenario de alta demanda. Gran parte de las inversiones adicionales se necesitarán en los países en vías de desarrollo, donde las políticas de CO₂ están surgiendo. Superar los obstáculos que supone un capital limitado y múltiples exigencias para su uso en economías en desarrollo para la implementación generalizada de tecnología será fundamental.

A diferencia de la industria de la energía, donde los altos costos de descarbonización se pueden transferir al usuario final a través del proceso de establecimiento de tasas reguladas por el gobierno, el precio del cemento es fijado por el mercado, porque el cemento es un buen objeto de comercio internacional. Un sistema mundial de comercio de emisiones puede ser otro instrumento político crucial en el futuro. Sin embargo, en el corto y mediano plazo, los acuerdos internacionales entre los principales países productores cubriendo las principales industrias intensivas en energía podrían ser un primer paso práctico en el fomento de la implantación de nuevas tecnologías y al mismo tiempo abordar las preocupaciones sobre competitividad y la fuga de carbono. Para el financiamiento de mejoras de eficiencia energética, los préstamos garantizados por el gobierno apoyarían a algunos países en la reducción de emisiones en el corto plazo.

Las necesidades de inversión para la industria del cemento están dominadas por los costos iniciales adicionales de las instalaciones de CAC en las plantas cementeras. La CAC en Europa podría duplicar las necesidades de inversión para una planta de cemento (ECRA, 2009), así como aumentar el uso de energía y los costos operativos. Es evidente que las necesidades totales de inversión y los costos marginales de reducción para la industria del cemento son sumamente sensibles a los costos futuros de CAC. En el corto plazo, el desarrollo y demostración de CAC requerirá un fuerte apoyo gubernamental puesto que la industria no puede asumir estos costos por sí misma. Se estima que USD2-3 billones son necesarios para financiar los proyectos de demostración de CAC en la industria del cemento y otros USD30-50 billones serán necesarios en 2030 para el despliegue lo que representa 50-70 plantas comerciales).

El apoyo financiero será particularmente necesario para desarrollar y probar tecnologías de captura de carbono en la industria del cemento. Antes de 2020, se necesitan fondos para las plantas de demostración de CAC, y más tarde para la prueba de oxicombustión. Los criterios tradicionales de financiación utilizados por la industria no servirán para proyectos de CAC a menos que haya en pie un precio (o estímulo) global del carbono que emita una señal clara a largo plazo por un valor de reducción de emisiones de CO₂ que justifique el costo de mitigarlos. A diferencia de las tecnologías de eficiencia energética que muestran un

retorno sobre la inversión a través de costos reducidos de combustible, las tecnologías de captura de carbono no ofrecen devoluciones en la actualidad. De hecho, es probable que aumenten los costos operativos. Es probable que sea necesario fijar precios globales de carbono a largo plazo en el orden de USD50-100 por tonelada de CO₂, llegando a USD200/ton en el año 2050, para proporcionar retornos sobre las inversiones de CAC.

En el corto plazo, es poco probable que la brecha de financiación asociada con el costo incremental de CAC sea cubierta en los mercados actuales de CO₂. En consecuencia, los gobiernos se verán obligados a contribuir al cumplimiento de este déficit de financiación, ya que sin motivaciones comerciales es improbable que la industria cubra este vacío por sí misma. Si no hay ningún incentivo o penalización de CO₂ en pie, será necesario una mayor I&D, cofinanciada por los gobiernos y apoyo adicional para el despliegue

Para el despliegue comercial de la CAC a gran escala, será necesario contar con un mecanismo de financiación más amplio. Los mecanismos tendrán que proporcionar certidumbre a largo plazo respecto a un nivel de precio del CO₂ suficientemente alto. Sin este mecanismo, el CAC no se implementará en la medida necesaria para cumplir con los objetivos de la hoja de ruta. Para ello será necesario el fortalecimiento de los mecanismos de financiación de reducción de CO₂ (por ejemplo, asegurando que la CAC es elegible para proyectos de MDL) y la creación de nuevos mecanismos tales como un precio mínimo garantizado para el CO₂ capturado y almacenado. El mecanismo de financiación más comúnmente considerado para la reducción del CO₂ es un sistema cap-and-trade (de canje), como el Sistema de Comercio de Emisiones de la UE.

Varias fuentes de financiamiento están disponibles actualmente en los diferentes países para desarrollar y desplegar tecnologías bajas en carbono, pero la mayoría se centran en la eficiencia energética y pocas están a la escala necesaria para financiar el desarrollo y el despliegue de CAC. La financiación de las actividades de demostración se centra actualmente en la generación de energía, pero debería ampliarse para incluir pruebas de CAC en la industria del cemento y en otras industrias, ya que hay diferencias significativas entre industrias en la aplicación de esta tecnología. Una parte de la financiación de los paquetes de estímulo económico dedicado a CAC debe asignarse a la industria del cemento.

En general, la actual crisis financiera, un panorama económico débil y la disminución de los precios de los productos básicos han cambiado significativamente el calendario de inversión de la industria del cemento. Los nuevos proyectos se han retrasado o cancelado debido a la falta de financiación de la construcción

(asequible) y la incertidumbre en torno a la demanda futura. En este entorno económico, será fundamental que los gobiernos soporten el desarrollo tecnológico de manera tangible, por ejemplo, a través de préstamos con garantías gubernamentales para ayudar a reducir los riesgos de inversión en tecnologías bajas en carbono.

Esta hoja de ruta recomienda:

- Un sistema mundial de comercio de emisiones que ayude a minimizar los costos de las opciones de reducción de CO₂ en la industria cementera a menor costo, incluyendo tecnologías CAC.
- Asignación de préstamos garantizados por el gobierno que permitan minimizar los riesgos y asegurar que las inversiones de CAC en la industria del cemento sean financiables.
- Expansión del Mecanismo de Desarrollo Limpio e Implementación Conjunta de proyectos que faciliten la financiación de iniciativas de eficiencia energética, combustibles alternativos, sustitución de clínker y uso de tecnologías de CAC en la industria cementera.
- Promoción amplia de fuentes alternativas de financiación de tecnologías bajas en carbono en la industria cementera, incluyendo agencias de créditos de exportación y bancas de desarrollo multilateral (p. e., Fondos de Inversión Climática administrados por el Banco Mundial, la Corporación Financiera Internacional, el Banco Europeo para la Reconstrucción y el Desarrollo, la Banca de Inversión Europea) y las compañías de servicios de energía.

Indicadores de progreso

Los indicadores se han identificado para ayudar a monitorear el progreso contra la hoja de ruta del cemento. Es difícil desarrollar estos indicadores porque la tecnología avanza a velocidades diferentes y la implementación de las opciones de reducción de la intensidad de CO₂ es impredecible. Sin embargo, son útiles en el desarrollo de hitos para la planeación futura de tecnología y políticas. Los indicadores cubren la implementación de la mejor tecnología disponible, el uso de combustibles alternativos, la sustitución de clínker y las necesidades de desarrollo, demostración y despliegue de CAC hasta 2050. Estos indicadores

tienen por objeto ilustrar lo que se necesita desarrollar en la industria del cemento para lograr los objetivos establecidos en la hoja de ruta. Pueden utilizarse como una guía general para el establecimiento de objetivos en un marco de colaboración internacional. Las cifras de CAC son ambiciosas, dado el estado actual de viabilidad técnica y comercial no probada, y ponen de relieve la necesidad urgente de acciones en las fases de demostración y despliegue.

Indicadores – Hoja de Ruta del Cemento						
	2012	2015	2020	2025	2030	2050
Consumo de energía térmica por tonelada de clínker (Gj/ton)	3.9	3.8	3.5-3.7	3.4-3.6	3.3-3.4	3.2
Proporción de uso de combustibles alternativos y biomasa (1)	5-10%	10-12%	12-15%	15-20%	23-24%	37%
Relación clínker-cemento	77%	76%	74%	73.5%	73%	71%
CCS						
No. de plantas piloto	2	3				
No. de plantas demo en operación		2	6			
No. de plantas cciales en operación				10-15	50-70	200-400
Mt almacenados	0.1	0.4	5-10	20-35	100-160	490-920
Toneladas de emisiones de CO ₂ por tonelada de cemento (2)	0.75	0.66	0.62	0.59	0.56	0.42

Notas: (1) Supone 25 a 30 Mtoe de uso de combustibles alternativos en 2015 y 50 a 60 Mtoe en 2030, y excluye la energía de CAC y el uso de electricidad, (2) Incluye reducciones producto de CAC

Fuente: IEA, 2009

Parte Interesada	Item de Acción (se incluyen ejemplos de este tipo de acciones en la hoja de ruta)
Ministerios de Finanzas y/o Economía	<ul style="list-style-type: none"> • Recompensar las inversiones en energía limpia, por ejemplo, con incentivos fiscales por recuperación del calor residual (WHR) • Eliminar los subsidios a precios de energía que pueden actuar como barrera para la implementación de tecnologías energéticas más eficientes • Ofrecer préstamos garantizados por el gobierno para apoyar la gestión de riesgos y financiación de plantas piloto y de demostración de CAC • Habilitar un sistema global de comercio de emisiones que facilite la financiación de opciones de reducción de CO₂ en la industria cementera
Ministerios del Medio Ambiente, Energía y Recursos	<ul style="list-style-type: none"> • Compartir políticas de buenas prácticas para la promoción de la eficiencia energética y la reducción de emisiones de CO₂ • Desarrollar e implementar normas internacionales de eficiencia energética y emisiones de CO₂ • Garantizar que las políticas nacionales de eliminación de residuos permitan el pleno potencial de coprocesamiento en la industria del cemento y faciliten la comprensión de las partes interesadas y del público en general del papel del uso de combustibles alternativos en la mitigación del cambio climático • Desarrollar nuevos estándares y códigos para la industria cementera (o revisar los ya existentes) para permitir un uso más generalizado de cemento mezclado y facilitar el uso de una nueva generación de cementos emergentes • Asignar fondos a programas de I&D para tratar los vacíos de conocimiento sobre diversos aspectos de desarrollo y codesarrollo de tecnología de CAC • Modificar el marco de MDL para facilitar la financiación de proyectos de eficiencia energética y la inclusión de proyectos de CAC • Aceptar créditos de CAC en esquemas de comercio de emisiones, por ejemplo el ETS de la UE • Desarrollar marcos regulatorios para CAC y colaboración internacional en materia de regulación de CAC • Establecer programas de extensión y educación en CAC para el público en general • Investigar los vínculos de las redes existentes o integradas y oportunidades para actividades grupales en zonas industriales e identificar redes de transporte y sitios de almacenamiento cerca de las plantas cementeras.
Ministerios de Educación y/o Ciencia y Universidades	<ul style="list-style-type: none"> • Promover eventos internacionales de entrenamiento con antes de estandarización e institutos de acreditación a nivel nacional para facilitar el intercambio de experiencias en cuanto a sustitución, estándares para la industria cementera, desempeño concreto • Estudios de Impacto Ambiental (EIA) independientes sobre el uso de materiales de sustitución clave en la industria cementera y en otras, que muestren dónde se puede alcanzar la máxima reducción potencial de emisiones • Aumentar el número y destrezas de los investigadores científicos con experiencia en la industria cementera a través del apoyo conjunto de la industria y el gobierno a programas universitarios adecuados y la creación de cargos educativos y de investigación en la ciencia de los materiales y la protección del clima por parte de la industria • Integración y/o alineación de los programas de investigación a nivel nacional e internacional y participación activa de las compañías en los programas existentes y futuros cuando sea posible • Crear marcos institucionales para iniciativas tecnológicas a escala industrial (gestión y ejecución de proyectos, mecanismos de financiación, reglas de asociación, modelos de gobernabilidad), en colaboración con otras partes interesadas, para fomentar la cooperación entre los países y sus sectores público y privado para financiación y conocimiento común, uniendo habilidades complementarias
MDA (Agencias de Desarrollo Multilateral)	<ul style="list-style-type: none"> • Promover fuentes alternativas de financiación para tecnologías bajas en carbono en la industria del cemento, incluyendo las agencias de crédito a la exportación, los bancos multilaterales de desarrollo
Industria	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminación gradual de hornos secos largos y procesos de producción húmedos vía húmeda en todo el mundo • Reunir datos confiables de energía y emisiones a nivel de la industria e identificar los puntos de referencia • I&D de técnicas de proceso para sustitutos potenciales del clínker que actualmente no pueden utilizarse por cuestiones de calidad • Unirse a las discusiones gubernamentales para promover los conceptos de ecología industrial y excavación de vertederos para generar combustibles y materias primas alternativas • Establecer programas de colaboración o redes de investigación entre empresas, proveedores de equipos, institutos de investigación y gobiernos para financiación común de recursos de I&D, y asociaciones público-privadas para reducción de emisiones (incluyendo tecnologías de CAC) • Colaborar con la administración en el proceso de la CMNUCC para explorar los elementos clave de los marcos climáticos exitosos, por ejemplo, requerimientos de la industria, MRV, el establecimiento de objetivos y posibles mecanismos de acreditación
Gobiernos Estatales, Provinciales y Locales	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar y actualizar la normatividad local para asegurar que el uso de combustibles alternativos y biomasa esté incentivado y no restringido por la política • Colaborar con las asociaciones comerciales de la industria del cemento para asegurar una distribución equitativa de responsabilidades entre el gobierno y la industria en torno al desarrollo de tecnología • Garantizar que los operadores sigan directrices comunes sobre el uso de combustibles alternativos para garantizar procesos adecuados, por ejemplo, capacitación, documentación, monitoreo de transparencia • Proporcionar una formación adecuada a los responsables de los permisos, el control y la supervisión, para construir confianza entre las comunidades • Adaptar los procesos de transferencia de tecnología a las regiones individuales, reconociendo que existen diferencias en disponibilidad de la oferta, apoyo legislativo y ejecución, y la comprensión del público en general
ONG y Centros de Estudios	<ul style="list-style-type: none"> • Colaborar con la industria para comprender plenamente el papel de coprocesamiento en la protección del clima • Comunicar la función de la CAC en la mitigación del cambio climático

*Multilateral development agencies

En conclusión

Esta hoja de ruta es la primera que se centra en un enfoque a nivel industria en la tecnología de reducción de emisiones. La IEA y las empresas miembro de la CSI han trabajado juntas para desarrollar una posible vía de transición para una industria que avanza hacia el año 2050 con la mitad de las emisiones de CO₂ actuales.

En esta hoja de ruta se tratan cuatro ejes de reducción clave a disposición de la industria del cemento para reducir las emisiones de CO₂:

1. Eficiencia térmica y eléctrica
2. El uso de combustibles alternativos
3. Sustitución de clínker
4. Captura y almacenamiento

Darse cuenta de todo el potencial de cada eje requiere de apoyo político y económico y de desarrollo tecnológico dentro de la industria misma. El logro de los resultados completos indicados en la hoja de ruta requiere el total complemento de las acciones políticas y de tecnología descritas. Los indicadores de (progreso artículos identificados en la página 29) sólo se lograrán con la acción regional apropiada frente al potencial de cada eje de reducción en cada región específica. Las recomendaciones políticas generales deben adaptarse a las diferentes regiones para asegurar que el enfoque de la industria para la reducción de emisiones es compatible con las diferencias regionales, por ejemplo en la disponibilidad de material.

La visión de estas reducciones es ambiciosa. La hoja de ruta ha sido diseñada con hitos para ayudar a la comunidad internacional a hacer seguimiento a los esfuerzos de desarrollo tecnológico para lograr las reducciones necesarias de emisiones de CO₂ para el año 2050. Las futuras actualizaciones de esta hoja de ruta deberán reflejar la situación real y monitorear el progreso contra de los indicadores de la hoja de ruta.

Hemos desarrollado esta hoja de ruta conjuntamente para mostrar el valor de la colaboración y cooperación en el logro de las grandes reducciones de emisiones necesarias a nivel mundial. Ofrecemos aquí una vía potencial para una industria. Con esto, se busca un diálogo abierto con los legisladores, socios financieros y otras industrias para ayudarnos a todos a adaptarnos efectivamente al mundo limitado en carbono que enfrentaremos en los años por venir.

Para mayor información sobre aportes e implementación de la hoja de ruta, visite www.iea.org/roadmaps y para información sobre cómo la hoja de ruta se conecta con otros trabajos de la CSI sobre protección del clima y reducción de emisiones, visite www.wbcsdcement.org/tecnology

Glosario

- **Agregados:** materiales utilizados en la construcción, como arena, grava y piedra triturada
- **Combustibles fósiles alternativos:** productos de origen fósil utilizados como fuente de energía térmica y no clasificados como combustible fósil tradicional. Básicamente son residuos fósiles tales como plásticos, solventes, aceites usados, llantas usadas, etc.
- **Biomasa:** productos de origen biogénico utilizados como fuente de energía térmica, incluyendo los provenientes de animales o plantas. Ésta consiste principalmente de residuos agrícolas, de silvicultura, residuos biológicos de tratamiento de aguas y de la agroindustria
- **Cemento mezclado:** cemento Portland mezclado con sustitutos de clínker
- **Fuga de carbono:** aumento de las emisiones de CO₂ en un país como resultado de una reducción de emisiones en otro país; por ejemplo, si ese segundo país tiene una política climática más estricta
- **Cemento:** material de construcción resultante de moler clínker junto con diversos componentes minerales, tales como yeso, piedra caliza, escoria de alto horno, cenizas volantes de carbón y material volcánico natural. Actúa como agente de unión al mezclarse con arena, grava o piedra triturada y agua para hacer concreto. Si bien las cualidades del cemento están definidas por normas nacionales, no existe una definición armonizada o estándar para el cemento en todo el mundo. En el Protocolo WBCSD – CSI y la base de datos GNR, “cemento” incluye todos los aglomerantes hidráulicos que se entregan al cliente final, es decir, incluyendo todos los tipos de cementos Portland, compuestos y mezclados, además de escoria granulada molida y cenizas volantes entregadas a los mezcladores de concreto, pero excluyendo el clínker. Véase la sección 6.3 del Protocolo de Cemento WBCSD – CSI para la definición precisa
- **Productos cementantes:** total de todos los cementos y clínker producidos por una empresa de cemento, excluyendo el clínker comprado a otra compañía y utilizado para hacer cemento. La definición precisa de producto cementantes en este contexto se da de acuerdo a la sección 6.2 del Protocolo del Cemento WBCSD – CSI. El cemento es igual al producto cementoso cuando el saldo neto de clínker vendido y comprado es cero
- **Clínker:** producto intermedio en la fabricación de cemento y la principal sustancia en el mismo. El clínker es el resultado de la calcinación de piedra caliza en el horno y las reacciones subsiguientes durante la quema
- **Coprocesamiento:** uso de materiales de desecho en los procesos industriales, por ejemplo, en el cemento, como sustitutos de combustible primario o materias primas
- **CSI:** Iniciativa de Sostenibilidad del Cemento, ver www.wbcdcement.org
- **ETS de la UE:** Sistema de Comercio de Emisiones de la Unión Europea
- **Cenizas volantes:** material particulado proveniente del despolvamiento de los gases calientes, generado y capturado en las centrales eléctricas a carbón
- **Cemento de geopolímeros:** cemento fabricado con cadenas o redes de moléculas minerales que producen 80 a 90% menos de CO₂ que el CPO, ver www.geopolymer.org
- **GNR:** “las cifras correctas”; base de datos mundial del cemento creada por la CSI y que cubre más de 800 plantas en todo el mundo pertenecientes a las 18 empresas miembro de la CSI
- **Emisiones brutas de CO₂:** todas las emisiones directas de CO₂ (excepto la producción eléctrica in situ) excluyendo las emisiones de CO₂ procedentes de la biomasa, que se consideran neutras en cuanto al clima
- **IEA:** Agencia Internacional de Energía www.iea.org
- **Tecnología de membrana:** esta tecnología implica membranas fabricadas específicamente para permitir el paso selectivo de gases (por ejemplo, CO₂). El proceso depende de la naturaleza de los materiales y de la diferencia de presión a través de la membrana misma. Estas nuevas tecnologías de separación de gases todavía no se han aplicado a escala industrial
- **MRV:** Monitoreo, Reporte y Verificación
- **NAMA:** medidas de mitigación apropiadas a nivel nacional
- **Emisiones netas de CO₂:** emisiones brutas de CO₂ menos las emisiones procedentes de combustibles fósiles alternativos
- **Cemento Portland Ordinario (CPO):** el tipo más común de cemento, que consta de más de un 90% de clínker y aproximadamente un 5% de yeso
- **Coque de petróleo:** material sólido a base de carbón, derivado de las refinerías de petróleo
- **Puzolana:** un material que, cuando se combina con hidróxido de calcio, exhibe propiedades cementosas
- **Horno precalcinador:** un horno rotativo equipado de modo que la mayor parte de la calcinación de piedra caliza se lleva a cabo en un aparato independiente delante del horno rotatorio, siendo esto más eficiente energéticamente que tener toda la calcinación en el propio horno
- **Enfoque sectorial:** una combinación de políticas y medidas desarrolladas para mejorar la mitigación de gases de efecto invernadero de manera eficiente, sector por sector, en el marco de la ONU. Los productores y sus gobiernos anfitriones adoptan un conjunto de metas de emisiones, que pueden variar según el país, o toman otra acción coordinada para ayudar a combatir el cambio climático; ver www.wbcdcement.org/sectoral
- **Hoja de ruta de tecnología:** planes de trabajo para apoyar a la industria baja en carbono, la academia y grupos de investigación, la sociedad civil y los gobiernos en la identificación y priorización de los objetivos estratégicos de I&D e inversiones necesarias para alcanzar los objetivos de desarrollo tecnológico
- **Combustibles tradicionales:** combustibles fósiles definidos por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), que incluyen principalmente: carbón, coque de petróleo, lignito, esquistos, productos derivados del petróleo y el gas natural
- **WBCSD:** Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible www.wbcd.org

Referencias

Para ver las referencias completas utilizadas en la hoja de ruta, visite www.wbcsdcement.org/technology o www.iea.org/roadmaps/cement.asp

Anexo I: Factores de emisión utilizados en el modelo de hoja de ruta de la IEA

Factor de emisión de CO ₂	
Carbón	4.4 MtCO ₂ /mtoe
Petróleo	3.2 MtCO ₂ /mtoe
Gas	2.34 MtCO ₂ /mtoe
Combustibles alternativos (promedio)	1.85 MtCO ₂ /mtoe
Proceso de CAC	0.54 tCO ₂ /t clinker

Anexo II: Cálculo de la base de referencia utilizada en el modelo de hoja de ruta de la IEA

	2006	Base de referencia año 2050 (baja)	Base de referencia año 2050 (alta)	Hoja de ruta año 2050 (dda. baja)	Hoja de ruta año 2050 (dda. alta)
INDICADORES GLOBALES					
% de clínker	79	75	74	71	73
% de combs. alternativos (incluyendo biomasa)*	3	4	4	37	37
Gj/t de clínker	4.2	3.5	3.5	3.3	3.2
kWh/t de cemento (sin CAC)	111	95	95	92	92
T CO ₂ / t de cemento	800	693	636	426	352**
VOLÚMENES GLOBALES					
Producción de cemento en millones de t	2,559	3,657	4,397	3,657	4,397
Emisiones de CO ₂ (sin CAC) millones de t	2,047	2,337	2,796	2,052	2,521

*La IEA utiliza el 40% de la biomasa en combustibles alternativos

**Las bajas emisiones específicas en el caso de una gran demanda, 352t CO₂ / t de cemento, se debe alcanzar para cumplir con el escenario BLUE de la IEA.

Esto requiere la captura y el almacenamiento ambicioso de aproximadamente 221kg de CO₂ por tonelada de cemento producido en 2050.

La hoja de ruta prevé reducciones significativas en emisiones, provenientes de desarrollos base de referencia al interior de la industria del cemento. Estos incluyen reducciones en el porcentaje de clínker en el cemento y en el consumo energético, tanto del combustible del horno como de la electricidad Junto

a un pequeño incremento en el uso de combustibles alternativos, esto reducirá las emisiones específicas de un nivel actual de 800 a 693 kg de CO₂ por tonelada de cemento (una reducción algo superior al 13%).

Anexo III: Principales diferencias entre escenarios de demanda baja y alta de cemento

El pronóstico de demanda de cemento es un parámetro fundamental para evaluar las reducciones de emisiones potenciales. Una mayor demanda implicará menores reducciones absolutas alcanzables en el tiempo, aceleración de la implementación de la CAC o una combinación de ambos factores. Se puede encontrar una amplia gama de proyecciones en diferentes estudios realizados, y el pronóstico de demanda de la IEA para 2050 utilizado en esta hoja de ruta se ubica en el extremo inferior de la gama de proyecciones encontrada. Por ejemplo, IDDRI y Entreprises pour l'Environnement (EPE) pronostica la demanda de cemento para el 2050 en casi 5 millones de toneladas, y WWF / Lafarge la pronostica en 5,5 millones de toneladas (ver referencias). Esta lista describe las principales diferencias entre los escenarios bajo y alto modelados por la IEA:

- El escenario de demanda baja pronostica la producción de 3,66 billones de toneladas en el 2050 y el escenario de demanda alta, 4,4 billones de toneladas, es decir, **una diferencia de 0,74 billones de toneladas**
- **Reducción de CO₂ por CAC:** 0,43 Gt de diferencia entre los escenarios bajo y alto
- **Reducción de CO₂ sin CAC:** 0,42 Gt de diferencia entre los escenarios bajo y alto
- **Disminución total de CO₂:** 0,01 Gt de diferencia entre los escenarios bajo y alto
- **Intensidad de emisiones (incluido el CO₂ del uso de electricidad):** una diferencia de 0,074 t CO₂ / t cemento entre los escenarios bajo y alto
- **Intensidad de emisiones (excluyendo la CAC):** 0,003 t CO₂ / t cemento
- **Uso de electricidad:** no hay diferencia entre los escenarios bajo y alto sin incluir la CAC. Si se incluye la CAC la diferencia es de 14 kWh / t de cemento

SOBRE LA IEA

La Agencia Internacional de Energía (IEA) es un organismo autónomo establecido en noviembre de 1974 en el marco de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) para implementar un programa energético internacional.

Lleva a cabo un programa integral de cooperación energética entre veintiocho de los treinta países miembro de la OCDE. Los objetivos básicos de la IEA son:

- Mantener y mejorar los sistemas para hacer frente a las interrupciones de suministro de petróleo.
- Promover políticas energéticas racionales, en un contexto global a través de relaciones de cooperación con países no miembro, la industria y las organizaciones internacionales.
- Operar un sistema de información permanente en los mercados internacionales de petróleo.
- Proporcionar datos sobre otros aspectos de los mercados energéticos internacionales.
- Mejorar el suministro de energía del mundo y la estructura de la demanda mediante el desarrollo de fuentes alternativas de energía y aumentar la eficiencia del uso de energía.
- Promover la colaboración internacional en la tecnología energética.
- Ayudar en la integración de las políticas ambientales y energéticas, incluidas las relativas al cambio climático.

Países miembro de la IEA: Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Canadá, República Checa, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Japón, Corea (República de), Luxemburgo, Países Bajos, Nueva Zelanda, Noruega, Polonia, Portugal, República Eslovaca, España, Suecia, Suiza, Turquía, Reino Unido y Estados Unidos, la Comisión Europea también participa en los trabajos de la IEA.

La OCDE es un foro único donde los gobiernos de treinta democracias trabajan juntos para hacer frente a los desafíos económicos, sociales y ambientales de la globalización.

La OCDE está a la vanguardia de los esfuerzos para comprender y ayudar a los gobiernos a responder a los cambios y preocupaciones, tales como el gobierno corporativo, la economía de la información y los desafíos del envejecimiento de la población. La Organización proporciona un entorno donde los gobiernos pueden comparar sus experiencias políticas, buscar respuestas a problemas comunes, identificar buenas prácticas y trabajar para coordinar las políticas nacionales e internacionales.

www.iea.org



SOBRE EL WBCSD

El Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD) reúne a unas 200 empresas internacionales en un compromiso compartido con el desarrollo sostenible a través del crecimiento económico, el equilibrio ecológico y el progreso social. Nuestros miembros provienen de más de 36 países y 22 sectores industriales. También nos beneficiamos de una red global de cerca de 60 consejos empresariales nacionales y regionales y las organizaciones asociadas.

Nuestra misión es proporcionar liderazgo empresarial como catalizador para el cambio hacia el desarrollo sostenible, y apoyar la licencia comercial para operar, innovar y crecer en un mundo cada vez más determinada por los temas de desarrollo sostenible.

Nuestros objetivos son:

- Liderazgo empresarial - ser un defensor de negocios líder en el desarrollo sostenible
- Política de desarrollo - para ayudar a desarrollar políticas que creen las condiciones marco para la contribución empresarial al desarrollo sostenible
- El Business Case - para desarrollar y promover el caso empresarial para el desarrollo sostenible
- Buenas prácticas - demostrar la contribución empresarial al desarrollo sostenible y compartir las mejores prácticas entre los miembros
- Alcance global - contribuir a un futuro sostenible para los países en desarrollo y países en transición.

www.wbcsd.org



World Business Council for Sustainable Development

SOBRE LA CSI

La Iniciativa para la Sostenibilidad del Cemento (CSI) es un esfuerzo global de 18 de los productores de cemento más importantes, con sede en 14 países y operaciones en más de 100. En conjunto, estas empresas representan alrededor del 30% de la producción de cemento en el mundo y varían en tamaño desde grandes multinacionales a pequeños productores locales. Todos los miembros de la CSI han integrado el desarrollo sostenible en sus estrategias y operaciones comerciales, ya que buscan un fuerte desempeño financiero con un compromiso igualmente firme con la responsabilidad social y ambiental. Durante sus 10 años de historia, la CSI se ha centrado en la comprensión, gestión y minimización de los impactos de la producción de cemento y la utilización de afrontar una serie de cuestiones, entre ellas: el cambio climático, el consumo de combustible, seguridad de los empleados, las emisiones en el aire, el reciclaje de concreto y la gestión de canteras.

www.wbcsdcement.org



ACKNOWLEDGEMENT

The Spanish language version of this document (prepared with kind contribution of Cementos Argos and reviewed by FICEM-APCAC) is a convenience translation of the original English language version. In case of discrepancies between the original English language document and its Spanish convenience translation, the original English version shall apply and prevail. Please visit the CSI website (www.wbcscement.org) for more information.

RECONOCIMIENTO

La versión en español de este documento (elaborado con la ayuda de Cementos Argos y revisado por los miembros de FICEM-APCAC) es una traducción de la versión original en Inglés. En caso de incompatibilidades entre el documento original y su traducción al español, la versión en Inglés prevalecerá. Para mayor información visite el sitio web de CSI en www.wbcscement.org.

RENUNCIA DE RESPONSABILIDAD

Este informe es el resultado de un esfuerzo de colaboración entre la Agencia Internacional de Energía (IEA) y la Iniciativa de Sostenibilidad del Cemento del WBCSD (CSI). Ha sido desarrollado en estrecha colaboración con una amplia gama de partes interesadas. Se han recibido datos y comentarios de la IEA, las empresas miembros de CSI y la industria del cemento, proveedores de equipos, instituciones académicas y empresas que trabajan en la innovación de la tecnología de cemento. Las partes interesadas externas fueron consultadas sobre los documentos de tecnología y el proyecto de hoja de ruta, y este documento refleja los aportes recibidos. Las empresas individuales miembro que componen la CSI y sus filiales, han participado en el desarrollo de esta hoja de ruta en estricto cumplimiento de las leyes de competencia aplicables. No se han hecho compromisos específicos de aplicación de las tecnologías descritas en el informe. Los usuarios de este informe deberán tomar sus propias decisiones independientes de negocios bajo su propio riesgo y, en particular, sin confiarse demasiado de este informe.

Este informe es publicado por la Agencia Internacional de Energía y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible. Las denominaciones empleadas y la presentación del material en esta publicación no implican la expresión de ninguna opinión por parte de la Agencia Internacional de Energía o del WBCSD sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto a la delimitación de sus fronteras o límites. Por otra parte, las opiniones expresadas en esta publicación no reflejan necesariamente las de la IEA o del WBCSD, ni la mención de nombres o procesos comerciales constituye un aval a los mismos.

AGRADECIMIENTOS

La IEA y el WBCSD desean agradecer a todos los que participaron en el desarrollo de esta hoja de ruta. Un agradecimiento especial a los miembros de la CSI, y al equipo de ECRA que preparó los documentos de tecnología, sobre los cuales se construye esta hoja de ruta.

AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA (IEA)

- Líder de la hoja de ruta (IEA): Cecilia Tam
- Análisis de escenarios y desarrollo del modelo: Michael Taylor
- Asesoramiento: Dolf Gielen

CONSEJO EMPRESARIAL MUNDIAL PARA DESARROLLO SOSTENIBLE (WBCSD)

- Líder de la hoja de ruta (CSI): Caroline Twigg
- Director (CSI): Howard Klee

INICIATIVA DE SOSTENIBILIDAD DEL CEMENTO (CSI)

Co-Presidentes del Grupo de Trabajo: Paulo Rocha (Cimpor), Rob van der Meer (HeidelbergCement)

Grupo de Trabajo: Eamon Geraghty (CRH), Yoshito Izumi (Cemento Taiheiyo), Alexander Katsiampoulas (Titan), Alexander Röder (CEMEX), Volker Hoenig (VDZ)

Participantes: Ash Grove Cement (EE.UU.), Camargo Correa (Brasil), CEMEX (México), Cementos Molins (España), Cimentos Liz (Brasil), Cimpor (Portugal), CRH (Irlanda), Grasim (India), HeidelbergCement (Alemania), Holcim (Suiza), Italcementi (Italia), Lafarge (Francia), Secil (Portugal), Shree Cement (India), Siam Cement Group (Tailandia), Taiheiyo Cemento (Japón), Titan (Grecia), Votorantim Cimentos (Brasil)

Diseño: Eddy Hill Design
and Services Concept

Créditos (fotos): Dreamstime

Copyright: © 2009, OCDE / AIE
y el Consejo Empresarial Mundial
para el Desarrollo Sostenible

ISBN: 978-3-940388-47-6

Impresora: Atar Roto Presse SA, Suiza
Impreso en papel que contiene
un 40% de contenido reciclado
y un 60% de los bosques
certificados, principalmente
(FSC y PEFC). 100% libre de cloro.
ISO 14001 molino



2010

2015

2020

2025

2030