



UC | Chile

Concrete Innovation Hub



UC | Chile
Concrete Innovation Hub

Tendencias y necesidades para la construcción de baja huella de CO₂ en América Latina

Marcelo González (PhD)

14 de mayo de 2026





UC | Chile
Concrete Innovation Hub

01 | > Introducción y motivación

Marcelo González

DIGC UC
> Departamento de
Ingeniería y Gestión
de la Construcción



Ingeniero Civil, **MSc** & **PhD**

Profesor asociado Escuela de Ingeniería UC

Director del Departamento de Ing. y Gestión de la Construcción UC

Fundador del Centro de Innovación del Hormigón UC (CIH UC)

Líneas de investigación

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



AGENDA

01

Introducción y motivación

02

Antecedentes generales

03

**Necesidades para la construcción
de baja huella de CO₂**

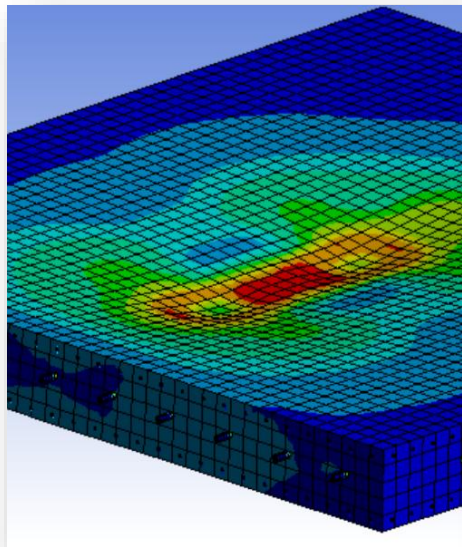
04

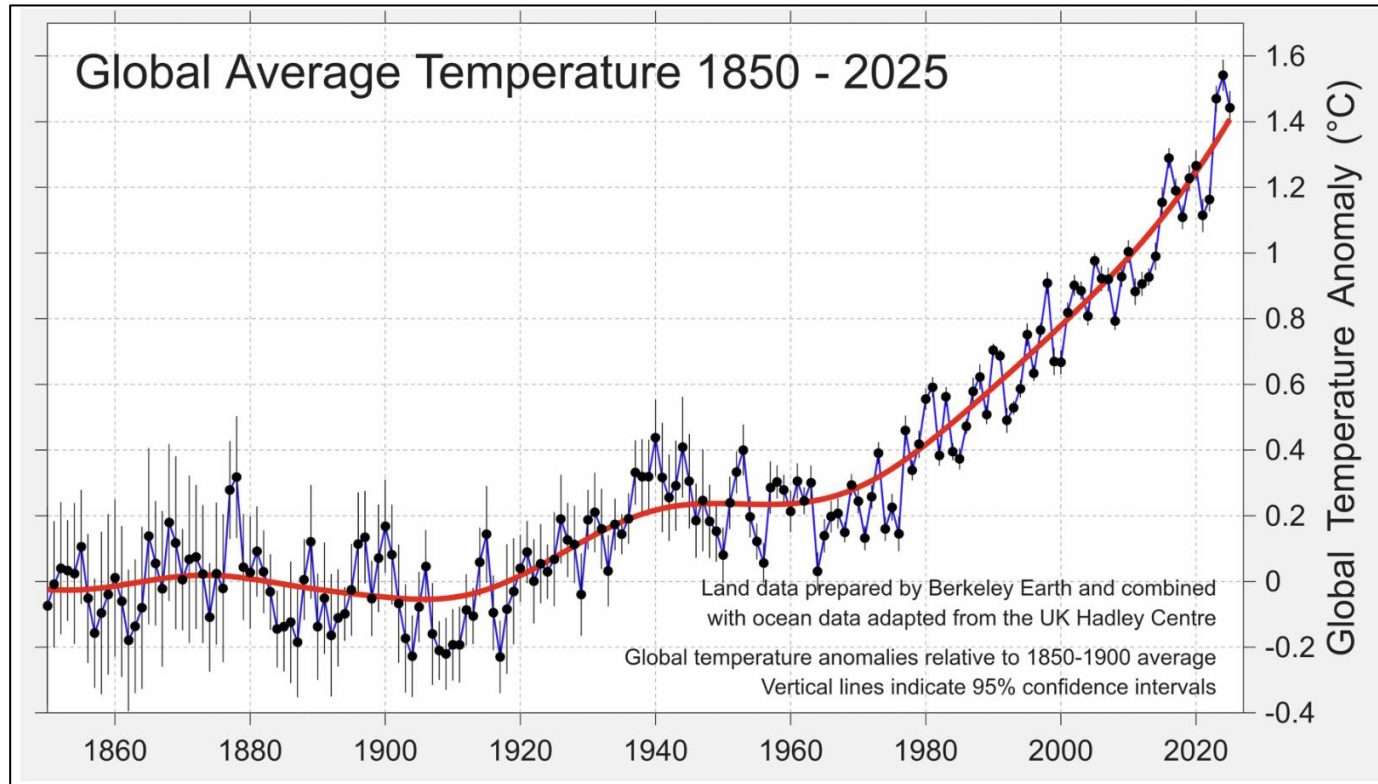
Conclusiones y reflexiones finales

01 | Introducción y motivación

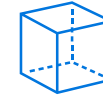
HORMIGÓN = CONCRETO

El **Centro de Innovación del Hormigón UC** (CIH UC) es un centro interdisciplinario compuesto por **academia e industria** (sector **público y privado**), que investiga, desarrolla e innova en torno al hormigón como material de construcción, generando nuevas tecnologías y transferencia de soluciones a los grandes desafíos, brechas y necesidades que actualmente enfrenta la industria.





REF: <https://berkeleyearth.org/global-temperature-report-for-2025/>



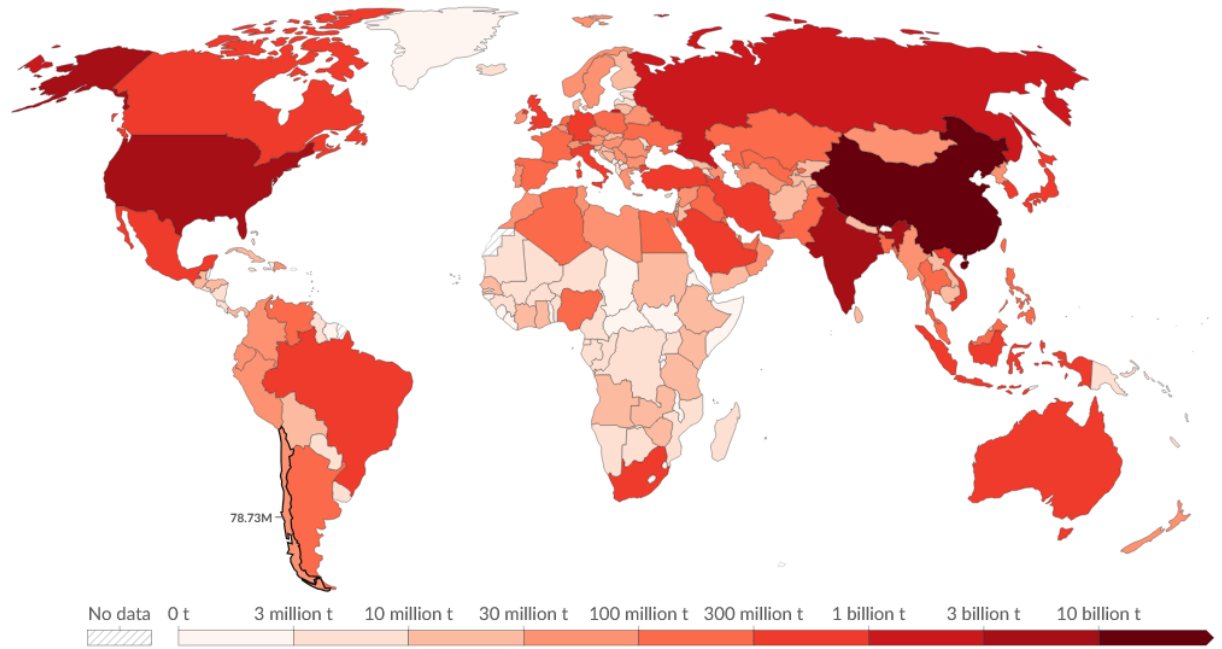
El **cambio climático** es uno de los principales desafíos de la actualidad.



El dióxido de carbono (CO_2) es el gas de efecto invernadero mas abundante (GHGs).



La concentración de GHGs en la atmósfera está directamente relacionado con el incremento de la temperatura global.



Annual CO₂ emissions, 2024

Carbon dioxide (CO₂) emissions from fossil fuels and industry.

☒ Chile ↗	78.73M
☐ Asia	23.39B
☐ North America	6.08B
☐ Europe	4.88B
☐ Africa	1.5B
☐ South America ↗	1.11B
☐ Oceania	436.9M

REF: <https://ourworldindata.org>



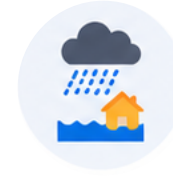
Chile contribuye relativamente poco a las emisiones globales de gases de efecto invernadero, sin embargo es **altamente vulnerable** frente al cambio climático (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, <https://www.cr2.cl/>).



Según las Naciones Unidas, los efectos del cambio climático son :



Aumento de las sequías



Tormentas más intensas



Más riesgos para la salud



Escasez de alimentos

02 | Antecedentes generales



El hormigón es el material de construcción más utilizados **a nivel mundial y a la fecha no tiene un sustituto.**



Las estadísticas indican que el consumo de hormigón seguirá aumentando en el futuro.



14.0 billion m³

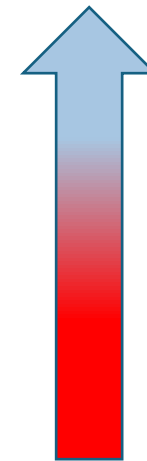
2020 volume of concrete globally

4.2 billion tonnes

2020 cement production globally

48%

6.2 bt



2050

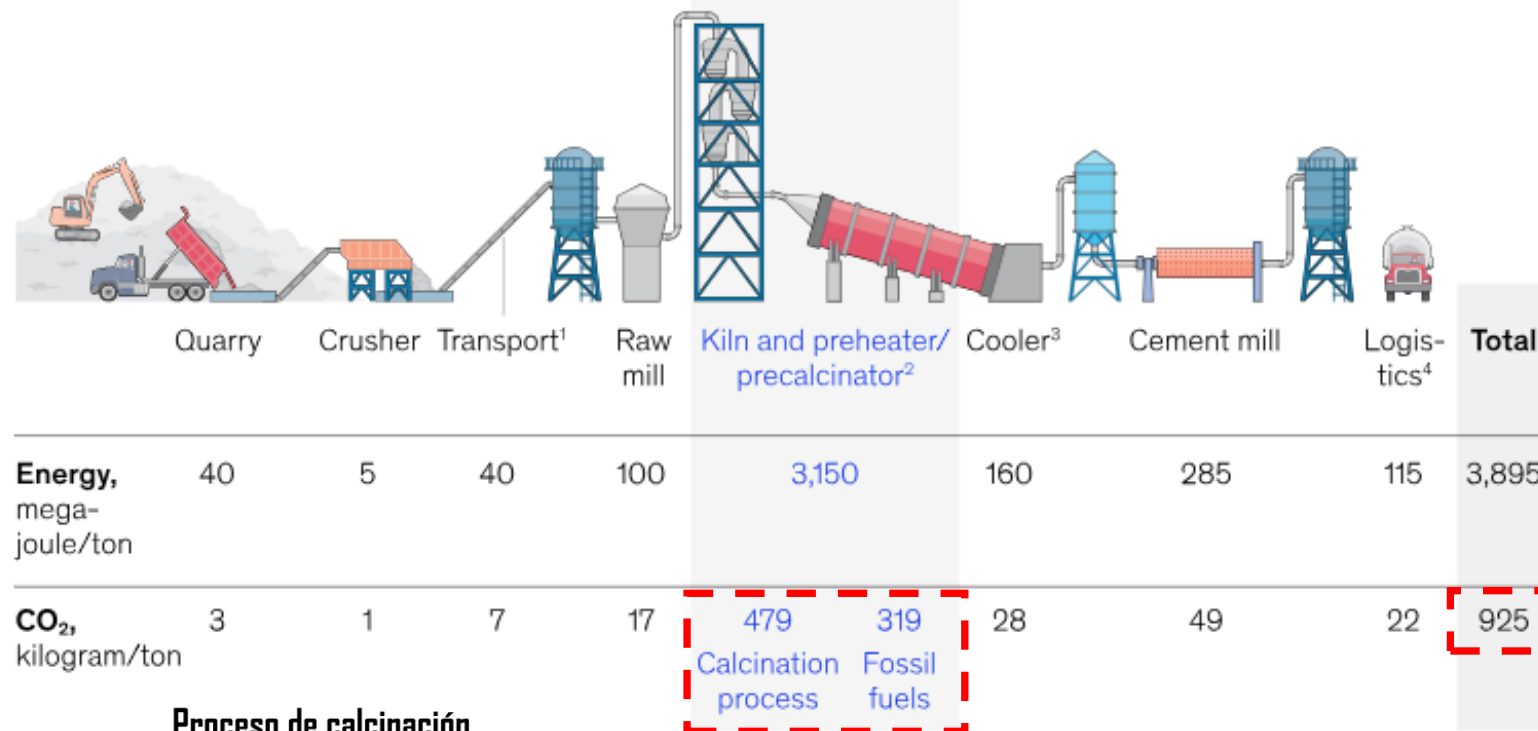


Tremendo desafío

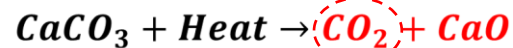
Cement manufacturing is a highly complex process

Raw materials, energy,
and resources

Clinker and cement manufacturing



Proceso de calcinación

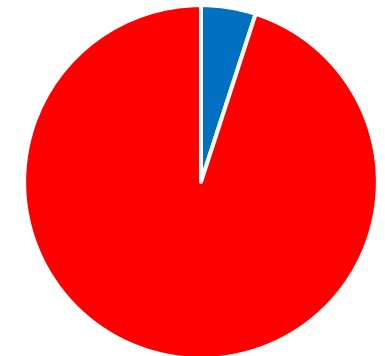


≈ 50% emisiones de CO₂ desde la calcinación

≈ 35% emisiones de CO₂ desde combustibles fósiles



< 5% Gypsum



95% Clinker

Table 1.4 CO₂ 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

CO₂ Emissions Breakdown

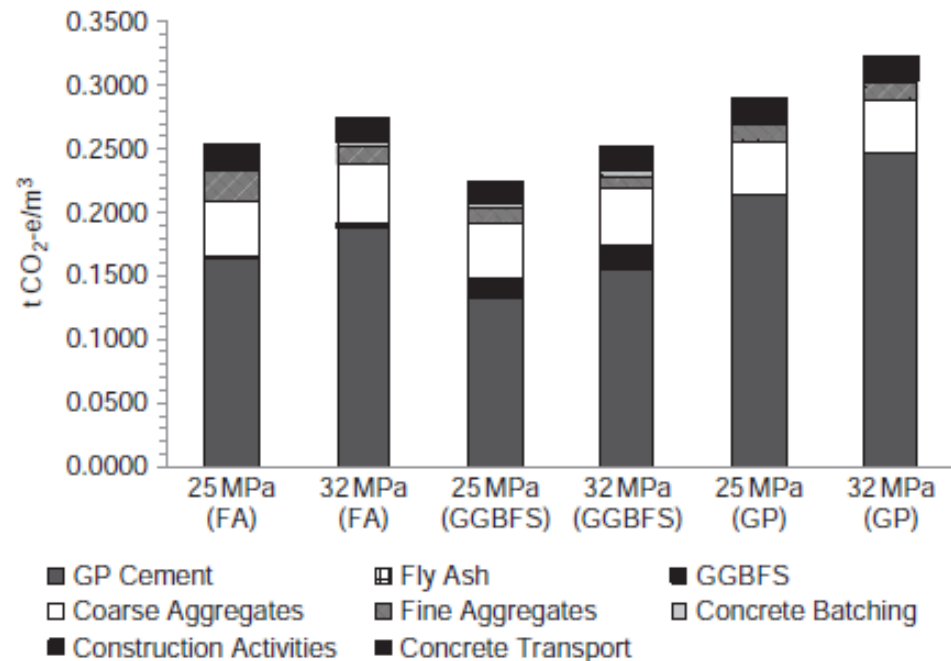


Figure 1.5 CO₂ emissions generated by typical commercially produced concretes.

Los agregados (áridos) representan entre un 60% a 75% del volumen total del hormigón

02 | > Antecedentes generales



REFERENCIA



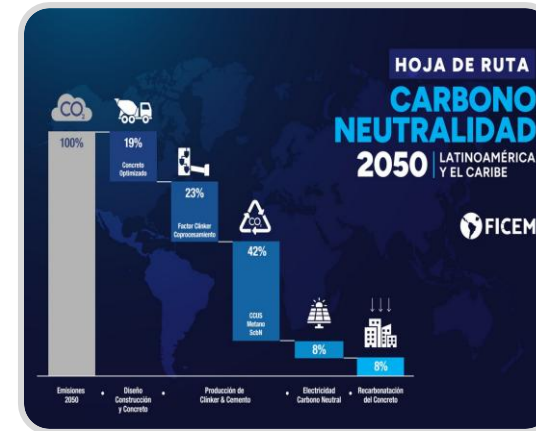
Existen múltiples hojas de ruta a nivel mundial, que proponen estrategias con similitudes:



Global



Canadá



Latinoamérica y el Caribe



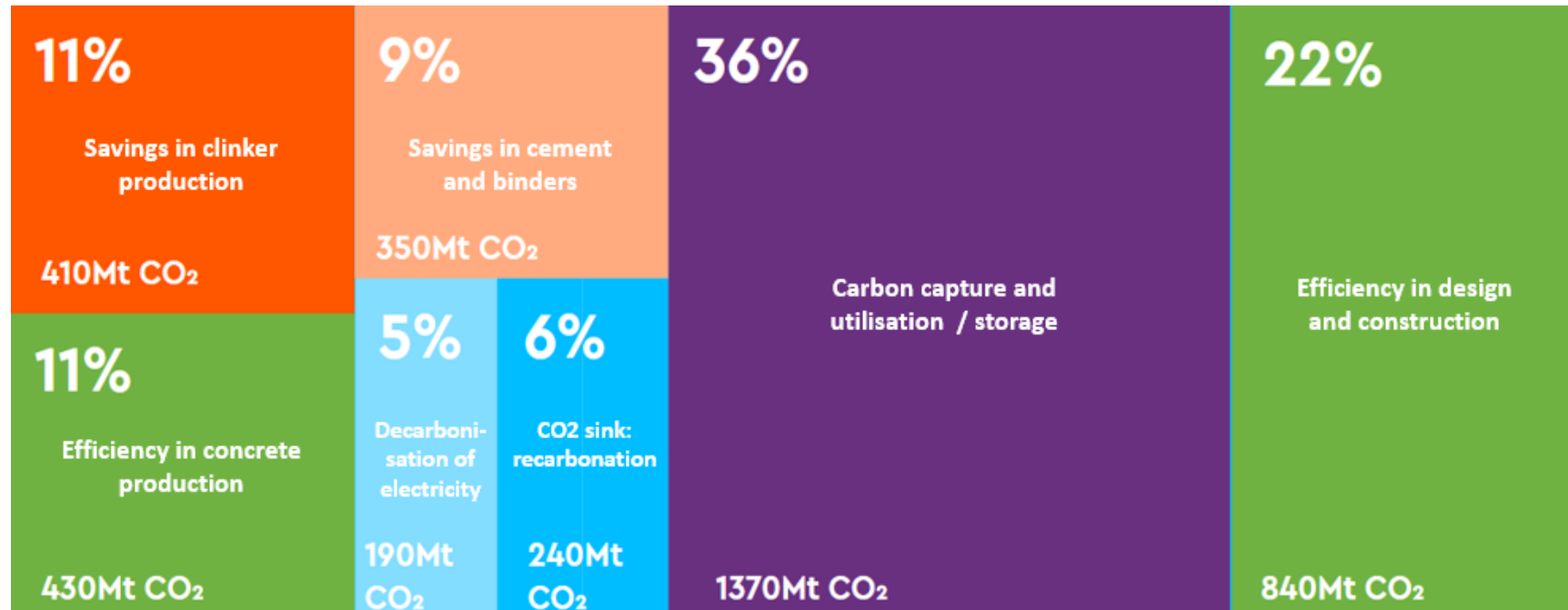
Chile



Carbono Neutralidad 2050



En esta línea, existen diversas alternativas, cuyo potencial ha sido cuantificado por la GCCA:



REF: <https://gccassociation.org/>

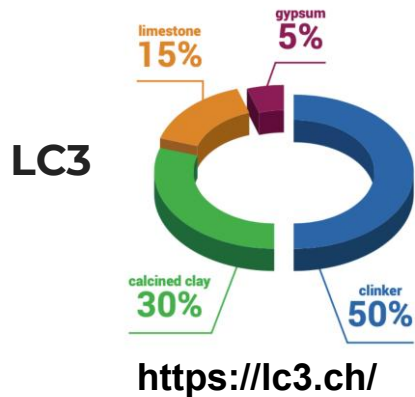
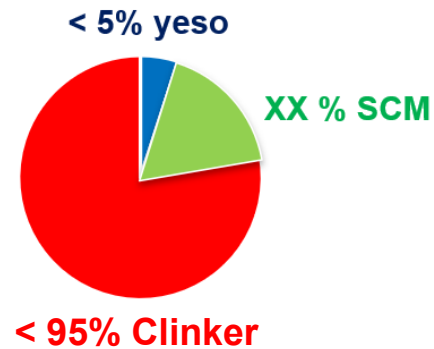
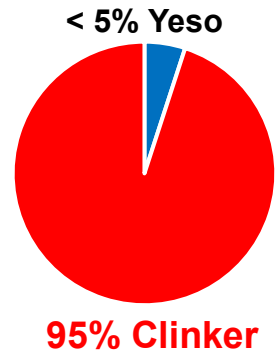
03 |

**Necesidades para la
construcción de baja
huella de CO₂**



Reducir factor Clinker a través de SCMs y desarrollar nuevos SCMs

SCMs = Supplementary cementitious materials



La producción de Clinker es responsable de la mayor parte de las emisiones de CO₂ del cemento.

Cada país enfrenta desafíos locales

Algunas soluciones para la reducción del factor Clinker:



Puzolanas

Material de origen volcánico que reacciona con la cal del clinker, permitiendo reemplazar parte de este y mejorar el desempeño del cemento



Escorias

Subproducto de la industria siderúrgica / minera con propiedades cementantes, que permite sustituir clinker y reducir emisiones.



Arcillas calcinadas (LC3)

Cemento sostenible de bajo carbono que combina clinker, arcilla calcinada y piedra caliza.



Cementos Compuestos

Cementos en los que una proporción del clinker se sustituye por subproductos industriales, como escoria de alto horno, cenizas volantes, material volcánico o piedra caliza.



Nuevas "químicas" para el Clinker

Es posible usar rocas distintas a la piedra caliza, libres de CO₂, por lo cual cambia su mineralogía y propiedades químicas



Reducir factor Clinker a través de SCMs y desarrollar nuevos SCMs

Escasez de SCMs

Los SCMs convencionales, como las cenizas volantes (fly ash) y la escoria de alto horno, son subproductos de la industria del carbón y el acero. A medida que estas industrias se vuelven más limpias u otros factores, la disponibilidad de estos residuos disminuye.

Hay necesidad mundial de desarrollar [encontrar] nuevos tipos de SCMs

EJEMPLO - PUENTE CHACAO - MOP - CHILE



**USO DE CEMENTO PORTLAND
SIDERÚRGICO CON ESCORIA DE
HUACHIPATO**

**≈ 350 Kg of CO₂ / Ton de cemento
(Estimación personal)**

La Compañía Siderúrgica
Huachipato
cerró en Chile el año 2024



Necesitamos potenciar la economía circular

La industria del cemento y hormigón consume millones de toneladas de materias primas al año. Adoptar la economía circular es clave reducir la huella de carbono.

Al mismo tiempo tenemos oferta de otros materiales (residuos mineros).

MODELO LINEAL TRADICIONAL

Extraer – Producir – Usar - Desechar



EXTRACCIÓN



PRODUCCIÓN



CONSTRUCCIÓN



RESIDUO /
VERTEDERO



MODELO CIRCULAR

Reducir – Reutilizar - Reciclar – Recuperar



Necesitamos potenciar la economía circular – Ejemplo

Journal of Cleaner Production 159 (2017) 1–10

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Cleaner Production

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

ELSEVIER

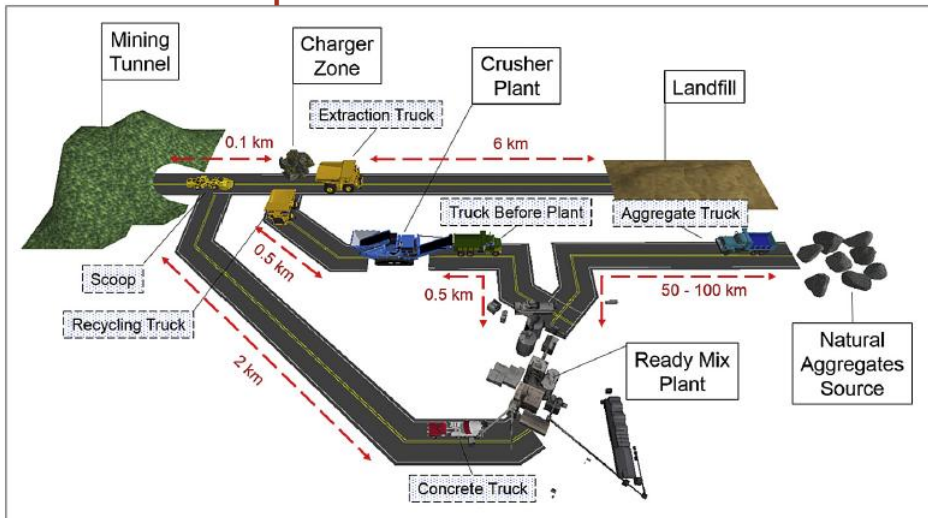
CrossMark

Sustainable decision-making through stochastic simulation: Transporting vs. recycling aggregates for Portland cement concrete in underground mining projects

Marcelo Gonzalez ^{a,*}, Ivan Navarrete ^a, Paz Arroyo ^a, Gabriel Azúa ^a, Jose Mena ^a, Martin Contreras ^b

Marinas (Roca Excavada)

Representación de la simulación



En Chile se produce anualmente miles de M ton de marinas, 900 M ton de relaves (Ojeda, 2023) y 5 M ton de escorias de cobre (Sernageomin, 2025)

Necesitamos potenciar la economía circular – Ejemplo

Journal of Cleaner Production 159 (2017) 1–10

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Cleaner Production

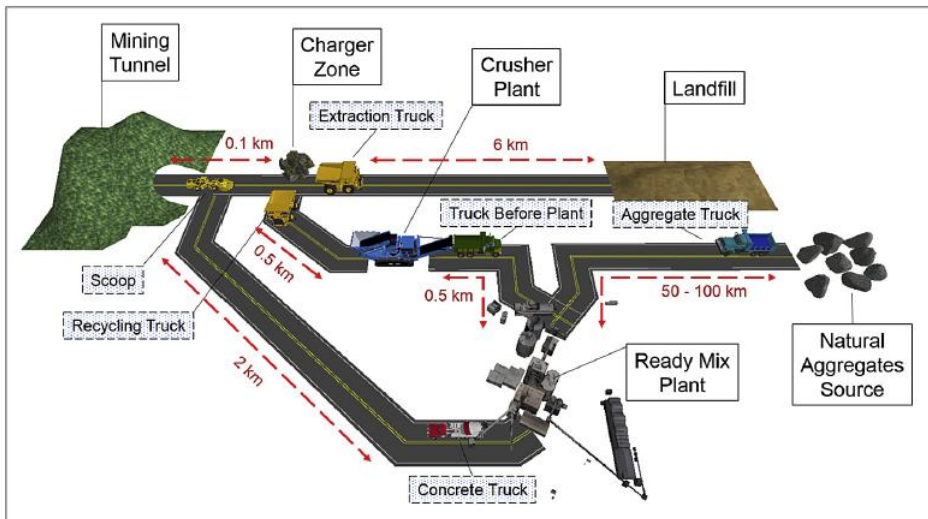
journal homepage: www.elsevier.com/locate/jclepro

ELSEVIER

CrossMark

Sustainable decision-making through stochastic simulation:
Transporting vs. recycling aggregates for Portland cement concrete in underground mining projects

Marcelo Gonzalez ^{a,*}, Ivan Navarrete ^a, Paz Arroyo ^a, Gabriel Azúa ^a, Jose Mena ^a,
Martin Contreras ^b



HUELLA DE CARBONO

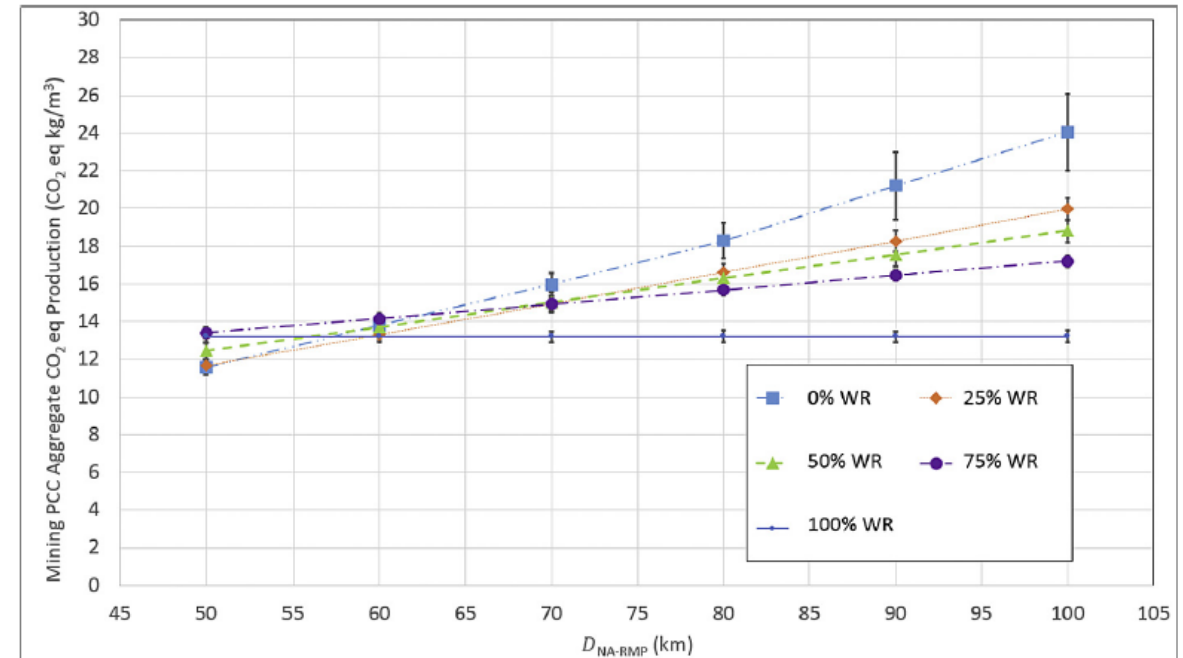
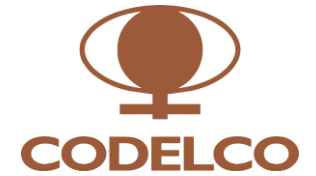


Fig. 6. Impact of recycled WR replacement and D_{NA-RMP} on total PCC aggregate CO₂ emissions.

Necesitamos potenciar la economía circular – Ejemplo

Journal of Cleaner Production 159 (2017) 1–10

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Cleaner Production

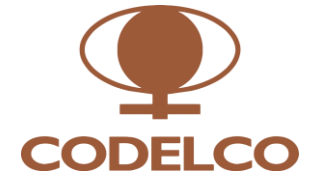
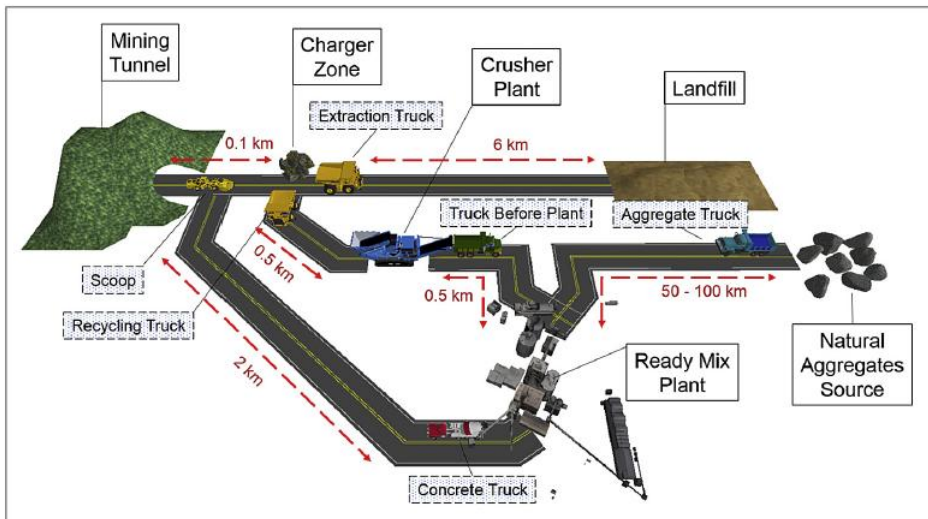
journal homepage: www.elsevier.com/locate/jclepro

ELSEVIER

CrossMark

Sustainable decision-making through stochastic simulation:
Transporting vs. recycling aggregates for Portland cement concrete in underground mining projects

Marcelo Gonzalez ^{a,*}, Ivan Navarrete ^a, Paz Arroyo ^a, Gabriel Azúa ^a, Jose Mena ^a,
Martin Contreras ^b



COSTO POR m³ DE AGREGADO

M. Gonzalez et al. / Journal of Cleaner Production 159 (2017) 1–10

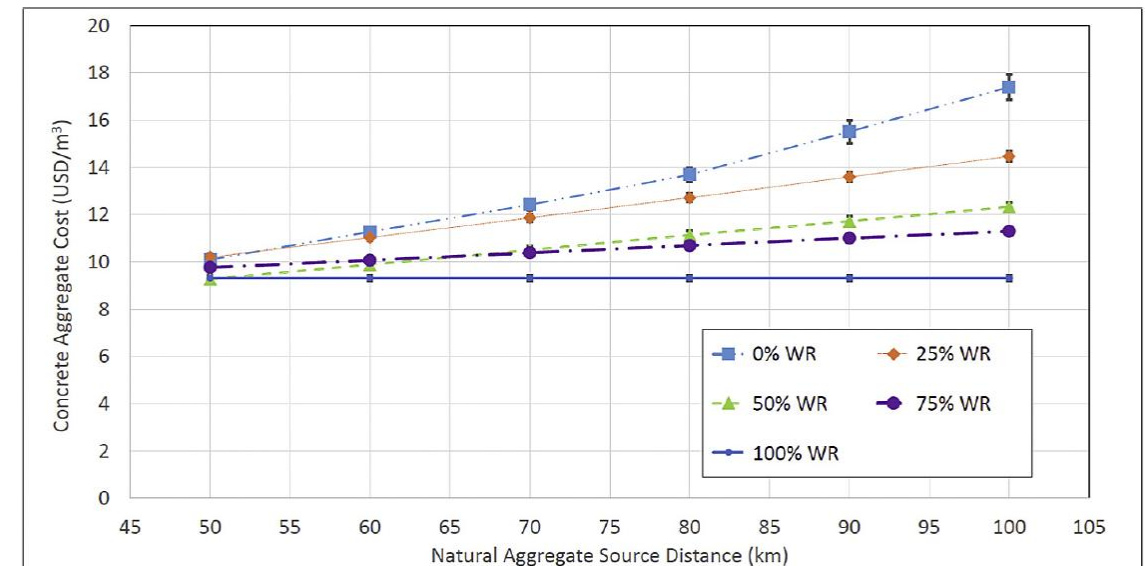


Fig. 7. Effect of recycled WR replacement and D_{NA-RMP} on total PCC aggregate cost.



Necesitamos potenciar la economía circular – Ejemplo



Corporación Nacional del Cobre de Chile
Vicepresidencia de Proyectos
Proyecto Mina Chuquicamata Subterránea
Av. El Bosque 500, Piso 5, Las Condes
Santiago, Chile
www.codelco.com

Calama, 5 de mayo de 2022

Señor
MARCELO GONZALEZ
Profesor Adjunto Esc. De Ingeniería
Pontificia Universidad Católica de Chile.
PRESENTE

Asunto: Panel Académico uso de Marina en la producción de Hormigón y Shotcrete

Estimados académico(a):

CODELCO ha abordado 5 compromisos de Sustentabilidad con acciones estratégicas conducentes a una **Minería Sustentable para el 2030**. Dentro de estos compromisos se encuentra el desarrollo de **Economía Circular** que buscar “Reciclar el 65% de nuestros residuos industriales sólidos no peligrosos”.

En este contexto, el Proyecto Mina Chuquicamata Subterráneo de la Vicepresidencia de Proyectos, ha realizado una serie de estudios al material pétreo resultante de la excavación de los túneles, más conocido como “marinas”. Dichos estudios, realizados recientemente durante el actual desarrollo del contrato de suministro de hormigón, han permitido contar con análisis químicos y físicos conforme a la NCH 163 y, la realización de ensayos en laboratorio e industriales de Hormigón y aplicación en Shotcrete, los cuales muestran resultados confiables de un reemplazo de marina por árido natural.

Adicionalmente, contarles que esta iniciativa también incluye el montaje y operación de la primera planta de áridos provenientes de “marinas” para su uso en Hormigón y Shotcrete, que será utilizado para la construcción y preparación minera de Chuquicamata subterráneo.

Es por ello que se extiende a usted la oportunidad de asistir a un Panel Académico y Técnico para conocer en profundidad esta iniciativa el día miércoles 8 de junio de 2022 a las 14hrs en las instalaciones del Proyecto en Chuquicamata, ciudad de Calama.



Necesitamos potenciar la economía circular

El ejemplo anterior toma más relevancia cuando un estudio calcula que entre un **60% a 70% de los áridos** son producidos en Chile de manera irregular (áridos de construcción).

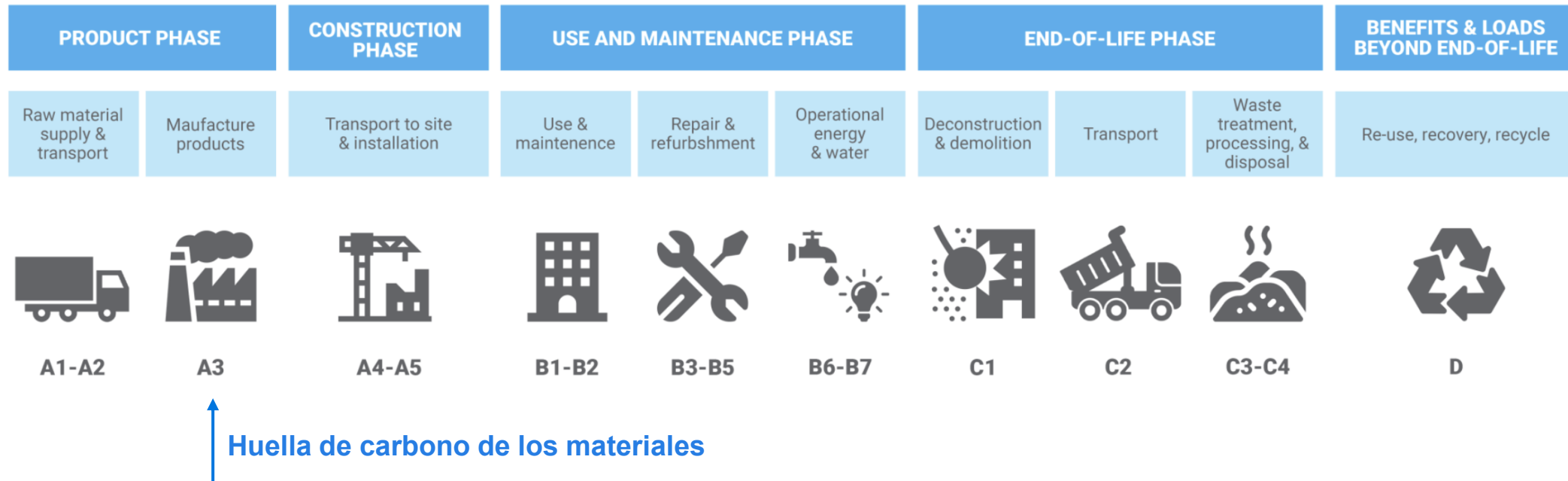


Si consideramos fuentes sobre consumo de cemento y consumo de hormigón (Centro de Información de la Cámara Chilena de la Construcción, 2024), toneladas de ligante asfáltico e importaciones de productos de construcción, además de indicadores sobre el consumo per cápita de este tipo de materiales en otras economías (United States Geological Survey, 2023), las estimaciones llegan a que en el país se consumen aproximadamente 57.000.000 de metros cúbicos de áridos. De estos, se calcula que entre un 60% y 70% son producidos de manera irregular (Villagra Saavedra, 2021). Si se desglosa por usos a nivel nacional, un 46% se dedica a la fabricación de hormigón, un 40% se usaría para relle-



Ciclo de vida, huella de carbono y durabilidad del hormigón

Muchos proyectos dicen ser sostenibles, pero no consideran el análisis del ciclo de vida:



REF: <https://hera.org.nz/lca-explained/>



Ciclo de vida, huella de carbono y durabilidad del hormigón

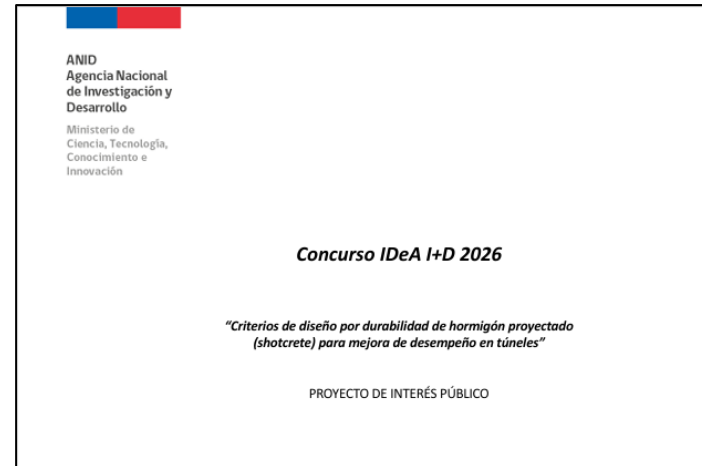
Respecto de la durabilidad, en la actualidad aún existen proyectos en donde los hormigones no son diseñados mediante criterios de durabilidad. **Comentar sobre la NCh170 of 2016.**

2023



REF: <https://blog.negocioyconstruccion.cl/>

PROYECTO EN EVALUACIÓN



2025



REF: <https://www.abc.net.au/>

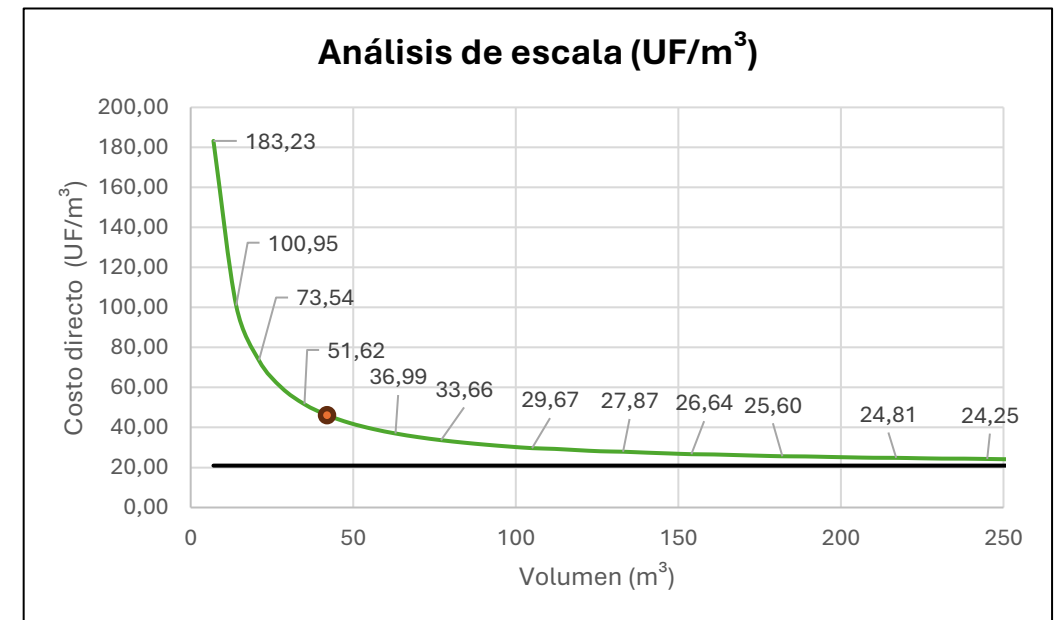
Postulación FONDEF Centro del Hormigón UC

“Criterios de diseño por durabilidad de hormigón proyectado (shotcrete) para mejora de desempeño en túneles”



Fortalecer el apoyo de startups locales y otras internacionales

- ❖ En Chile y otros países de la región tenemos buen nivel de investigación
- ❖ La investigación se puede traducir en nuevos productos y servicios
- ❖ El “rubro” de la ingeniería civil en Chile es muy conservador
- ❖ La adopción tecnológica depende en gran parte de la regulación (normativa)
- ❖ La adopción de nuevas normas tarda entre 5 a 15 años en Chile (estimación personal)
- ❖ Es común evaluar a través de proyectos pilotos (prototipos). Los costos de los pilotos no reflejan la economía de escala
- ❖ Las empresas requieren ventas, todo lo anterior limita seriamente su escalamiento



La investigación en Chile se realiza en gran parte con recursos del estado



No estamos sacando el mejor provecho a los recursos públicos



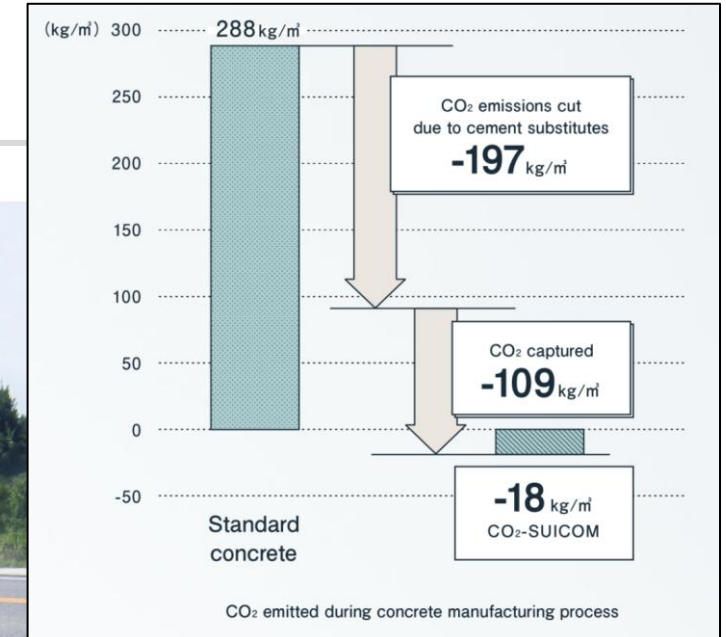
Fortalecer el apoyo de startups locales y otras internacionales

KAJIMA
CONCRETE
BASE
JP / EN

TECHNOLOGY

Carbon-capturing concrete: Capturing CO₂ like trees

CO₂-SUICOM : CO₂-Storage and Utilization
for Infrastructure by COncrete Materials



Hormigón carbono negativo



Acelerar y coordinar de mejor manera la transferencia tecnológica

**Roadmap 2030:
The U.S. Concrete Industry
Technology Roadmap**

(Version 1.0)



December 2002

This document was facilitated by the
Strategic Development Council

RoadMap 2030: The U.S. Concrete Industry Technology Roadmap

https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/industries_technologies/imf/pdfs/concrete_rdmap.pdf

Technology Transfer – It typically takes about 15 years for new concrete technology to become widely available to the marketplace. *By 2030, the industry will reduce the time required for the acceptance of new technology to two years.*

¡Considero casi imposible reducir a 2 años en la actualidad!



Adaptar tecnologías de relativa “fácil” implementación

BOxCrete: A Bayesian Optimization Open-Source AI Model for Concrete Strength Forecasting and Mix Optimization

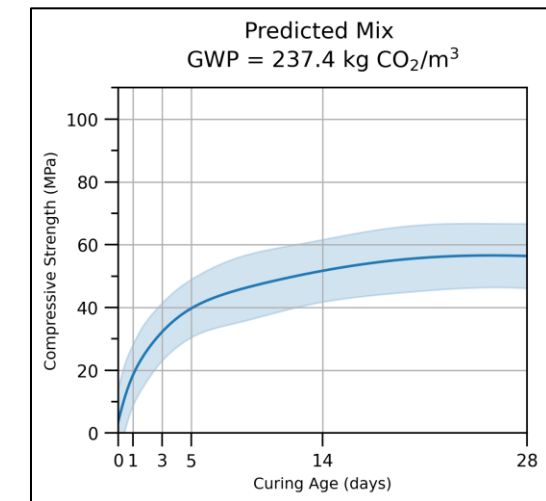
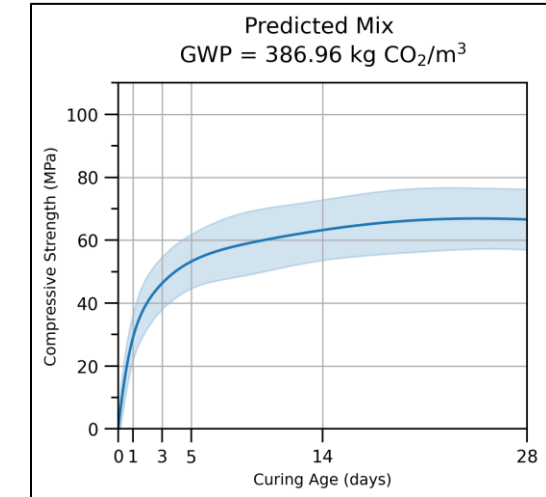
Bayezid Baten^{1†}, M. Ayyan Iqbal^{1†}, Sebastian Ament², Julius Kusuma² and Nishant Garg^{1*}

¹Department of Civil and Environmental Engineering, University of Illinois Urbana-Champaign, Urbana, IL, USA

²Meta, Menlo Park, California, USA.

† The authors contributed equally

**Corresponding author email: nishantg@illinois.edu*



Low-Carbon Concrete— Code Requirements and Commentary

Reported by ACI Committee 323



El WGP es un índice usado para determinar la energía absorbida causada por la emisión de diferentes gases asociadas a un producto, la cual se normaliza a una masa equivalente de dióxido de carbono en un periodo de 100 años (u otro plazo).

$$GWP_{project\ avg} = \frac{\sum_{i=1}^n GWP_{project\ i} \times Vol_i}{\sum_{i=1}^n Vol_i}$$

Ref: Elaboración propia

04 | Conclusiones y reflexiones finales



El hormigón (concreto) aún no tiene un sustituto y su consumo va en aumento

Hasta la fecha **no tenemos una solución única** que permita lograr
la carbono neutralidad del hormigón, sin embargo,
Las tecnologías para descarbonizar existen.

El **desafío** es cómo las **escalamos industrialmente**
y **qué tan rápido** esta industria puede **transformarse**.



La próxima ola de infraestructura va a ocurrir en el Global South

**Propongamos una
forma distinta de colaboración
a nivel regional.**



UC | Chile
Concrete Innovation Hub

¡Muchas gracias!

Construyamos junto una
industria más sostenible.

Marcelo González (PhD)

14 de mayo de 2026

