UC | Chile
Concrete Innovation Hub

¿Dónde la química puede impactar la ruta hacia carbono neutralidad de la industria del hormigón?

Marcelo González (PhD)

Abril de 2024

AGENDA

1- Presentación personal

2- Introducción y motivación

3- Estrategias para reducir la huella de carbono del hormigón

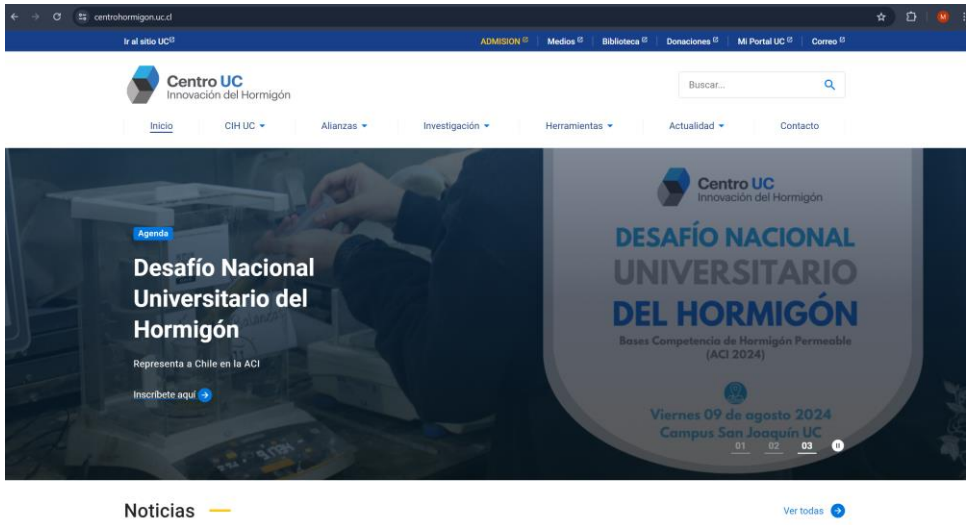
4- Reflexiones finales y conclusiones

1- Presentación personal

Marcelo González H.

Ingeniero Civil, MSc y PhD
Profesor Asociado Depto. de Ing. y Gestión de la Construcción
Fundador del Centro de Innovación del Hormigón UC (CIHUC)
Director Unidad de Hormigón y Montaje Industrial
de DICTUC.
Miembro comité TRB Standing Committee on
Advanced Concrete Materials and Characterization AKM50

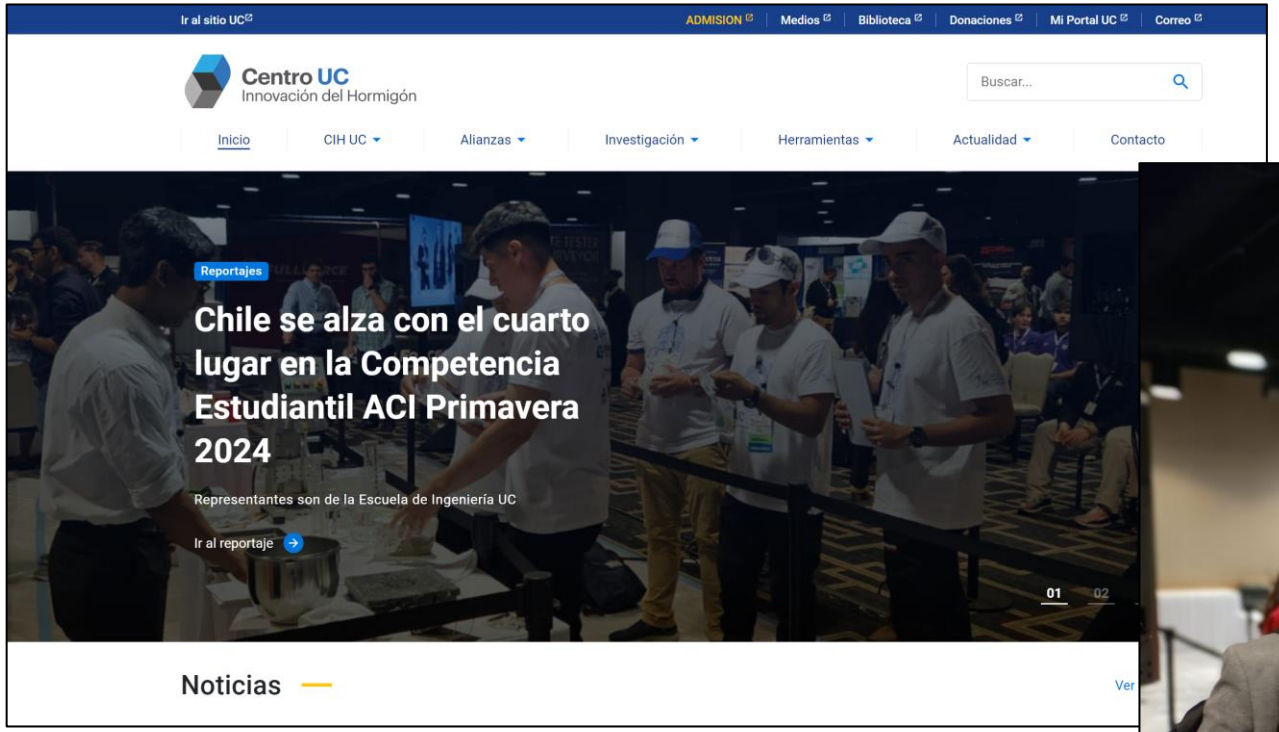
Interdisciplinary center



Áreas de interés:

- Sistemas y tecnologías de construcción con hormigón
- Nanotecnología aplicada al hormigón
- Durabilidad del hormigón
- Pavimentos de hormigón
- **Reducción de la huella de carbono del hormigón y hormigón carbono neutral**

1- Presentación personal





Agradecer al equipo CIHUC

centrohormigon.uc.cl/

1- Presentación personal

UC | Chile
Concrete Innovation Hub

Académicos Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción (DIGC)


Directora DIGC
Alondra Chamorro


Luis Fernando Alarcón


Hernán de Solminihac

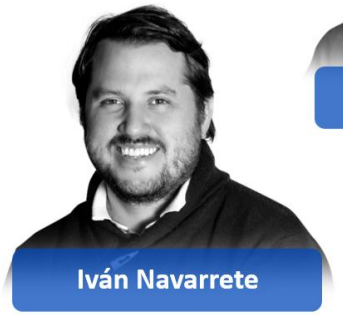

Sergio Vera

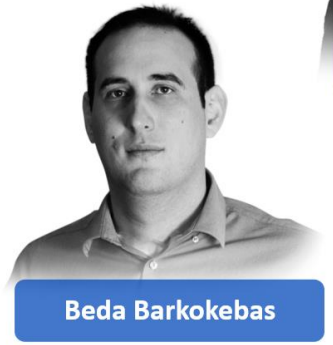

Claudio Mourgues

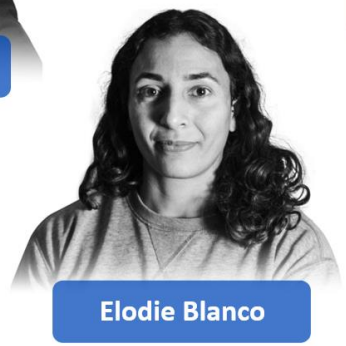

Álvaro González


Marcelo González


Manuel Carpio


Iván Navarrete


Beda Barkokebas


Elodie Blanco


Regina Dias


Andrés Prieto

2- Introducción y motivación

- ✓ El cambio climático es uno de los mayores desafíos en la actualidad
- ✓ El Dióxido de Carbono (CO_2) es el gas de efecto invernadero (GHGs) más abundante
- ✓ La concentración de GHGs en la atmósfera está directamente vinculada al promedio de temperatura en la tierra

REF: (United nations, 2023)
https://www.un.org/en/global-issues/climate-change



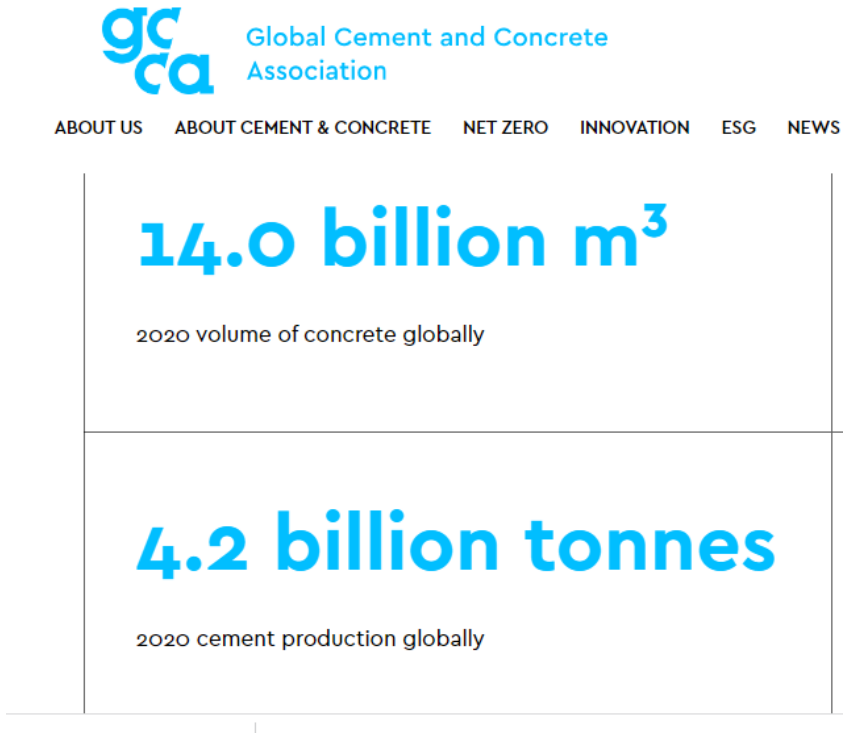
https://ottawa.ctvnews.ca/

The temperature his **29.6 C** at 4 p.m., the warmest temperature ever recorded in Ottawa on **April 13.** The previous record for the highest temperature was **26.7 C**, set back in 1945.

2- Introducción y motivación

UC | Chile
Concrete Innovation Hub

- ✓ El hormigón es el material de construcción más usado en el mundo
- ✓ Las estadísticas indican que el consumo del material seguirá en aumento



REF: https://gccassociation.org/

REF: https://energypost.eu/

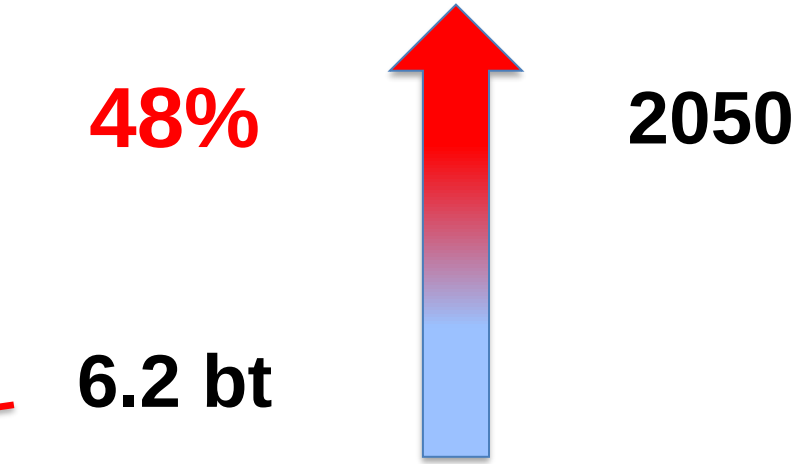
2- Introducción y motivación

UC | Chile
Concrete Innovation Hub

- ✓ El hormigón es el material de construcción más usado en el mundo
- ✓ Las estadísticas indican que el consumo del material seguirá en aumento



REF: https://gccassociation.org/

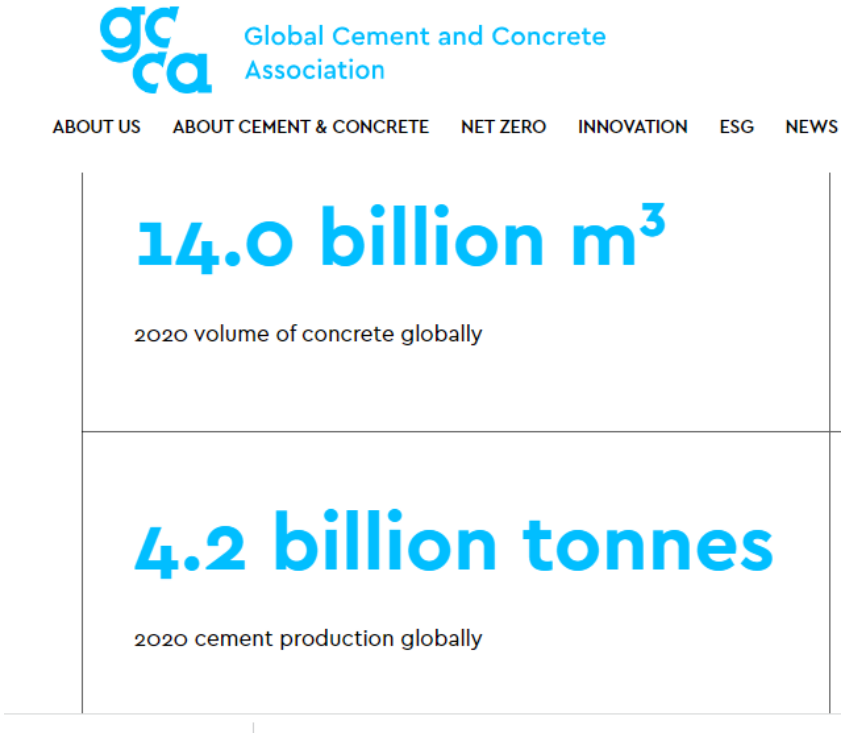


REF: https://energypost.eu/

2- Introducción y motivación

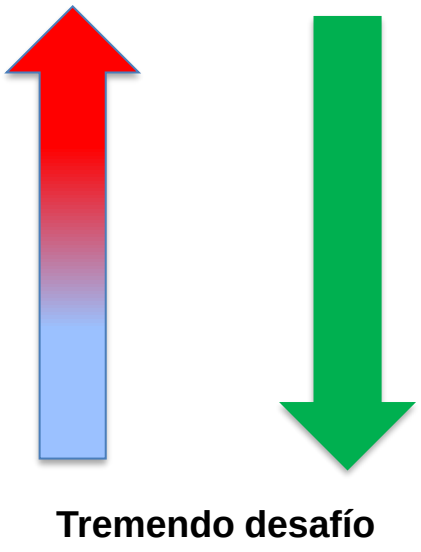
UC | Chile
Concrete Innovation Hub

- ✓ El hormigón es el material de construcción más usado en el mundo
- ✓ Las estadísticas indican que el consumo del material seguirá en aumento



REF: https://gccassociation.org/

Esta producción significa ≈ 8% de las emisiones globales de CO_2



Tremendo desafío

2- Introducción y motivación

UC | Chile
Concrete Innovation Hub

✓ ¿Qué es el hormigón de cemento Portland (PCC)?



Principales componentes en volumen (Hormigón sin aire incorporado):

Cemento (7-15%)
Agua (16-21%)
Agregados (60-75%)



En la mayoría de las aplicaciones, el hormigón requiere un refuerzo

2- Introducción y motivación

UC | Chile
Concrete Innovation Hub

✓ ¿Qué es el hormigón de cemento Portland (PCC)?. Ejemplos de aplicaciones





2- Introducción y motivación

UC | Chile
Concrete Innovation Hub

✓ ¿Qué es el hormigón de cemento Portland (PCC)?. Ejemplos de aplicaciones





2- Introducción y motivación

UC | Chile
Concrete Innovation Hub

✓ ¿Qué es el hormigón de cemento Portland (PCC)?. Ejemplos de aplicaciones





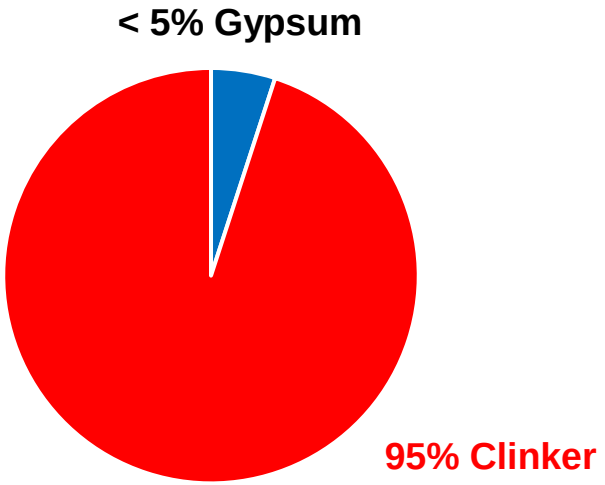
2- Introducción y motivación

UC | Chile
Concrete Innovation Hub

✓ ¿Qué es el **cemento**?



CEMENTO PORTLAND



Reemplazos de clinker permite reducir emisiones de CO_2

2- Introducción y motivación

✓ ¿Qué es el **clinker**?



≈ 1500 °C

Materias primas

≈ 1500 °C

Clinker



Carbonato de calcio ($CaCO_3$) (Fuente de CaO)
Silice
Alumina, y
Óxido de hierro

C_3S: Silicato tricálcico (**Alita**)

C_2S: Silicato dicálcico (**Belita**)

C_3A: Aluminato tricálcico (**Aluminato**)

REF: Kosmatka, S., Beatrix, K., Hooton, D., & McGrath, R. (2011). *Design and control of concrete mixtures*.

2- Introducción y motivación

✓ Emisiones de CO_2

Proceso de calcinación

$$CaCO_3 + Heat \rightarrow CO_2 + CaO$$



Source: Google Images



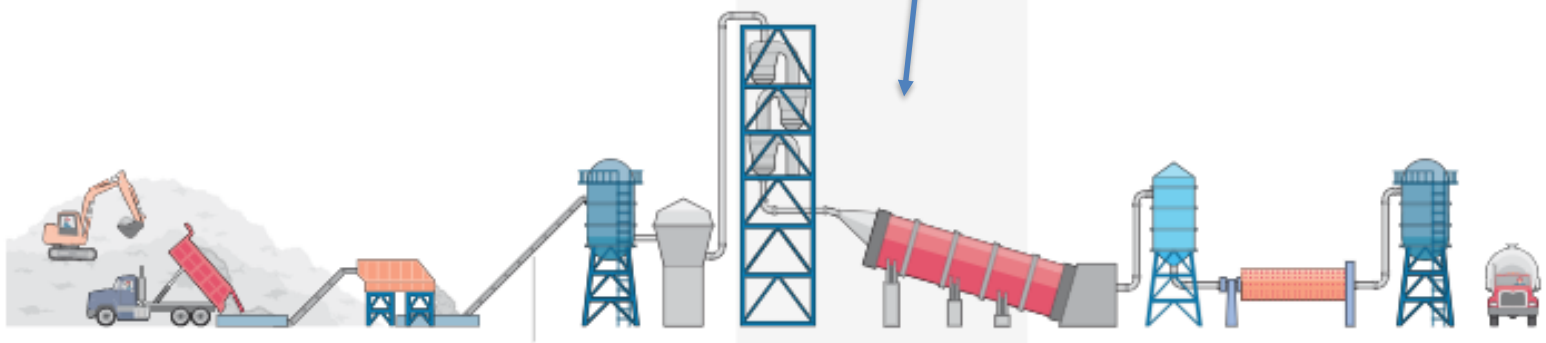
≈ 1500 °C



2- Introducción y motivación

Gases incluyendo CO_2

Cement manufacturing is a highly complex process.



	Quarry	Crusher	Transport[1]	Raw mill	Kiln and preheater/ precalcinator[2]		Cooler[3]	Cement mill	Logis-tics[4]	Total
	Raw materials, energy, and resources				Clinker and cement manufacturing					
Energy, mega-joule/ton	40	5	40	100	3,150		160	285	115	3,895
CO_2, kilogram/ton	3	1	7	17	479 Calcination process	319 Fossil fuels	28	49	22	925

≈ 35%

≈ 50% emisiones de CO_2 en la calcinación

*: Agregar hormigón

REF: https://www.mckinsey.com/industries/chemicals/our-insights/laying-the-foundation-for-zero-carbon-cement

2- Introducción y motivación

REFERENCIA

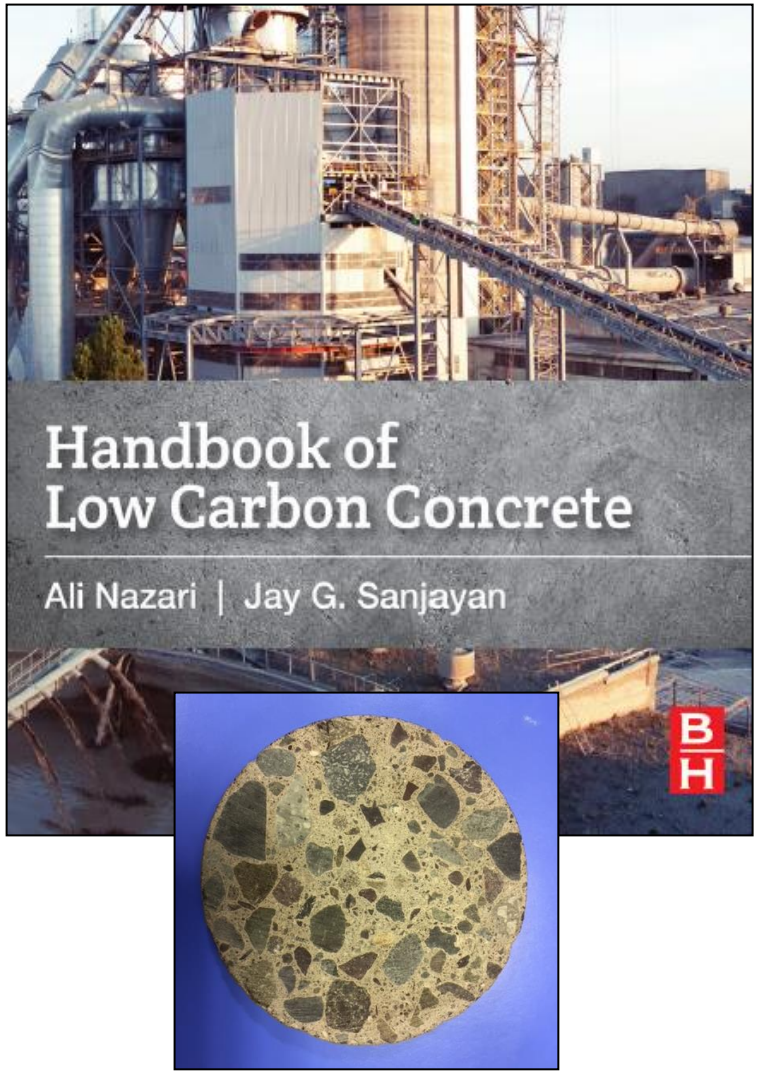


Table 1.4 CO_2 emissions generated by typical commercially produced concretes

Strength (MPa)	100% GP cement		25% Fly ash		40% GGBFS	
	25	32	25	32	25	32
Emissions (t CO_2-e/m^3)	0.290	0.322	0.253	0.273	0.225	0.251
% CO_2 reduction	0	0	13	15	22	22

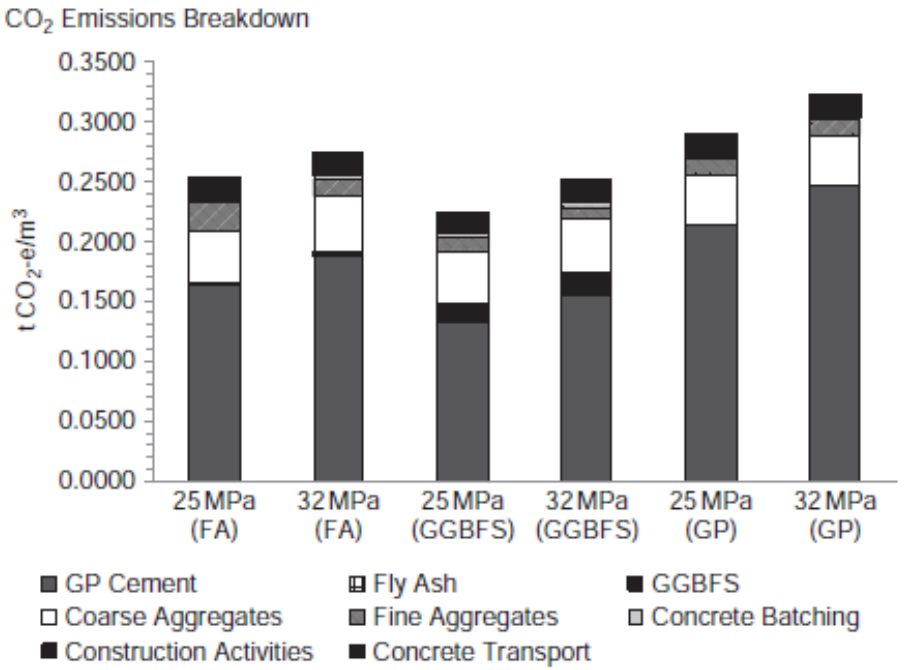
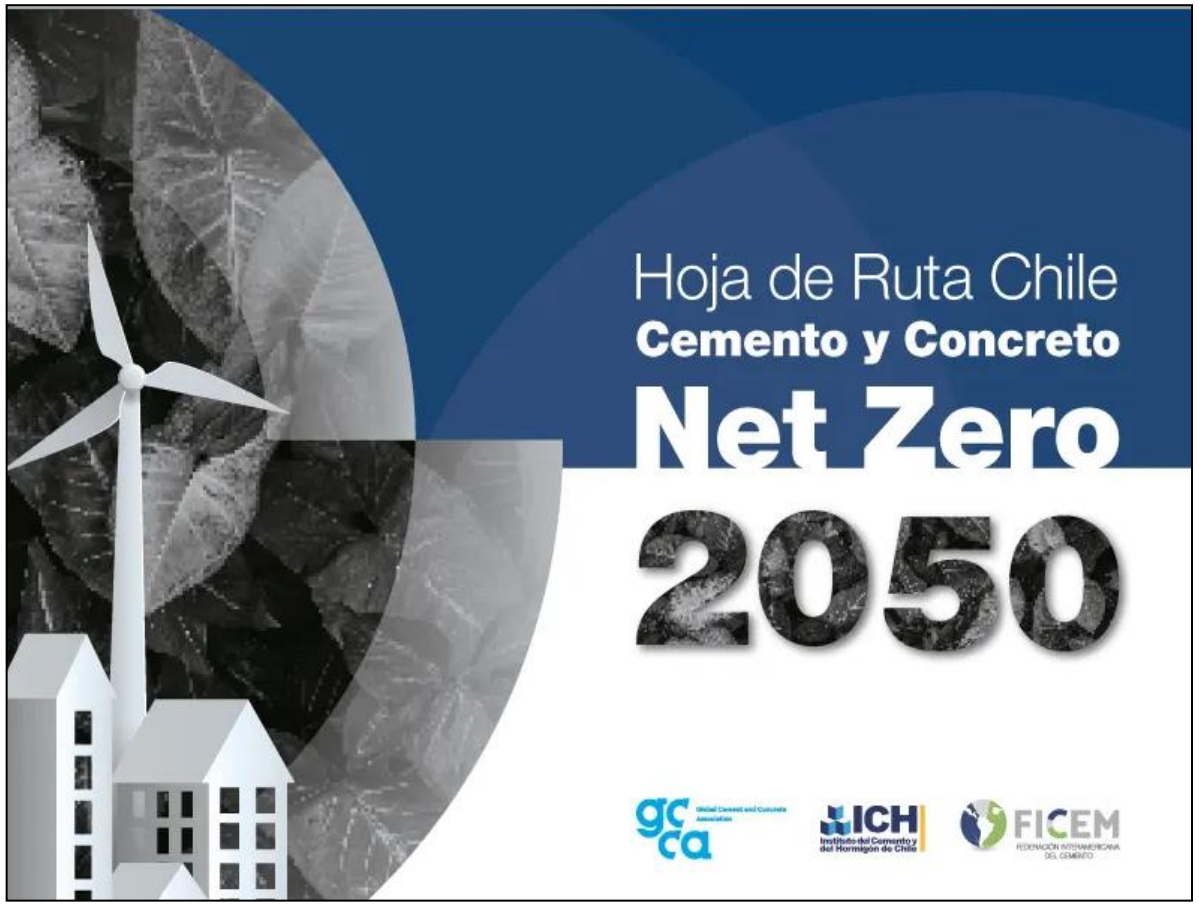


Figure 1.5 CO_2 emissions generated by typical commercially produced concretes.

3- Estrategias para reducir la huella de carbono del hormigón

UC | Chile
Concrete Innovation Hub

✓ **Relevancia en esta industria (Ejemplos de hojas de ruta)**





3- Estrategias para reducir la huella de carbono del hormigón

UC | Chile
Concrete Innovation Hub

✓ **Las 5 “C” (Enfoque Canadiense)**

- **Clinker**
- Cemento
- Concrete (Hormigón)
- Construcción
- Carbon Uptake (Absorción de Carbono)



Government of Canada | Gouvernement du Canada

Search Canada.ca

MENU

Canada.ca > Innovation, Science and Economic Development Canada

Joint statement: Canada's Cement Industry and the Government of Canada announce a partnership

From: Innovation, Science and Economic Development Canada

Canada's Cement Industry and the GC announce a partnership to establish Canada as a global leader in low-carbon cement and to achieve net-zero carbon concrete

3- Estrategias para reducir la huella de carbono del hormigón

UC | Chile
Concrete Innovation Hub

- ✓ **Las 5 “C” (Enfoque Canadiense)**
  - Clinker
    - ✓ Sustitución de Clinker (Factor Clinker)
    - ✓ Decarbonización de materias primas
    - ✓ Nuevas químicas para el Clinker
    - ✓ Reemplazo de combustibles fósiles
    - ✓ Otras tipos de cementos/hormigones
    - ✓ Captura de Carbono

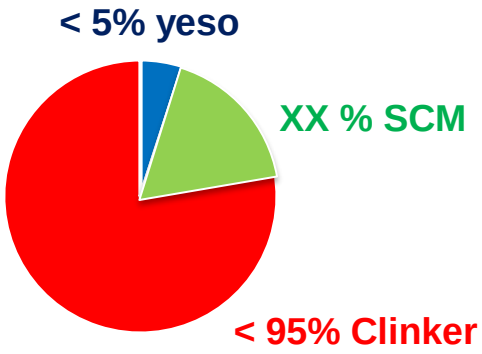
3- Estrategias para reducir la huella de carbono del hormigón

UC | Chile
Concrete Innovation Hub

✓ Las 5 “C” (Enfoque Canadiense)

- Clinker (Sustitución de Clinker (Factor Clinker) – Ejemplo

  Materiales cementicios suplementarios (SCM) (o adicionales minerales)



Compuestos que participan en la formación de compuestos hidratados que aportan resistencia

Cementicios latentes (auto-cementantes)
Reaccionan por sí solos con agua
Pero requieren activación (álcalis)

Puzolánicos
No reaccionan por sí solos con agua
Reaccionan con compuestos del cemento

Economía, beneficios técnicos y ambientales

Hidratación de los silicatos de Calcio:

C_3S + H = C-S-H + CH (Exceso de Calcio)

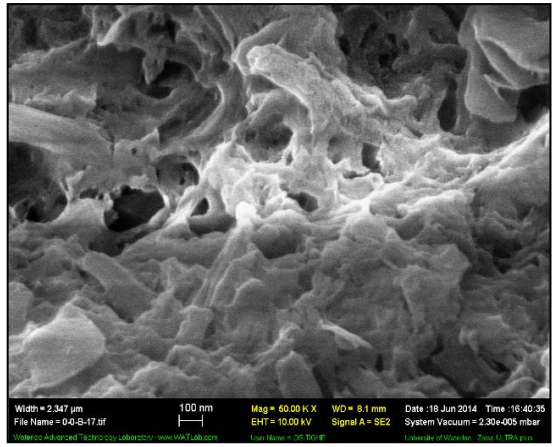
silicato tri-cálcico | agua | silicatos de calcio hidratados | hidróxido de calcio

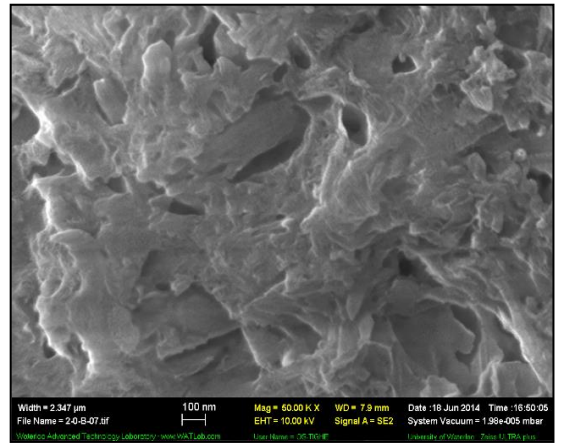
Los iones Si^{2-} y Al^{3-} aportados a la solución por los materiales cementicios suplementarios pueden reaccionar con los Ca^{2+} liberados por hidróxido de calcio:

CH + H + S = C-S-H (C-S-H adicional)

hidróxido de Calcio | agua | Puzolana (Sílice) | silicatos de calcio hidratados

Se densifica la pasta de cemento hidratado (más productos de hidratación)





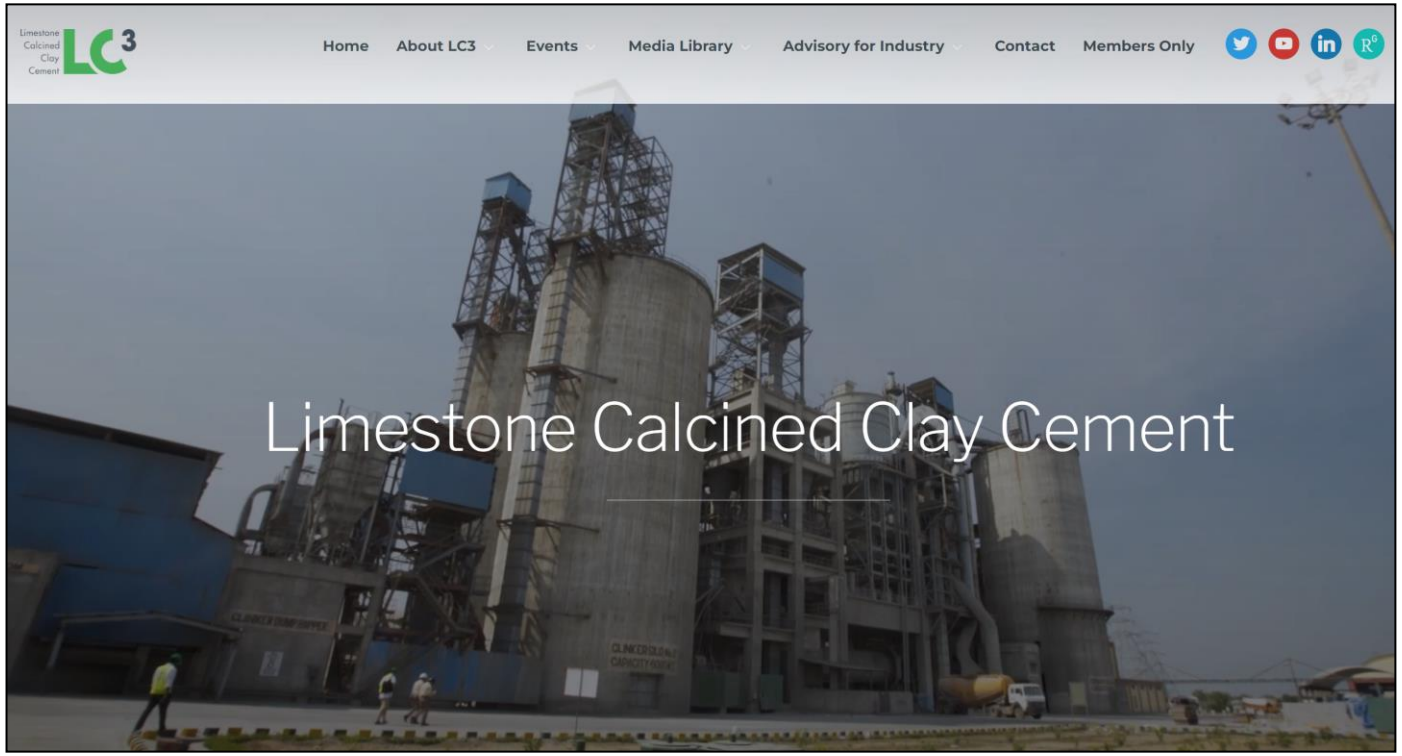
3- Estrategias para reducir la huella de carbono del hormigón

UC | Chile
Concrete Innovation Hub

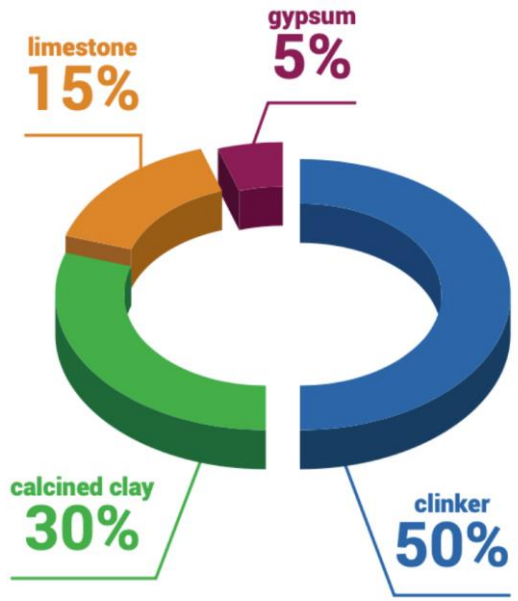
✓ Las 5 “C” (Enfoque Canadiense)

- Clinker (Sustitución de Clinker (Factor Clinker) – Ejemplo

LC3 es un nuevo tipo de cemento que combina piedra caliza molida y arcilla calcinada reduciendo el factor clinker.



LC3



https://lc3.ch/

3- Estrategias para reducir la huella de carbono del hormigón

UC | Chile
Concrete Innovation Hub

- ✓ **Las 5 “C” (Enfoque Canadiense)**
  - Clinker (Sustitución de Clinker (Factor Clinker) – Ejemplo en Chile



SOURCE: https://www.radiosago.cl/mop-aprobo-diseno-de-puente-chacao

La química puede contribuir en el desarrollo de nuevos SCM

Cortesía: Ministerio de Obras Públicas de Chile, Dirección de Vialidad



SOURCE: Ministry of Public Works Chile. Dirección de Vialidad

3- Estrategias para reducir la huella de carbono del hormigón

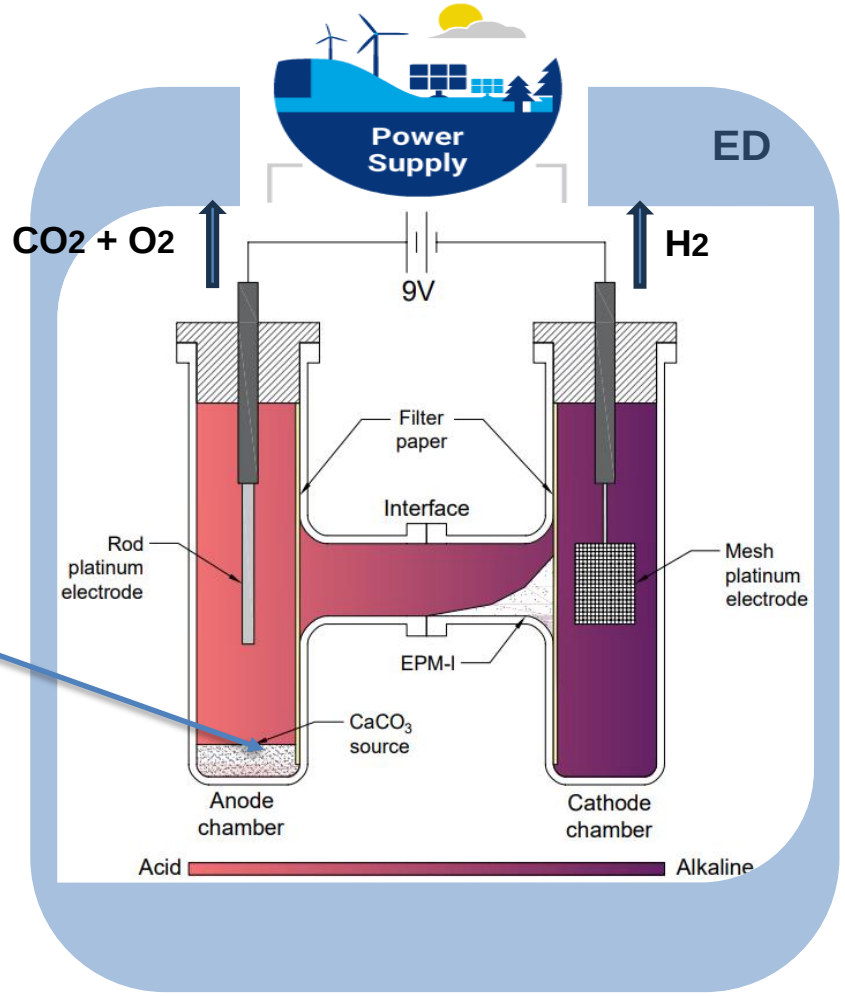
UC | Chile
Concrete Innovation Hub

✓ Las 5 “C” (Enfoque Canadiense)

- Clinker (Descarbonización de materias primas)

Decarbonización: Reducir o eliminar las emisiones de CO_2 desde un proceso

Piedra caliza

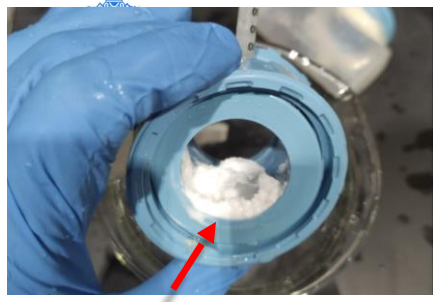


Ref: Own elaboration, except the video obtained from https://www.woodmac.com/

Estamos focalizados en el ≈ 50% Calcinación

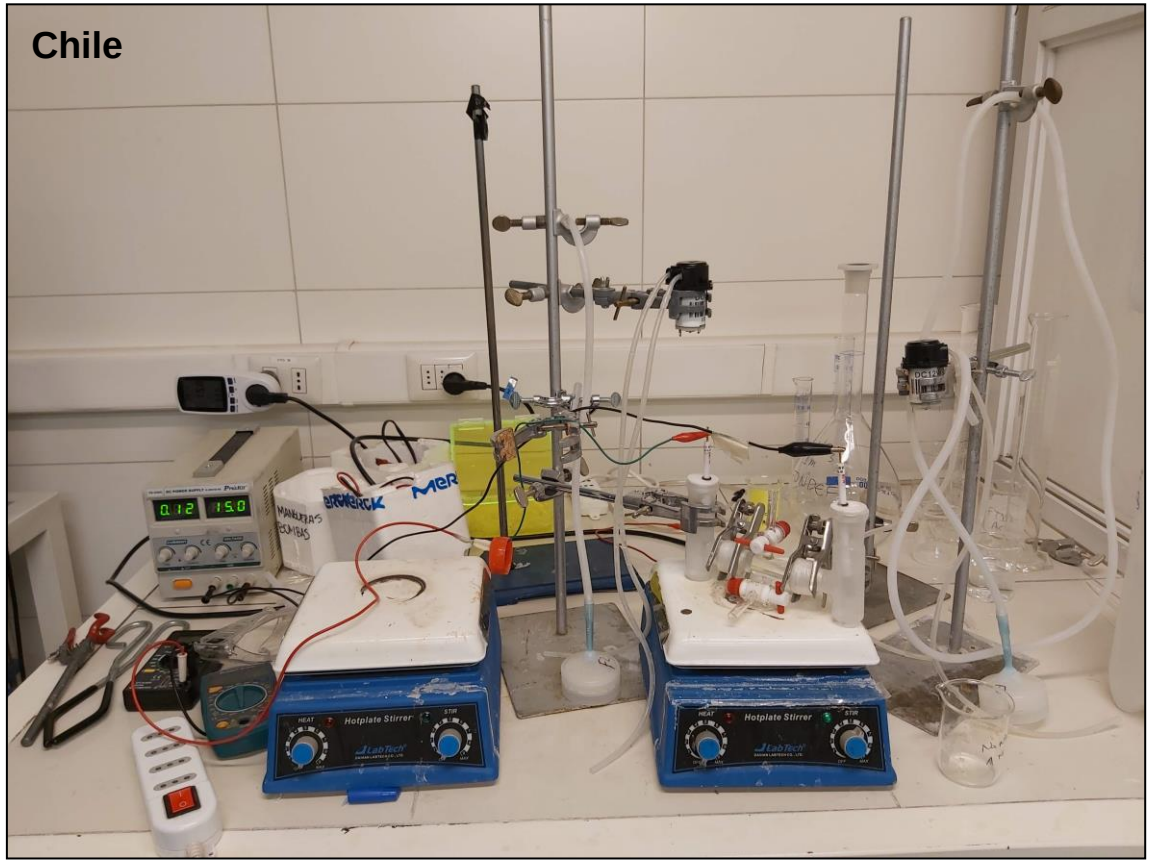
3- Estrategias para reducir la huella de carbono del hormigón

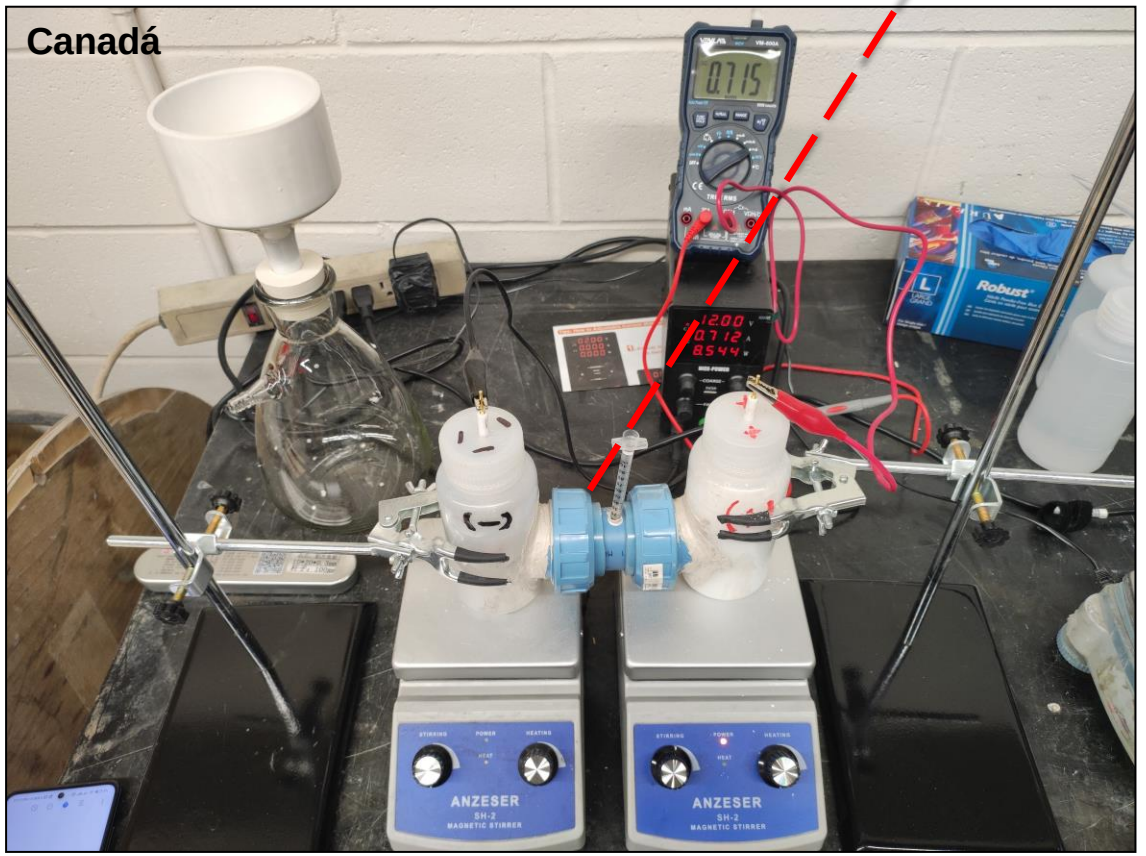
- ✓ **Las 5 “C” (Enfoque Canadiense)**
  - Clinker (Descarbonización de materias primas)



Hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$)

Precursor del Clinker





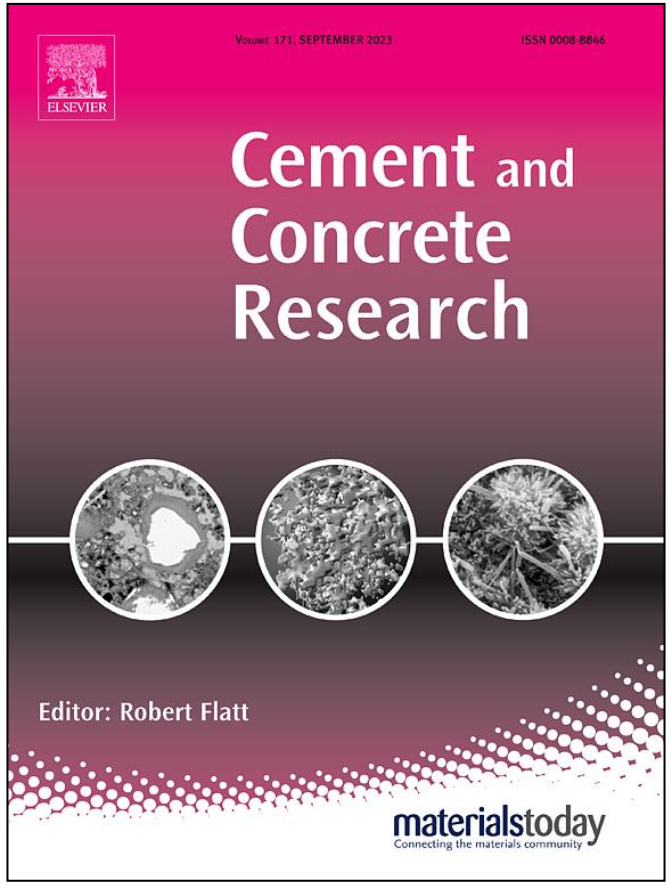
Limitación actual → ¿Escalabilidad, costo?

3- Estrategias para reducir la huella de carbono del hormigón

UC | Chile
Concrete Innovation Hub

✓ Las 5 “C” (Enfoque Canadiense)

- Clinker (Descarbonización de materias primas) – paper publicado



Cement and Concrete Research 174 (2023) 107307

Contents lists available at ScienceDirect

Cement and Concrete Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/cemconres



Comparison of the electrochemical decarbonation of different-grade limestones used in cement manufacturing

Dario Ramirez-Amaya [a,b], Paulina Dreyse [c], Natalia P. Martínez [c], Felipe Troncoso P. [c], Ivan Navarrete [a,b], Martin Noël [d], Roberto I. Canales [b,e], Marcelo González [a,b,*]

[a] Department of Construction Engineering and Management, School of Engineering, Pontificia Universidad Católica de Chile, Vicuña Mackenna 4860, Casilla 306, Correo 22, Santiago, Chile
[b] Concrete Innovation Hub UC (CIHUC), Pontificia Universidad Católica de Chile, Av. Vicuña Mackenna 4860, Santiago 7820436, Chile
[c] Departamento de Química, Universidad Técnica Federico Santa María, Av. Vicuña Mackenna 3939, San Joaquín, Chile
[d] Department of Civil Engineering, University of Ottawa, Ottawa, Canada
[e] Departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile, Avenida Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago 7820436, Chile

La química puede contribuir en la escalabilidad de ésta tecnología

3- Estrategias para reducir la huella de carbono del hormigón

UC | Chile
Concrete Innovation Hub

✓ Las 5 “C” (Enfoque Canadiense)

- Clinker (Nuevas químicas para el Clinker)



REF: https://www.brimstone.com/

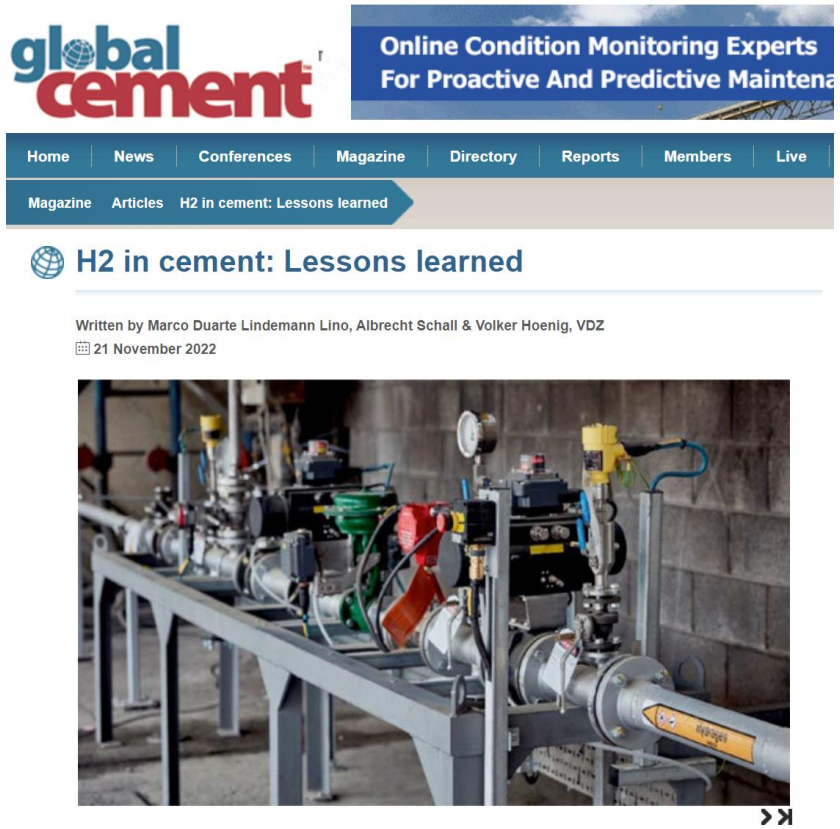
SE REEMPLAZA LA PIEDRA CALIZA POR OTRO TIPO DE ROCA

3- Estrategias para reducir la huella de carbono del hormigón

UC | Chile
Concrete Innovation Hub

✓ Las 5 “C” (Enfoque Canadiense)

- Reemplazo de combustibles fósiles



https://www.globalcement.com/



https://www.globalcement.com/

Conclusions

Hydrogen is very expensive and, above all, most of it is not CO_2-free at present. The Fuel Switching Project shows that its use is technically possible at very high volumes. The project achieved a 'net-zero' fuel mix in the main burner, with no major changes to flame characteristics, energy demand or product quality. The use of hydrogen as a fuel at scale may be a while away, but the Fuel Switching Project offers an exciting indication into the future.

Reference

3- Estrategias para reducir la huella de carbono del hormigón

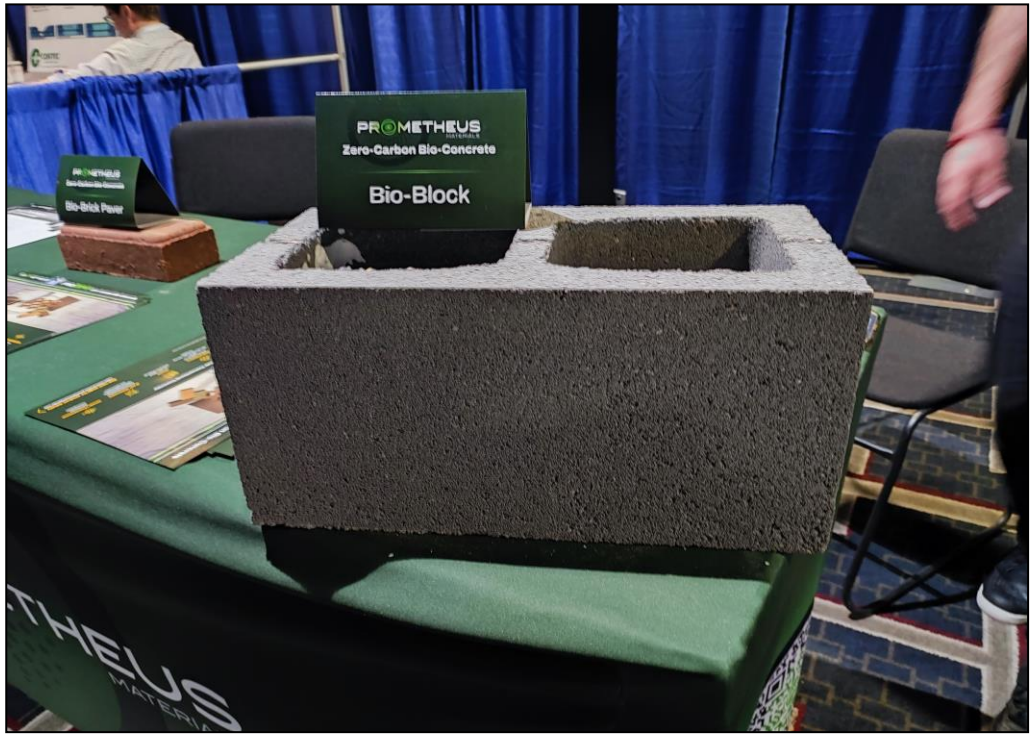
UC | Chile
Concrete Innovation Hub

- ✓ **Las 5 “C” (Enfoque Canadiense)**
  - Otros tipos de cementos/hormigones

PROMETHEUS MATERIALS

Prometheus Materials Zero-Carbon Bio-Cement & Bio-Concrete





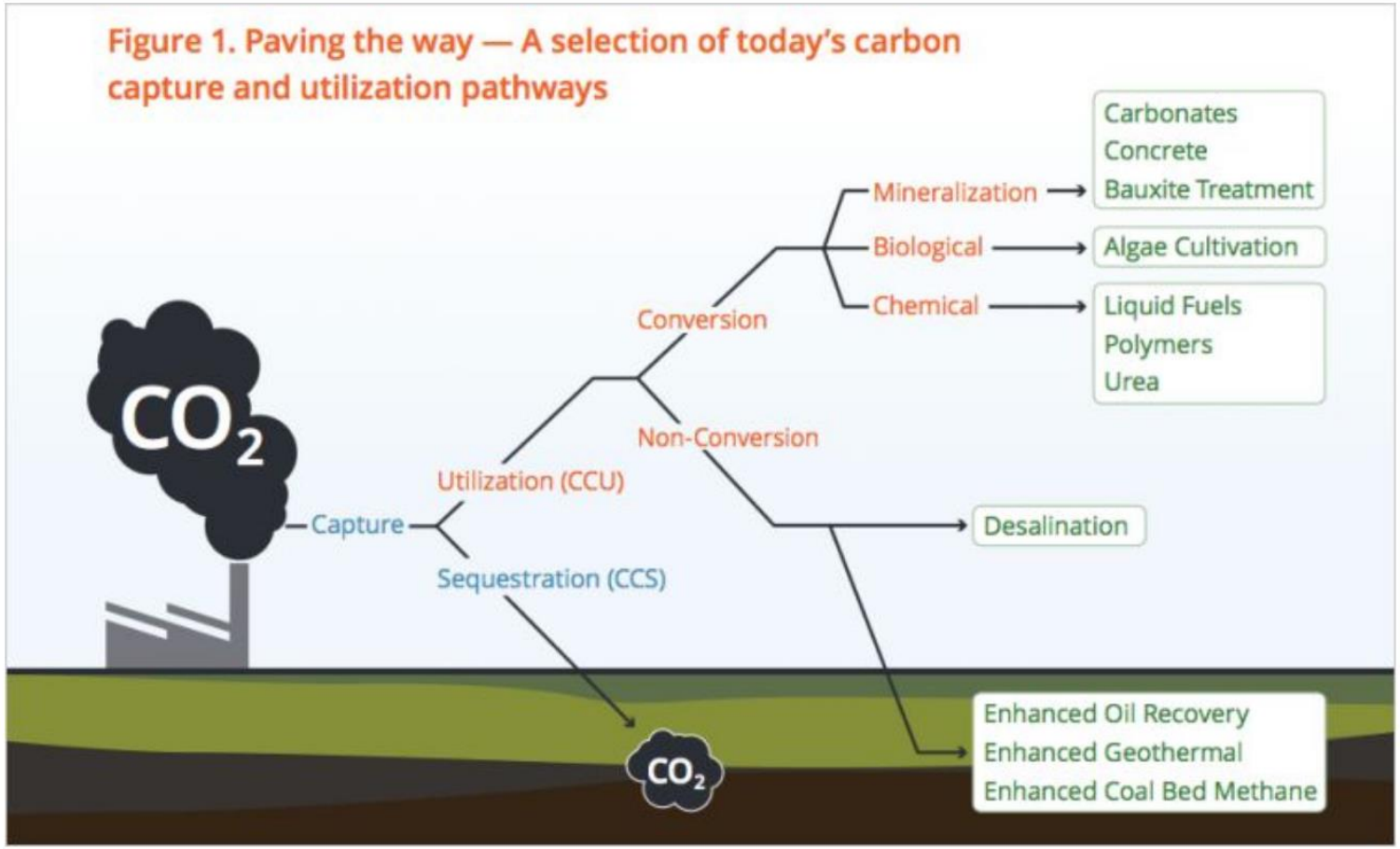
REF: https://prometheusmaterials.com/home/

3- Estrategias para reducir la huella de carbono del hormigón

UC | Chile
Concrete Innovation Hub

✓ Las 5 “C” (Enfoque Canadiense)

- Clinker (Captura de carbono)



REF: https://www.pembina.org/blog/technologies-behind-carbon-utilization

La química puede contribuir en:

- **Capturar CO_2 puro**
- **Procesos de separación**
- **Comprender afinidad química e Interacción del CO_2**
- **Desarrollo de nuevos procesos de utilización de CO_2**
- **Etc.**
- **Etc.**

3- Estrategias para reducir la huella de carbono del hormigón

UC | Chile
Concrete Innovation Hub

✓ Las 5 “C” (Enfoque Canadiense)

- Clinker (Captura de carbono) - Ejemplo

✓ **Inicio de construcción (2024)**

✓ **Inicio de operación (2026)**

Carbon Capture

CO_2 capture is still expensive today, but technology is improving and the significant number of demonstration facilities, currently being deployed in cement production, demonstrates the potential for significant cost reduction in the years ahead.

REF: https://gccassociation.org/

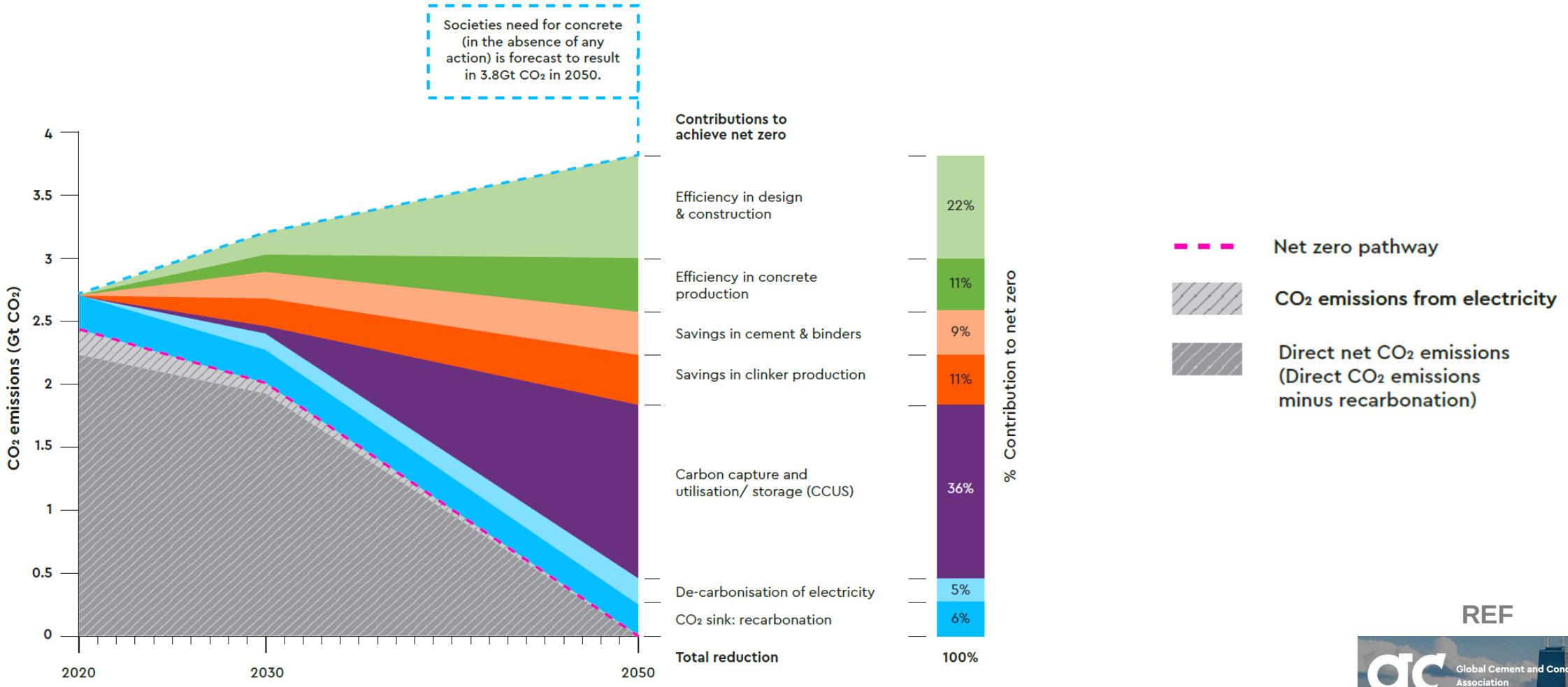


Limitaciones: La “misma” tecnología no es aplicable necesariamente a otras latitudes. Costo. Se requiere desarrollar tecnologías localmente.

3- Estrategias para reducir la huella de carbono del hormigón - Resumen

UC | Chile
Concrete Innovation Hub

3- Estrategias para reducir la huella de carbono del hormigón - Resumen



REF

centrohormigon.uc.cl/

4- Reflexiones finales y conclusiones

UC | Chile
Concrete Innovation Hub

- La industria de la construcción con hormigón es difícil de descarbonizar.

- En la actualidad no existe una solución única capaz de alcanzar la carbono neutralidad del hormigón. Aunque el desarrollo de tecnologías es bien promisorio, algunas de ellas (Ej. Captura de carbono) no están listas para ser implementadas masivamente a escala industrial debido a barreras tecnológicas o económicas.

- En el presente (hoy) no podemos fabricar a escala industrial un hormigón carbono neutral. Aunque en el futuro si será posible, alcanzar la meta dependerá de varios factores o condiciones de borde. Aún hay interrogantes que no tienen respuestas precisas.

- La investigación, innovación y desarrollo serán claves para alcanzar el desafío. **Ustedes pueden hacer una gran contribución.**

¡Muchas gracias!

Marcelo González (PhD)

magonza7@uc.cl