



CONGRESO Cemento & Concreto Verde 2050



11 AL **15** **2026**
Mayo Mayo



Santiago,
Chile

Asociados en Chile:



Polpaico



UNACEM

Cbb

Patrocinadores:



UNACEM

Patrocinador Diamante



Patrocinador Oro



Fluor & Energy
Materials



cem AI Cement
Inteligencias

Patrocinador Plata



FICEM



ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL
Progreso mediante la innovación



Remociones de CO₂ por el entorno construido: reconociendo la recarbonatación del cemento



CIFICEN
Centro de Investigaciones en Física e Ingeniería
del Centro de la Provincia de Buenos Aires

EDGARDO FABIAN IRASSAR

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES



Contexto

El ipcc reconoce al hormigón y mortero como **sumideros de CO₂** por carbonatación durante su vida útil y tras la demolición.

La carbonatación es **lenta y dependiente de la exposición**, las superficies expuestas y aumenta significativamente en fases de fin de vida (demolición, trituración)

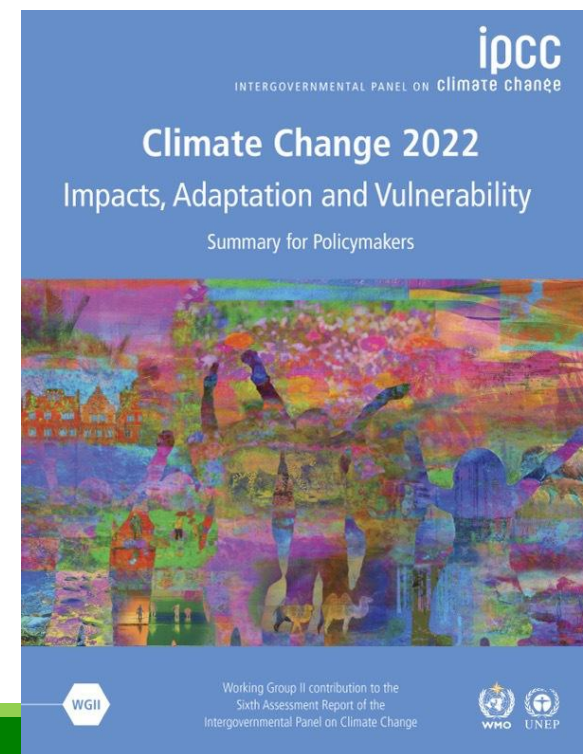
El IPCC no establece un único valor en los inventarios (**20–30% del CO₂** emitido por la **descarbonatación del proceso** a lo largo de todo el ciclo de vida).

La carbonatación no se **incluye explícitamente** en los inventarios nacionales y puede considerarse en metodologías avanzadas (Tier 2–3)

Hoy se discute como será la metodología de cuantificación para ser incorporada

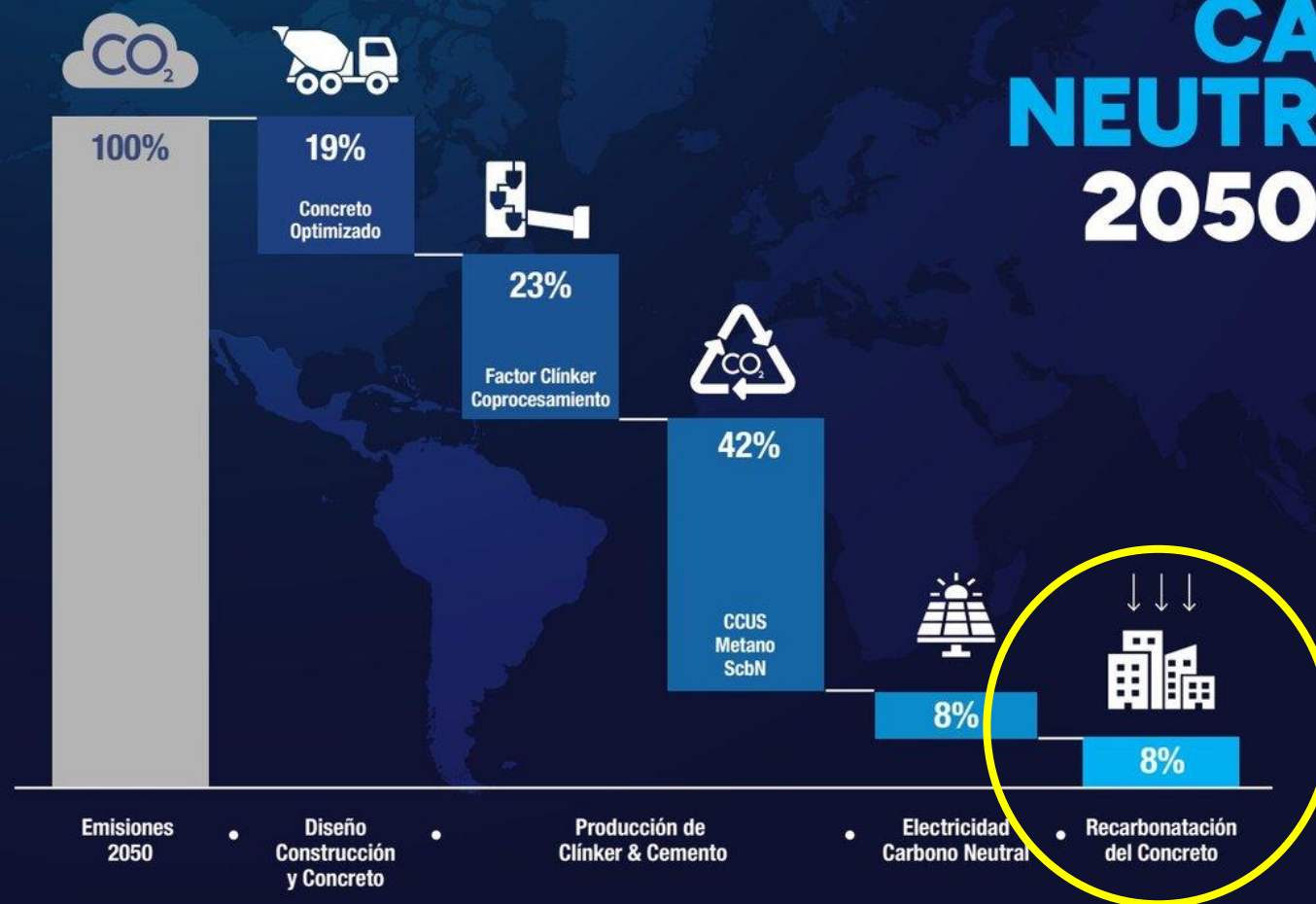
ipcc

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON
climate change





HOJA DE RUTA CARBONO NEUTRALIDAD 2050 | LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE





Objetivo del estudio

Cuantificar la **absorción de CO₂** por carbonatación en el entorno construido para cuatro países latinoamericanos —**México, Argentina, Chile y Guatemala**— durante el periodo 2010-2024, y su proyección como sumidero.

El límite del sistema incluye el **uso de cemento en concreto y morteros** durante la fase de uso **en construcción civil** y se extiende a escenarios de fin de vida útil (EoL)

La medida es la absorción de CO₂ (Mt CO₂·año⁻¹) a nivel nacional.

Los resultados se presentan como absorción acumulada y como fracción de las emisiones del proceso (descarbonatación).

RECARBONATACIÓN NATURAL: UN SUMIDERO DE CO₂ PARA LA CARBONO NEUTRALIDAD

Natural Recarbonation: A CO₂ sink for achieving
Carbon Neutrality

Resumen

La recarbonatación del concreto es un proceso fisicoquímico que implica la absorción de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico, contribuyendo a la reducción de la huella de carbono del material. Este fenómeno es reconocido por diversas organizaciones internacionales como un sumidero de carbono significativo; sin embargo, aún no existe una metodología de cálculo unificada para su inclusión y contabilización formal en los inventarios de gases de efecto invernadero (GEI) globales y nacionales. La Federación Interamericana del Cemento (FICEM) trabaja en la creación e implementación de una metodología regional para cuantificar la recarbonatación y su impacto en la trayectoria hacia la Carbono Neutralidad del producto al 2050.

Abstract

Concrete re-carbonation is a physicochemical process involving the absorption of atmospheric carbon dioxide (CO₂), contributing to the reduction of the material's carbon footprint. This phenomenon is recognized by various international organizations as a significant carbon sink; however, there is still no unified calculation methodology for its formal inclusion in global and national greenhouse gas (GHG) inventories. The Inter-American Cement Federation (FICEM) is actively working on the development and implementation of a regional methodology to quantify re-carbonation and its impact on the pathway toward product carbon neutrality by 2050.



La carbonatación natural es un proceso fisicoquímico intrínseco a los materiales de base cementicia que implica la absorción permanente de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico. Históricamente, la carbonatación fue estudiada por su impacto en la durabilidad de las estructuras de concreto armado, específicamente porque la reducción del pH de la pasta de cemento causada por la carbonatación conduce a la pérdida de pasivación del acero de refuerzo, promoviendo su corrosión. Sin embargo, la recarbonatación (también denominada "carbonatación natural") es

actualmente reconocida por su contribución como sumidero de carbono, permitiendo mitigar la huella de carbono del material durante el ciclo de vida. A lo largo de las últimas dos décadas, la recarbonatación natural del concreto y/o el ambiente construido se ha estudiado con diferente nivel de profundidad y enfoques, dando lugar a variaciones en las estimaciones de la absorción global de CO₂ como resultado de este fenómeno. La discrepancia de las estimaciones tienen su origen a los valores asumidos sobre la tasa de carbonatación, el contenido de clinker en los cementos, la



Edgardo Fabián Irassar

Universidad Nacional del
Centro de la Provincia de
Buenos Aires (UNICEN)
Facultad de Ingeniería
efirassar@gmail.com



Matías Polzinetti

Federación Interamericana
del Cemento (FICEM)
Director Área Concreto
mpolzinetti@ficem.org

Palabras clave:

carbonatación natural;
carbono neutralidad; hojas
de ruta; sumidero de CO₂;
remociones; concreto.

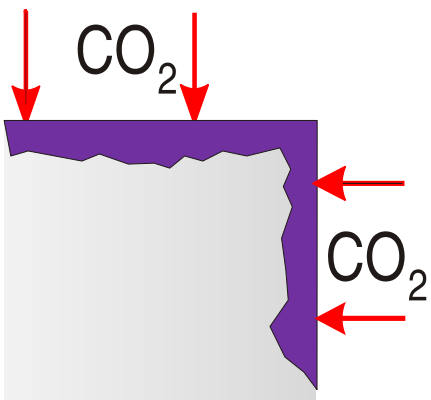
Las variables del CO₂ absorbido por carbonatación



La reacción de carbonatación

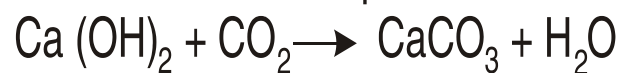
MECANISMO

El CO_2 del aire ingresa al material a través de los **poros interconectados** con el exterior, en **presencia de agua**, y primero transforma al $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en carbonato de calcio, y luego desestabilizan otros compuestos cálcicos (ettringita, AFm y C-S-H).



Difusión de CO_2

Reacción simplificada



(H_2O)

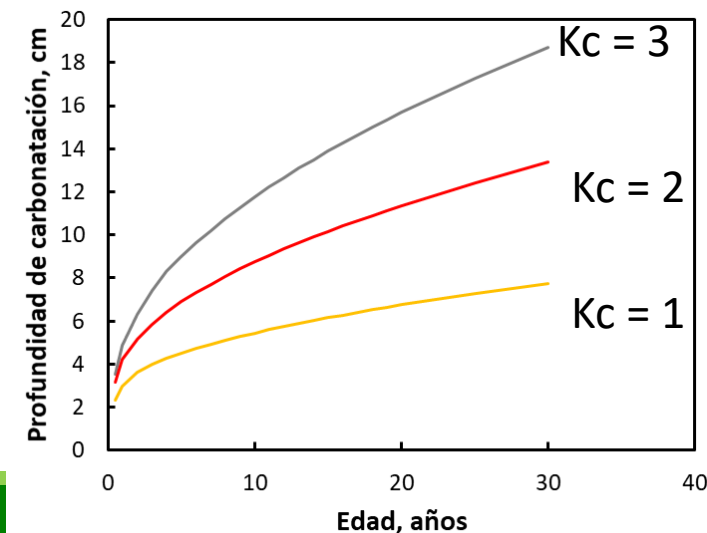
CINÉTICA

Influyen

- *características del hormigón*
- *condiciones del ambiente (HR, temperatura)*
- *tiempo de exposición.*

$$d_c = k_c t^{0.5}$$

d_c : profundidad carbonatada
 T : tiempo de exposición
 k_c : coeficiente del hormigón y del medio ambiente





Potencial CO₂ a capturar

$$\text{CO}_2 \text{ teórico} = (M_{\text{CO}_2}/M_{\text{CaO}}) \times \text{CaO} = (44 \text{ [g/mol]}/56 \text{ [g/mol]}) \times \text{CaO} = \mathbf{0.785 \times \text{CaO}}$$

Tipo	Cemento	Factor Clinker	Contenido de CaO (% en masa)	Composicion
CEM I	Cemento Portland	0,90-0,96	60–67%	Principalmente clínker Portland
CEM II/A	Cemento Portland mezcla	0,90-0,75	58–65%	6–20% de escoria, puzolana, caliza, etc.
CEM II/B	Cemento Portland mezcla	0,75-0,60	55–62%	21–35% de material adicional
CEM III/A	Cemento de Escoria (35–64% clínker)	0,64-0,35	50–58%	36–65% de escoria de alto horno
CEM III/B	Cemento de Escoria (20–34% clínker)	0,34-0,20	45–52%	66–80% de escoria de alto horno
CEM III/C	Cemento de Escoria (5–19% clínker)	0,19-0,05	40–48%	81–95% de escoria; muy bajo en CaO
CEM IV/A	Cemento Pozolánico	0,85-0,60	50–58%	11–35% de puzolana
CEM IV/B	Cemento Pozolánico	0,60-0,40	45–55%	36–55% de puzolana
CEM V/A	Cemento compuesto	0,75-0,60	48–56%	40–64% de mezcla (escoria + puzolana o caliza)
CEM V/B	Cemento compuesto	0,30-0,20	45–52%	65–80% de mezcla



El ambiente construido

Características de las **mezclas y recubrimientos** que influyen sobre la cantidad de CO₂ secuestrado.

Características y **tipología** de los elementos construidos

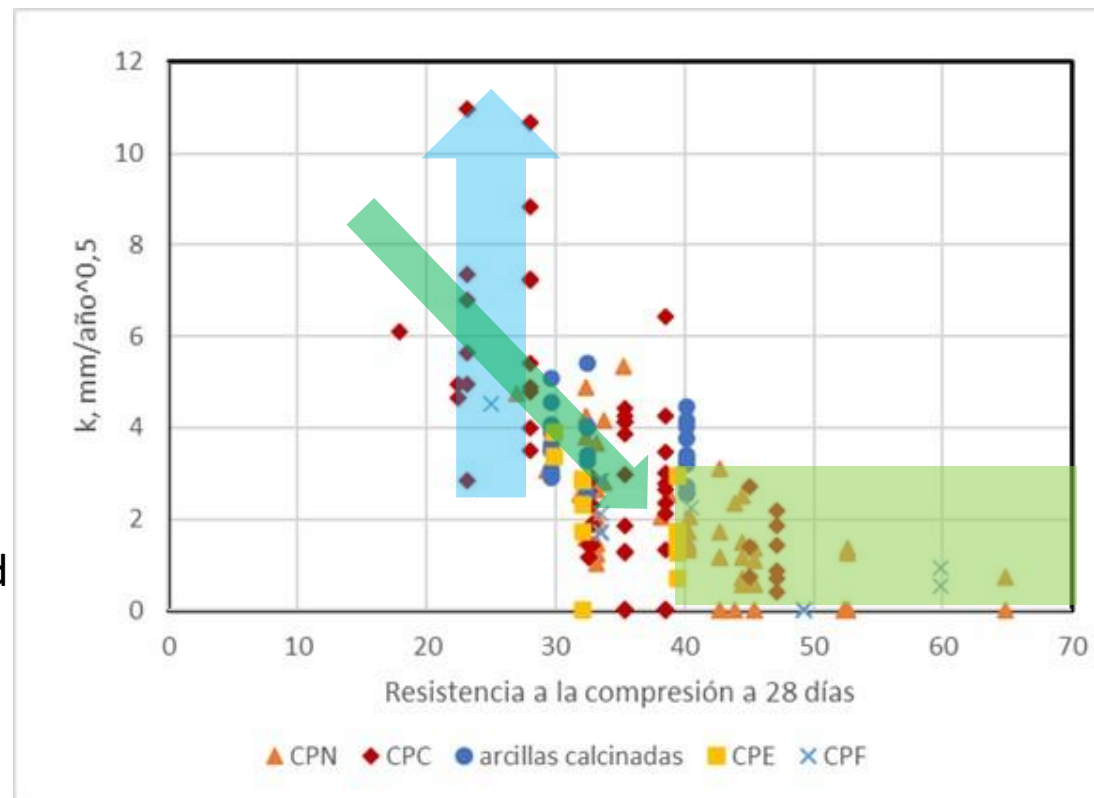
El tipo y evolución de las estructuras y su influencia en el secuestro de CO₂.

El tipo de exposición al aire circundante





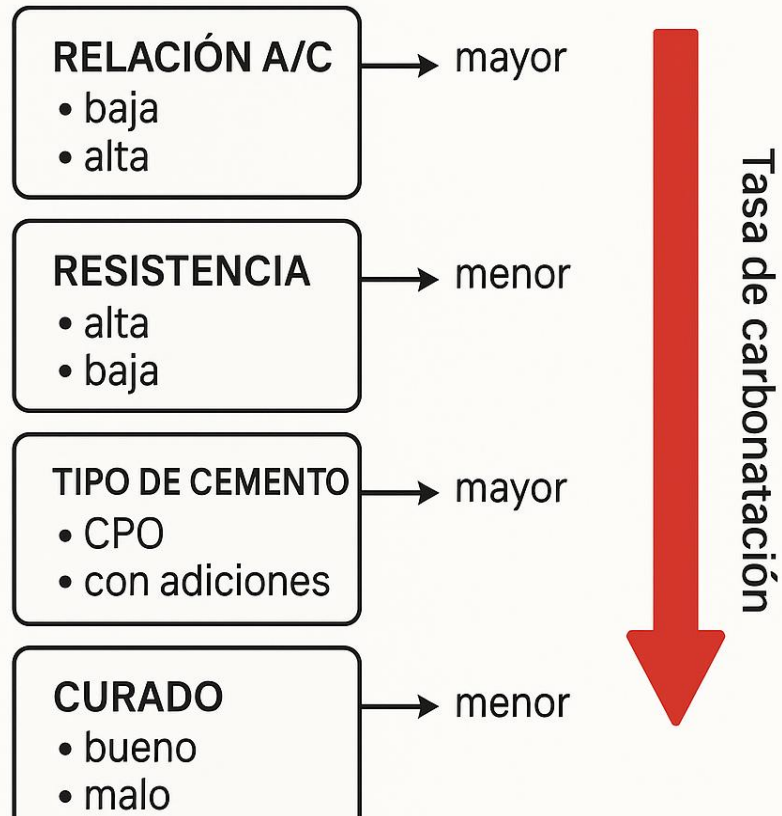
Distribución de la porosidad y el tamaño de los poros: La porosidad (volumen, la distribución del tamaño, la tortuosidad y la interconectividad) está directamente relacionada con la entrada de CO₂.





Frente de carbonatación y CO₂ capturado

Efecto de las características del concreto en la carbonatación



Para el cambio del color (pH) del cemento en la prueba de fenolftaleína ~ 75 % del CaO original esta carbonatado.



Características del ambiente: HR y temperatura

Humedad relativa

- A **HR muy baja**, no hay suficiente agua en los poros para disolver el CO_2 para que ocurra la reacción química.
- A **HR muy alta**, los poros se saturan y, en consecuencia, la difusión de CO_2 se ralentiza significativamente.
- La máxima de carbonatación ocurre con **HR entre 60-80 %**.

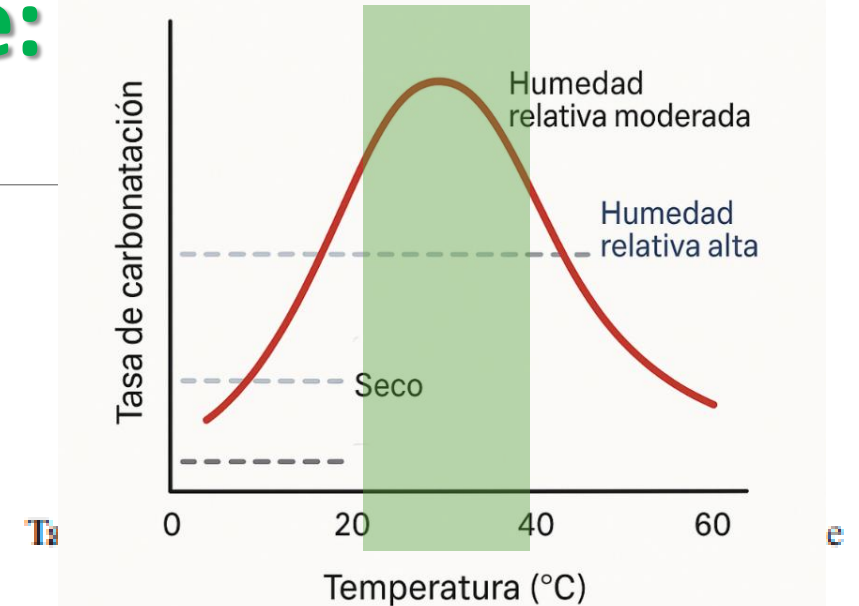
Temperatura

- La alta temperatura se aceleran la carbonatación
- La temperatura ideal es 20 a 30°C

Exposición a la lluvia:

- El hormigón sumergido y/o enterrado muy baja tasa de carbonatación
- El hormigón expuesto a la lluvia menor tas que el protegido
- El hormigón interior mayor tasa

Efecto de la temperatura
en la carbonatación del concreto



Condición	f'c (MPa)			
	15	15-20	25-35	> 35
	K (mm/año ^{0.5})			
Sumergido	2,0	1,0	0,75	0,5
Enterrado	3,0	1,5	1,0	0,75
Expuesto	5,0	2,5	1,5	1,0
Protegido	10	6,0	4,0	2,5
Interior	15	9,0	6,0	3,5



Ambiente construído: Usos del cemento

Tipos de construcciones

- ✓ Residencial
- ✓ Comercial-institucional-industrial
- ✓ Obras de infraestructura

Productos cementicios

Vivienda	70%	
Hormigón Elaborado		30%
Prefabricados		2%
Hormigón in situ		10%
Morteros		28%
Infraestructura	18%	
Pavimentos		13%
Otra Infraestructuras		5%
Comercial Industrial	12%	





Concreto utilizado según elemento

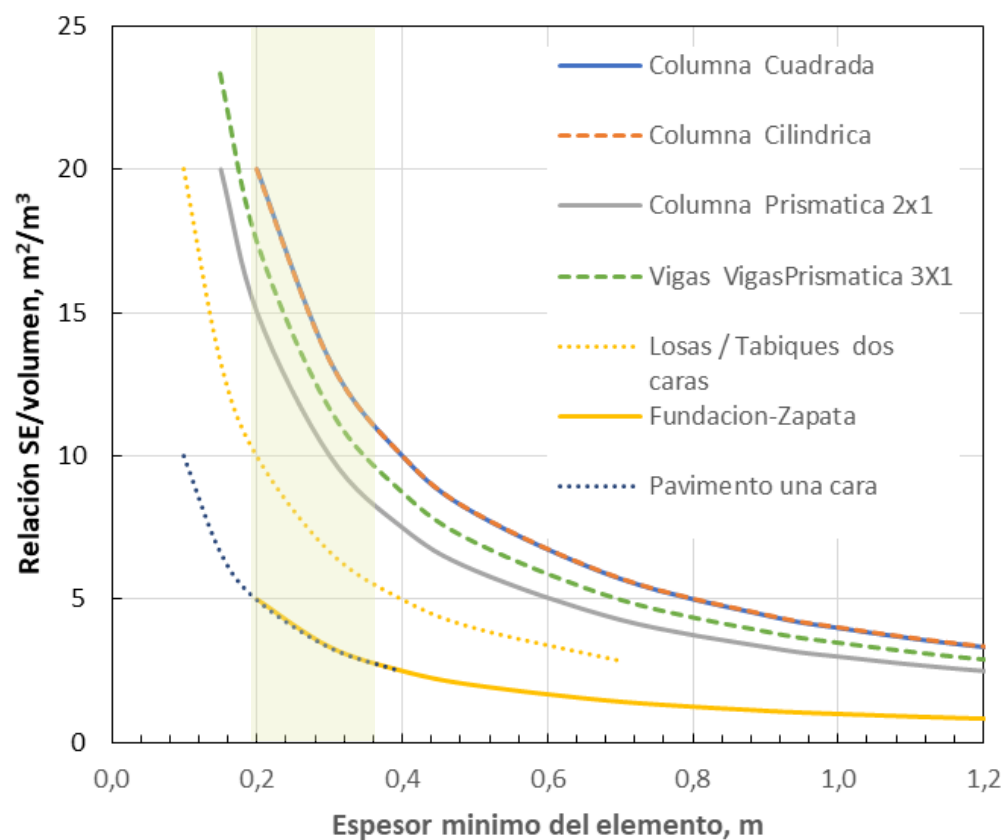
Elementos	% mínimo	% máximo	Ambiente
ESTRUCTURA	61,4	77,7	
Losas	28.4	39.9	Expuesto corto plazo
Vigas	24.7	27.1	Interno o externo
Columnas	8.3	10.3	Interno o externo
FUNDACIONES	23,1	38,1	No expuesto o sumergido





Superficie expuesta

Para cada elemento estructural se analizan los superficie expuesta vs espesor



Elemento	Completament e expuestos	Parcialmente expuestos	Plazo de exposición
Columnas	10 a 20	5 a 10	Antes y después del cerramiento
Vigas	12 a 13	5	Antes y después del cerramiento
Losas	6	-	Antes del cerramiento
Mortero de asiento	-	5	Después del cerramiento, antes del revocado
Revoques	-	50	Después del cerramiento, antes del revestimiento
Pavimentos	4 a 5	-	Durante su vida útil



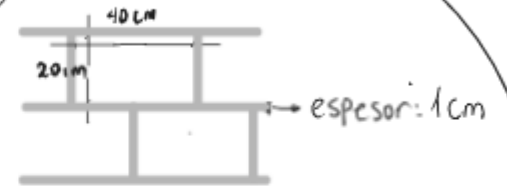
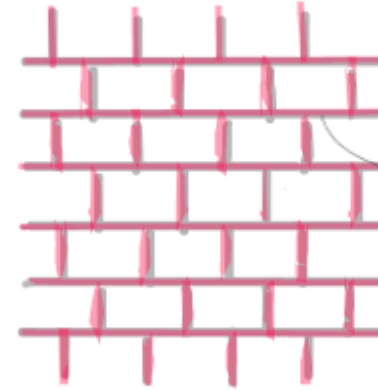
Superficies de muros con mortero



Ecuación 4.1



Ecuación 4.2



- 12 bloques de 20x40 cm por m² de pared
- 0,006 m² de mortero por m² de pared

$$SE [m^2]_{\text{revoques}} = Lh; h = 3m, L = L_{\text{vigas}}, \text{ para } t_{\text{revoques}} \leq t$$

Ecuación 4.2:

$$SE [m^2]_{\text{mortero}} = 0.006 * Lh, \text{ para } t_{\text{ceram}} \leq t < t_{\text{revoques}}$$

t_{revoques} : tiempo en que finaliza la ejecución de los revoques exteriores

$t_{\text{revoques}} \leq t$: tiempo que transcurre desde que finalizó la ejecución de los revoques

$t_{\text{ceram}} \leq t < t_{\text{revoques}}$: tiempo entre la finalización de los muros y el comienzo de los revoques

Modelos de carbonatación para productos que contienen cemento



Tier 1 - CO₂ absorbido

Metodologías sencillas (IVL01)

CO₂ demolición

$$\text{CO}_{2\text{abs}} = (0.20 + 0.0115 * (\text{MR} - 10) + (0.01 + 0.02)) \times (\text{CO}_{2\text{proceso}})$$

- Con un uso del cemento en morteros (10% > MR > 30%)

Share of mortar/render /plaster (%)	Assumed share (%) mortar/render/plaster (MRP)	Share of other cement products (%)	Assumed share (%) of other cement products (OC)	MRP uptake factor contribution	OC uptake factor contribution	Combined Uptake Factor (CUF)
0-9	0	100-91	100	0.00	0.23	0.23
10-19	10	90-81	90	0.00	0.23	0.23
20-29	20	80-71	80	0.12	0.21	0.32
30-	30	-70	70	0.23	0.18	0.41



Tier 3

El modelo de naturaleza dinamica es el siguiente

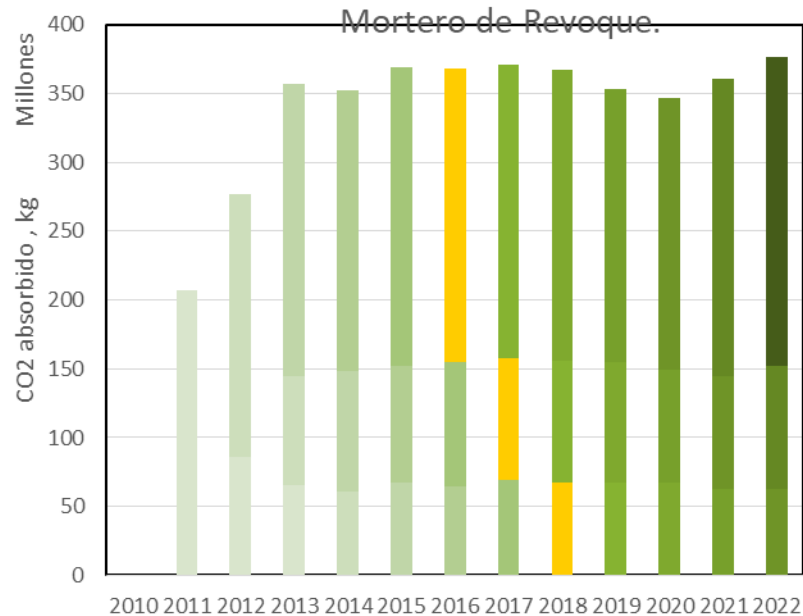
$$\text{CO}_{2\text{capturado}} (\text{kg CO}_2/\text{m}^3) = (\Sigma(k_i \times \text{DoC}_i \times A_i)) (t^{0.5}/1000) \times U_{\text{tcc}} \times C$$

- k_i es el coefficiente de carbonation de la superficie i en $\text{mm}/t^{0.5}$.
- DoC_i es el grado de carbonatación de la superficie i
- A_i es el área superficial i en m^2/m^3 de hormigón
- t es el tiempo en años
- U_{tcc} es máximo teorico absorción $\text{kg CO}_2/\text{kg cement}$. $U_{\text{tcc}} \approx 0.538$ para Portland cement (CEM I o Tipo I)
- C es contenido de cemento en kg/m^3 del hormigón o mortero



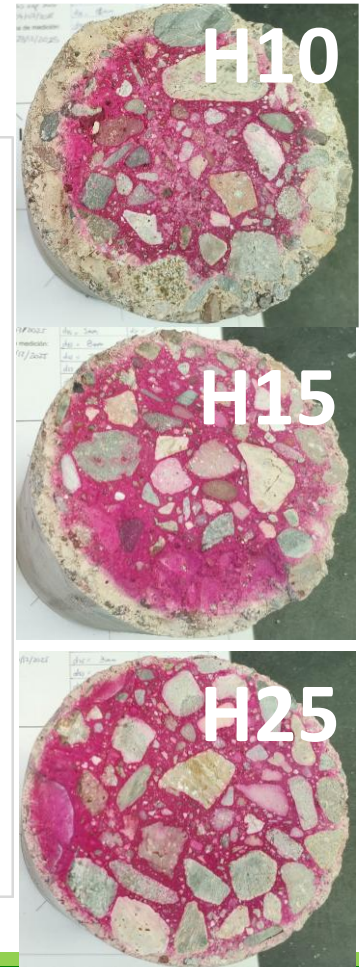
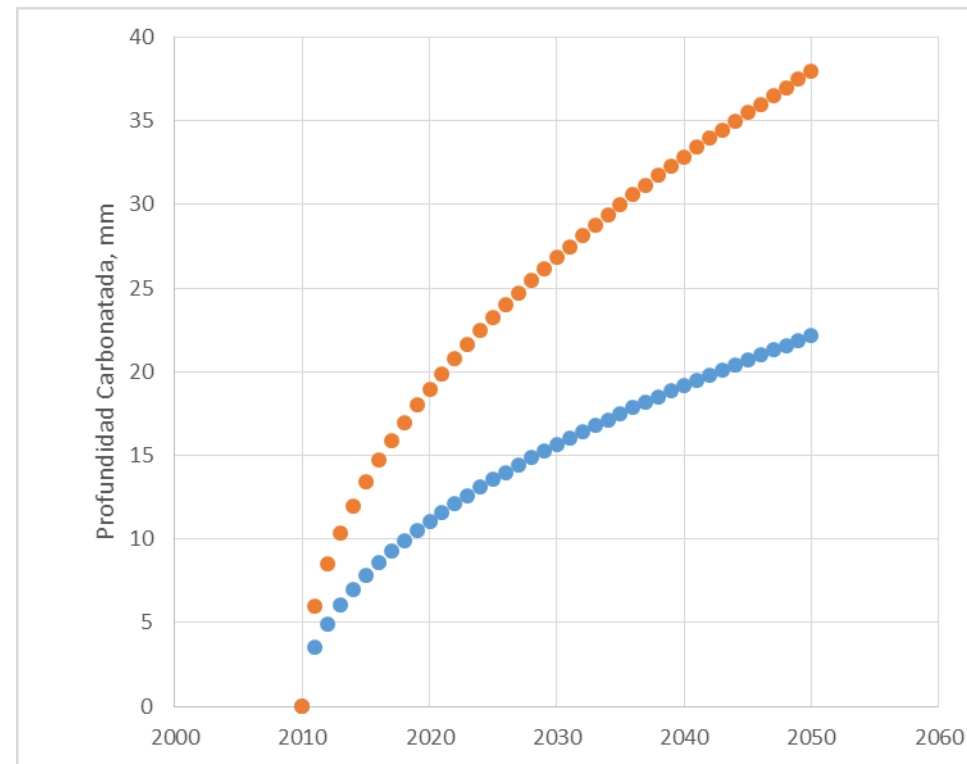
Revoques y concreto pobre: corto plazo

Con $k_c=13$ a $19 \text{ mm/año}^{0.5}$ en uno o años esta carbonatado los 2,0 cm de espesor



Hormigones < H20: $k_c = 6 \text{ mm/año}^{0.5}$

Hormigones > H25: $k_c = 3.5 \text{ mm/año}^{0.5}$

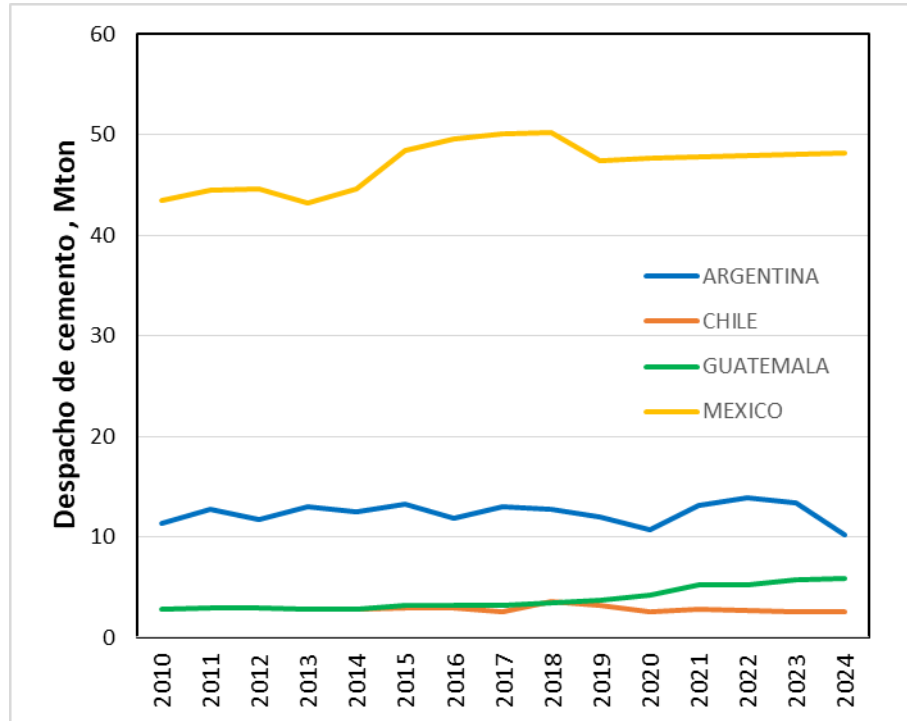


Resultados por país

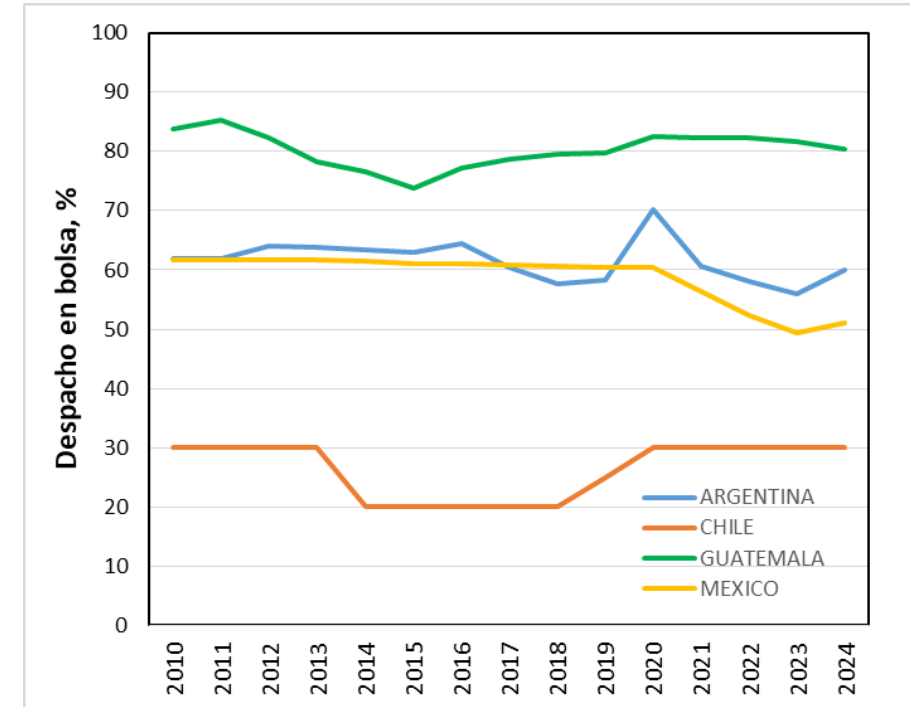


Datos consolidados

DESPACHO DE CEMENTO



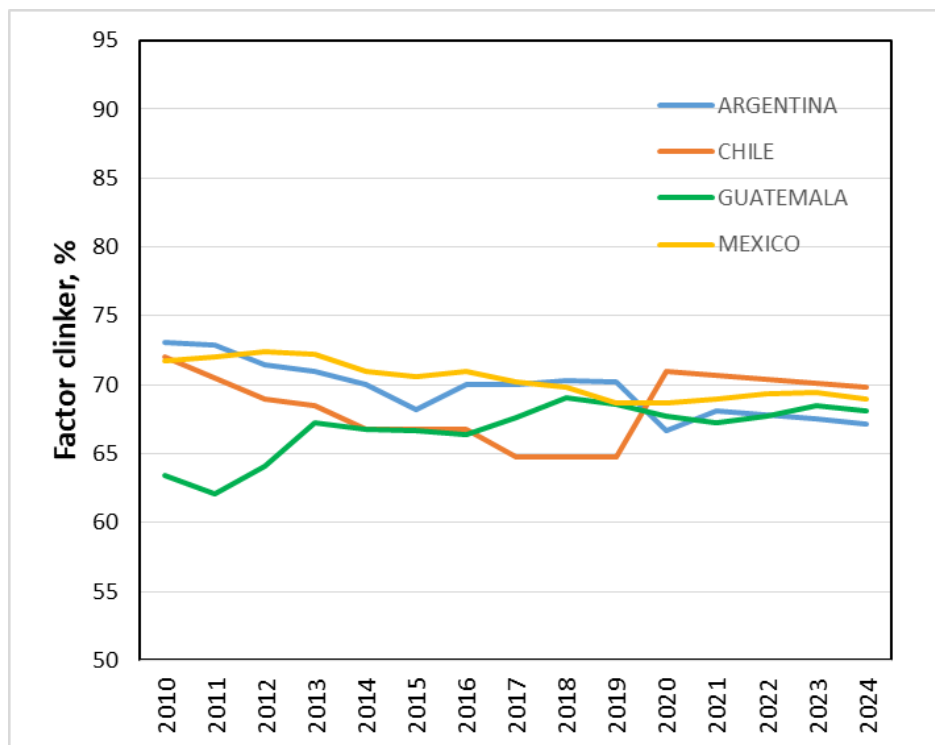
DESPACHO EN BOLSA





Factor clinker

FACTOR GLOBAL



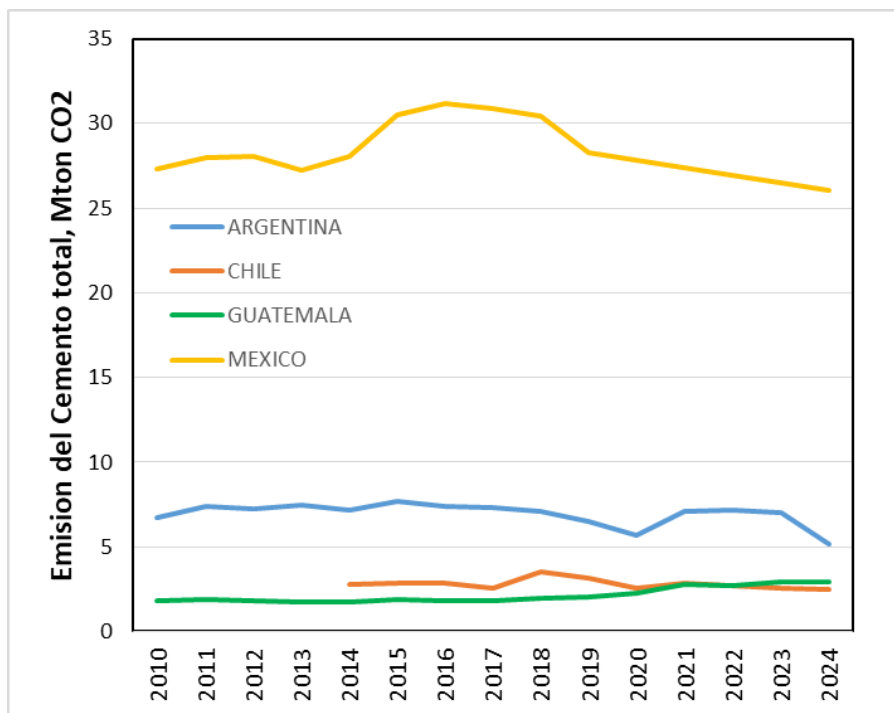
PROMEDIO

	General	Granel	Bolsa	Albañilería
ARGENTINA	0,69	0,81	0,65	0,35-0,40
CHILE	0,69	0,77	0,65	-
GUATEMALA	0,67	0,85	0,65	-
MEXICO	0,69	0,79	0,65	0,40

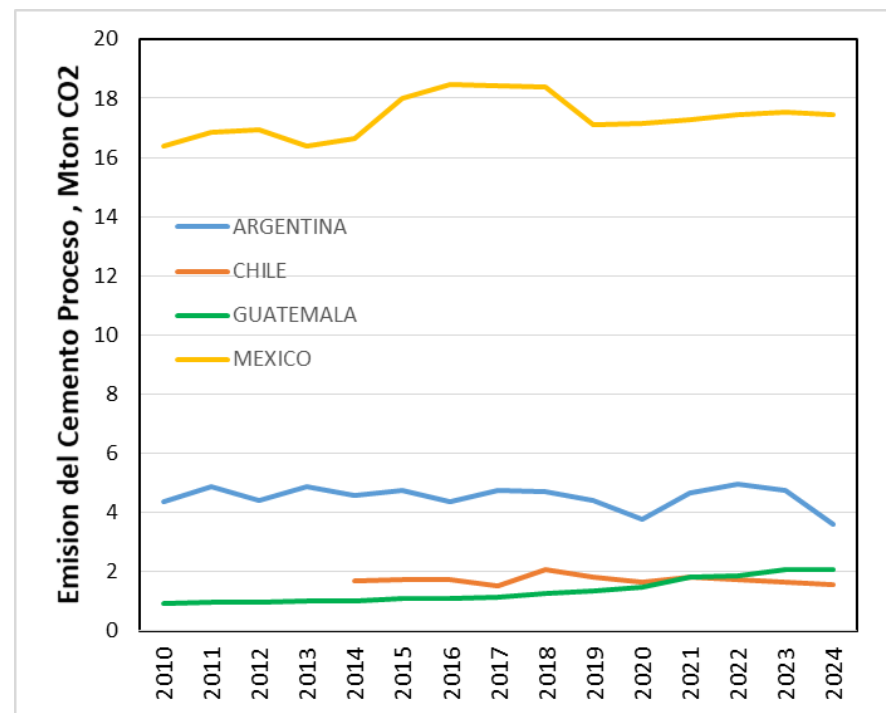


Emisiones de CO₂

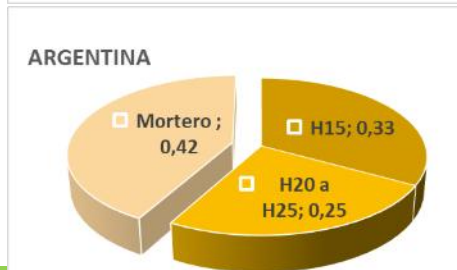
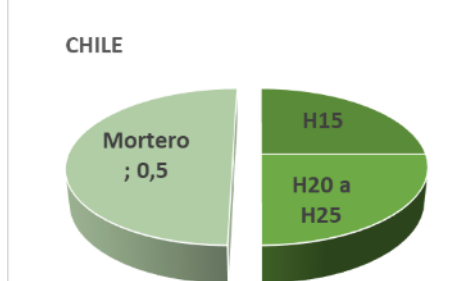
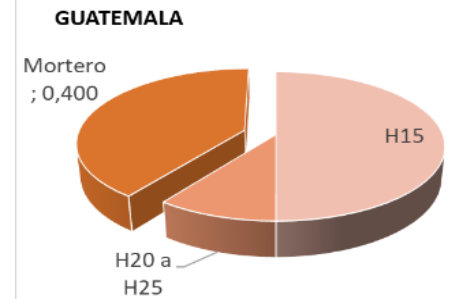
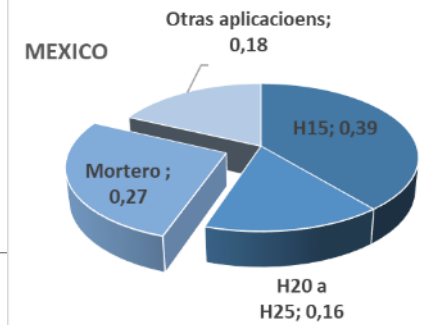
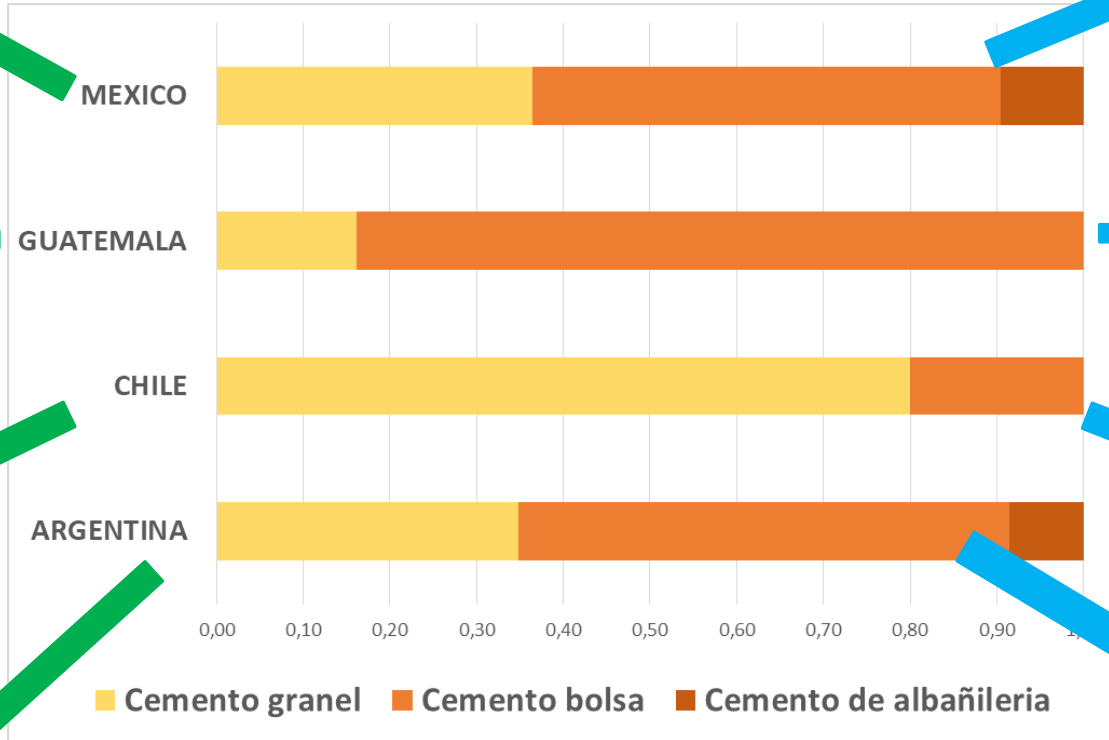
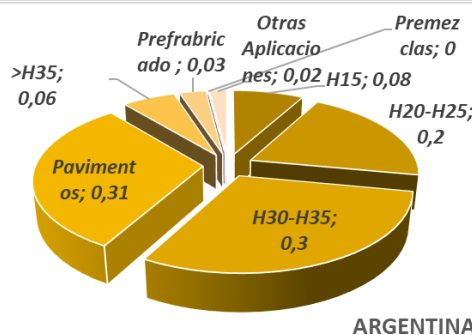
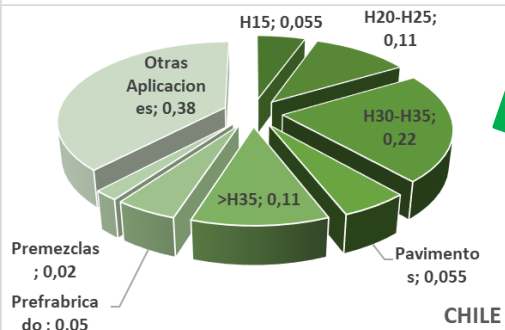
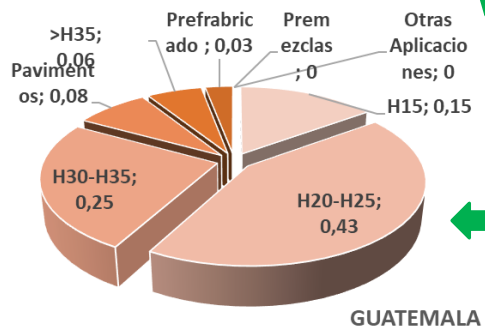
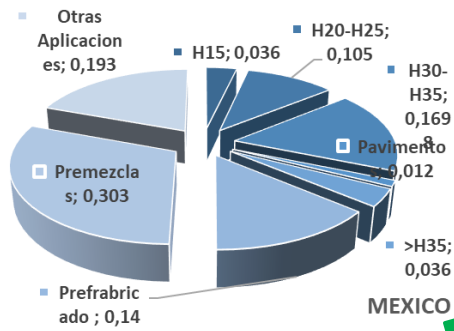
EMISIONES TOTALES



EMISIONES DE PROCESO

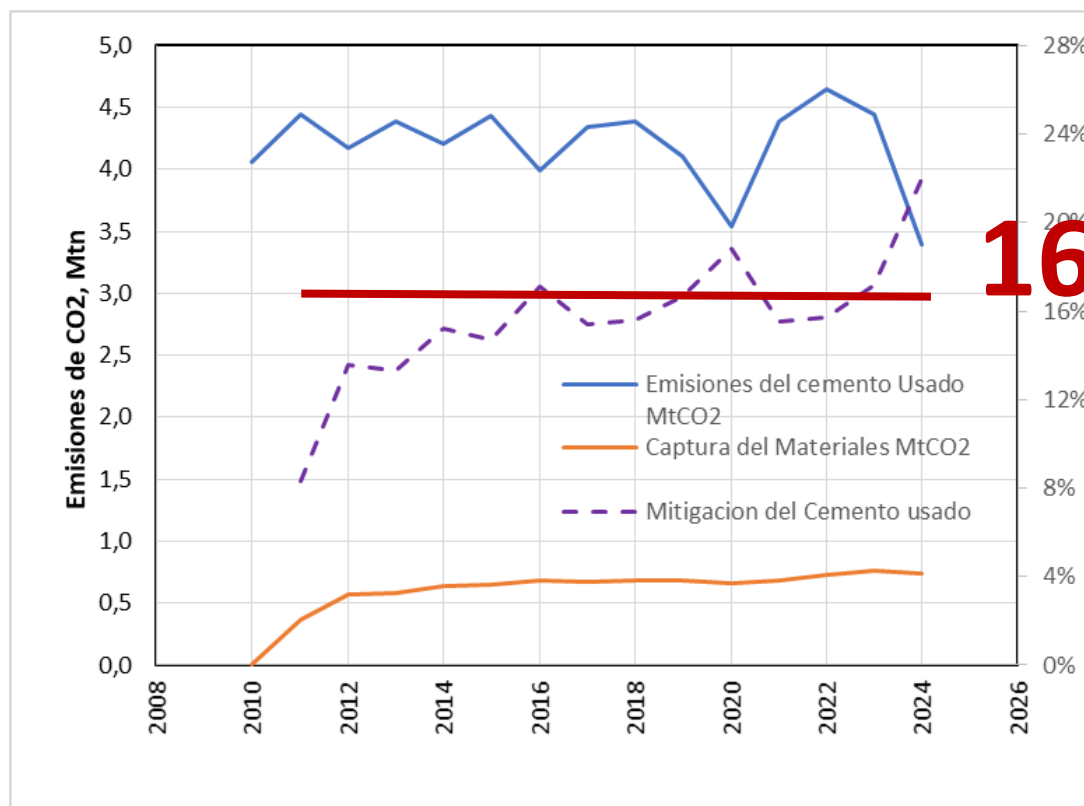


Canales y usos

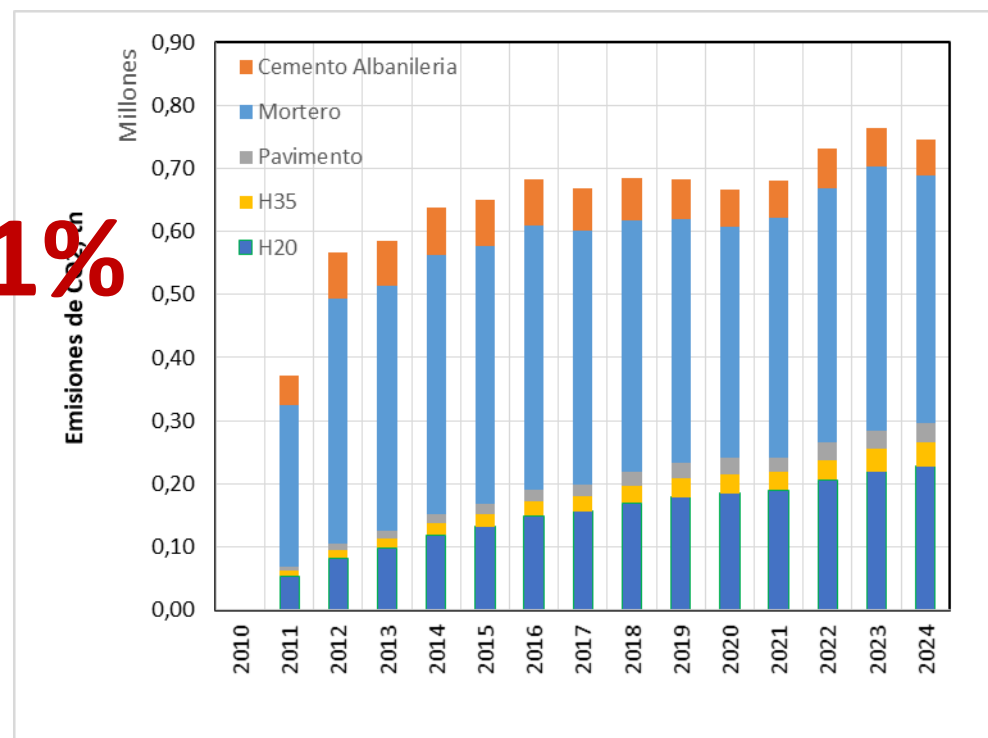




ARGENTINA

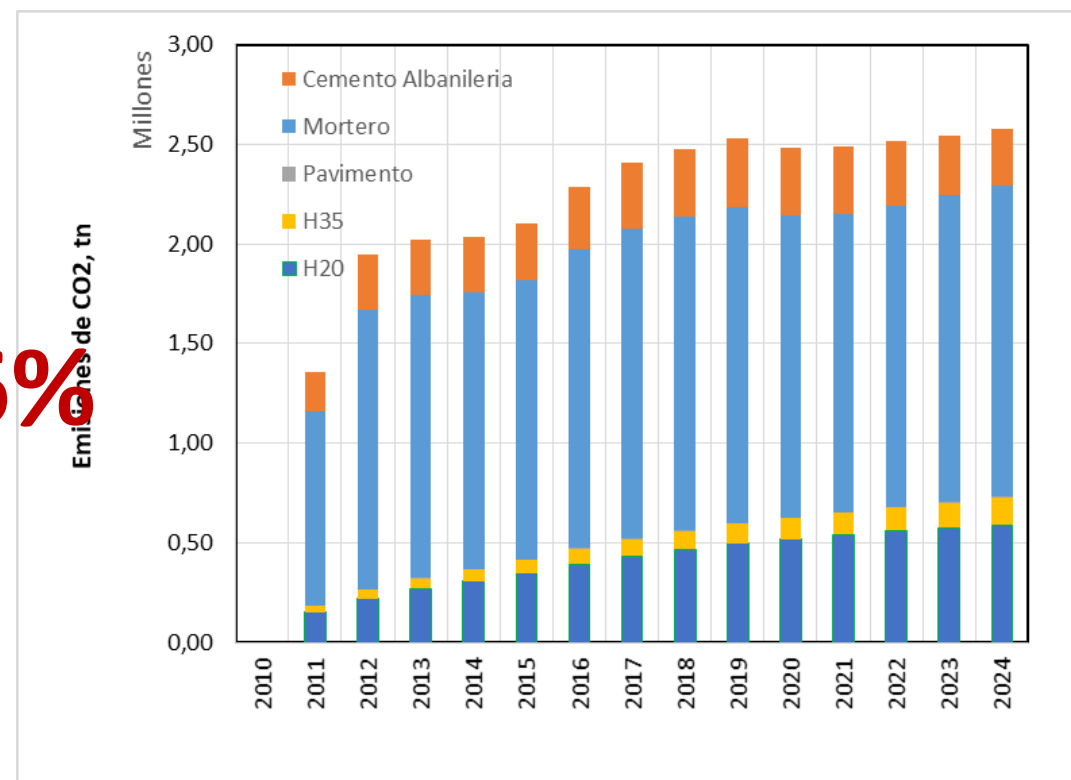
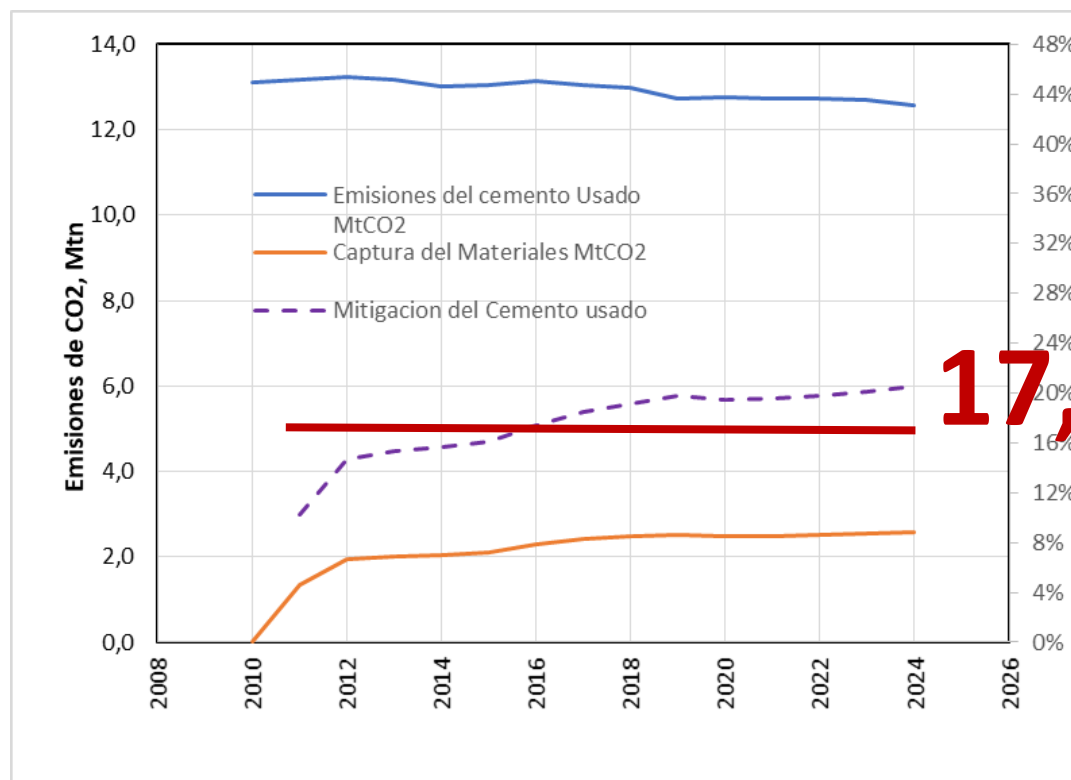


16,1%



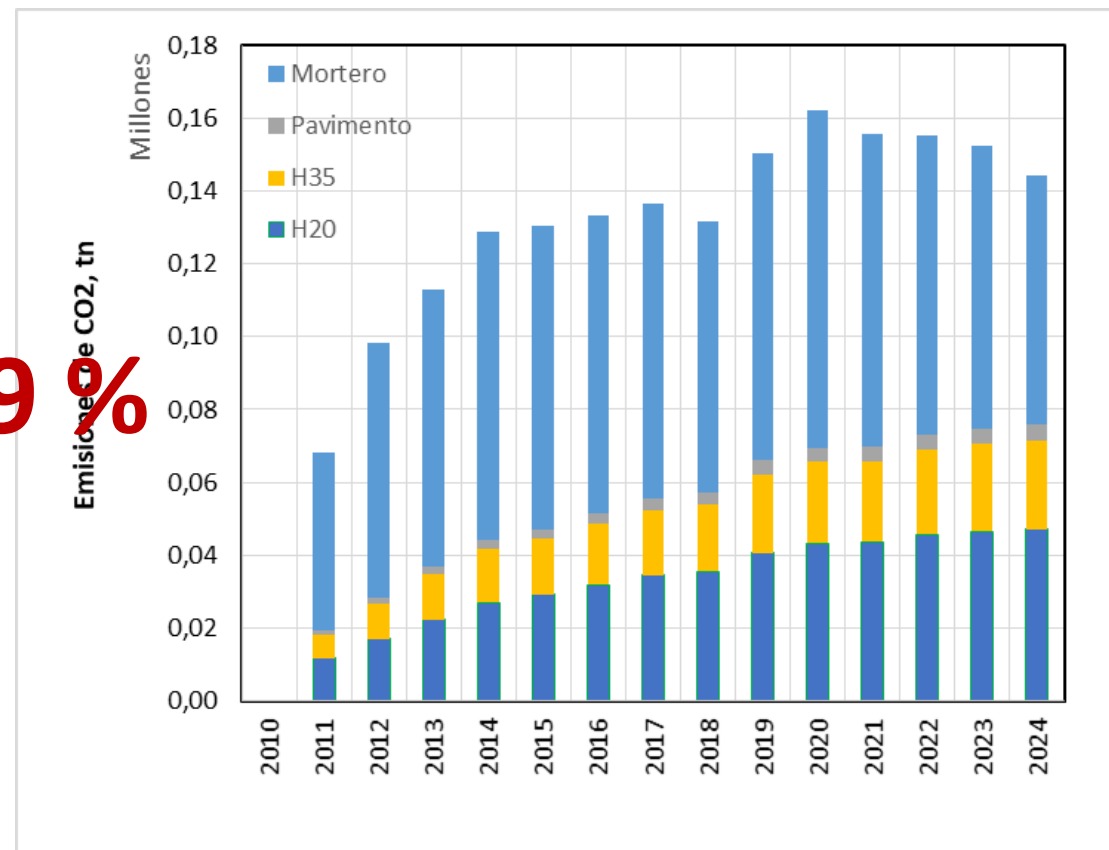
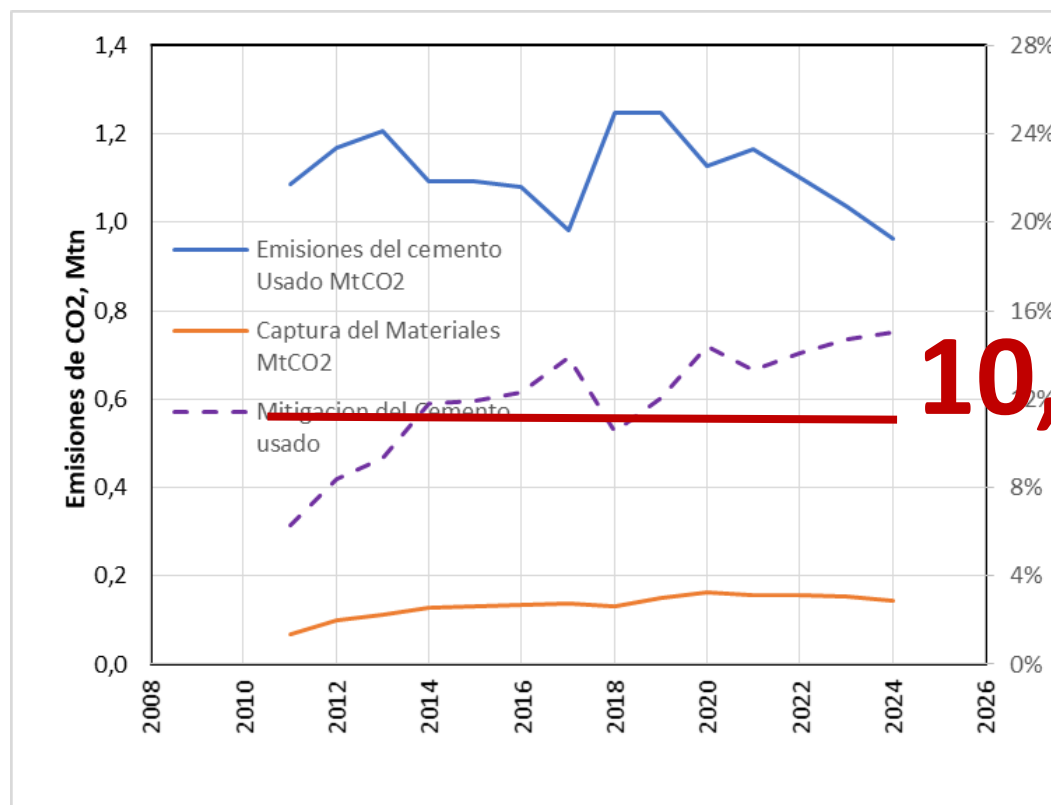


MEXICO



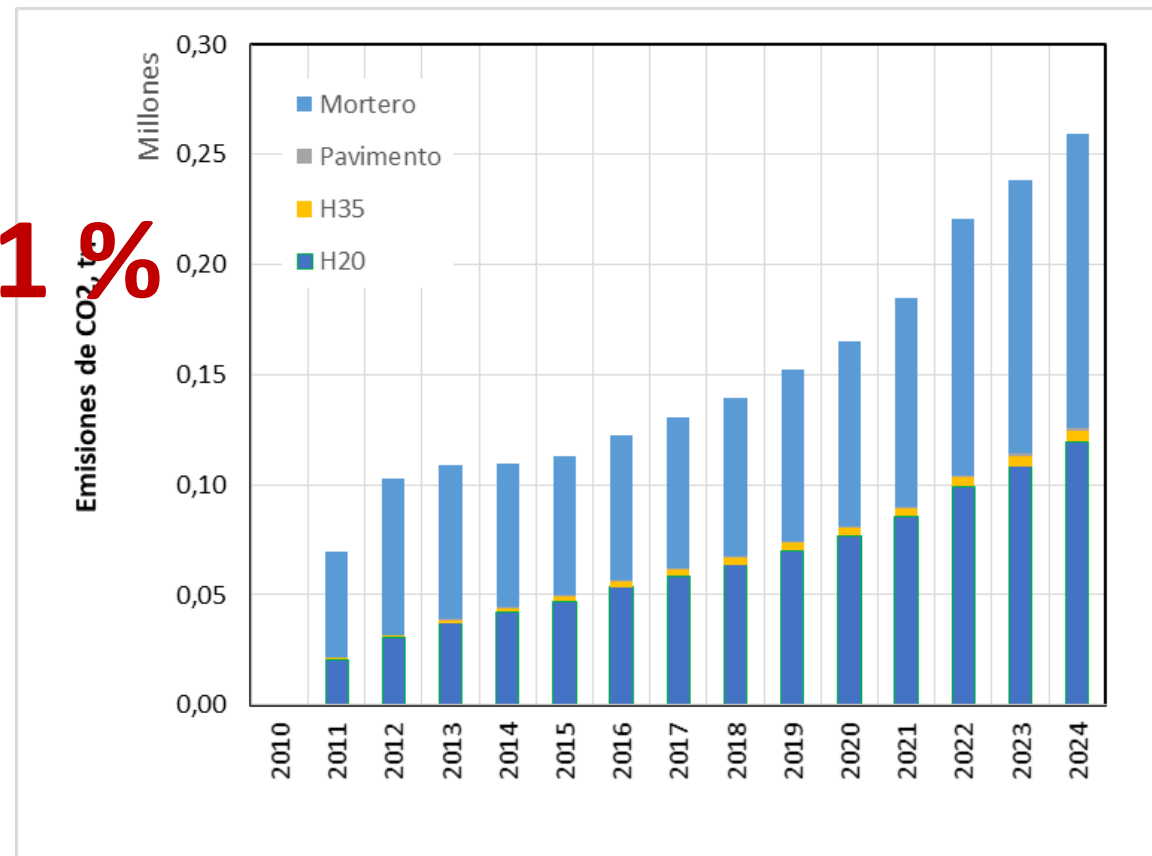
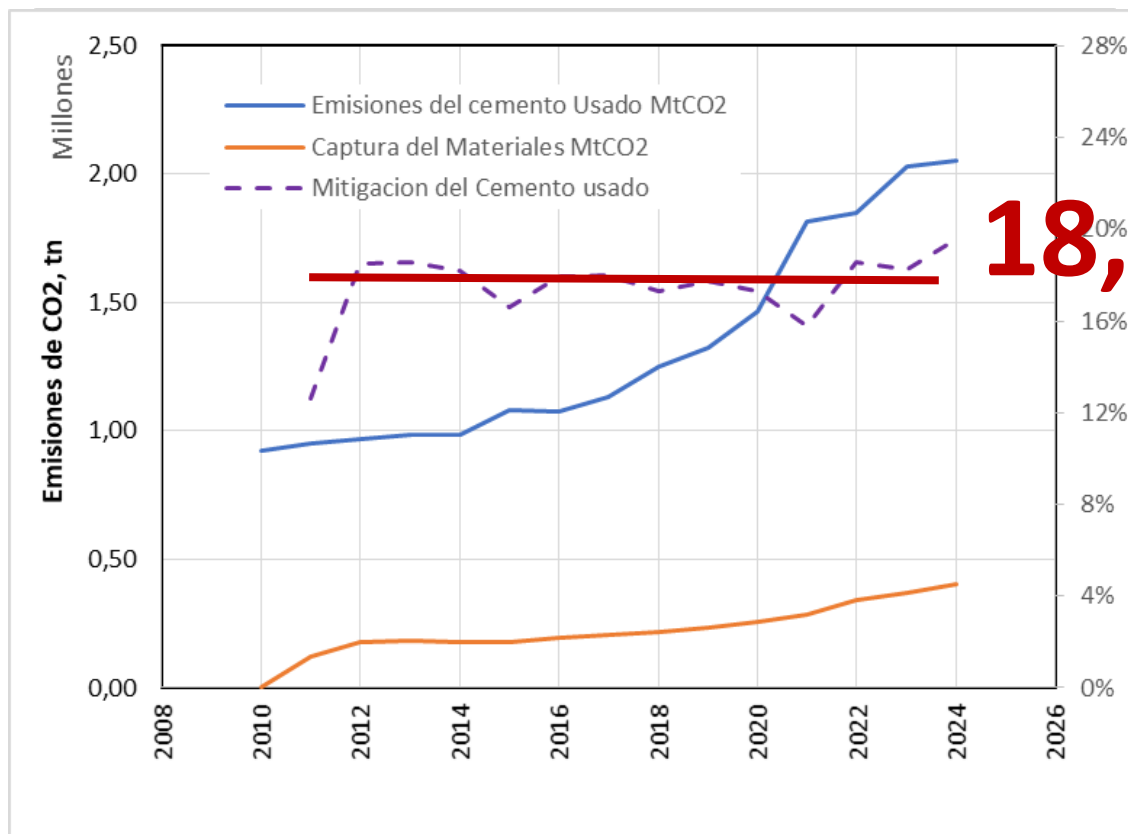


CHILE





GUATEMALA



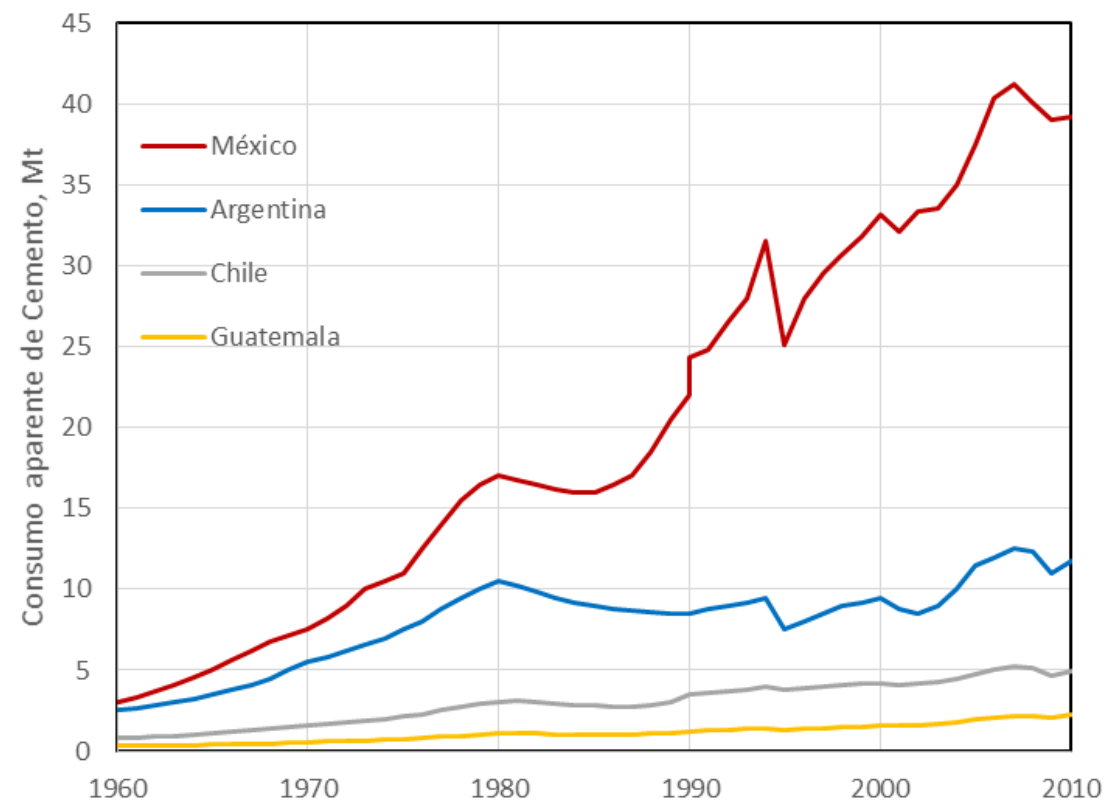
El stock construido



La contribución del pasado

La incidencia de la carbonatación del stock construido en los años anteriores se estima con la producción de cemento y hormigones de 1960 a 2010, y se propaga hacia las próximas décadas.

El efecto depende de el consumo e cemento y los usos en el ambiente construido que son menos documentado}.

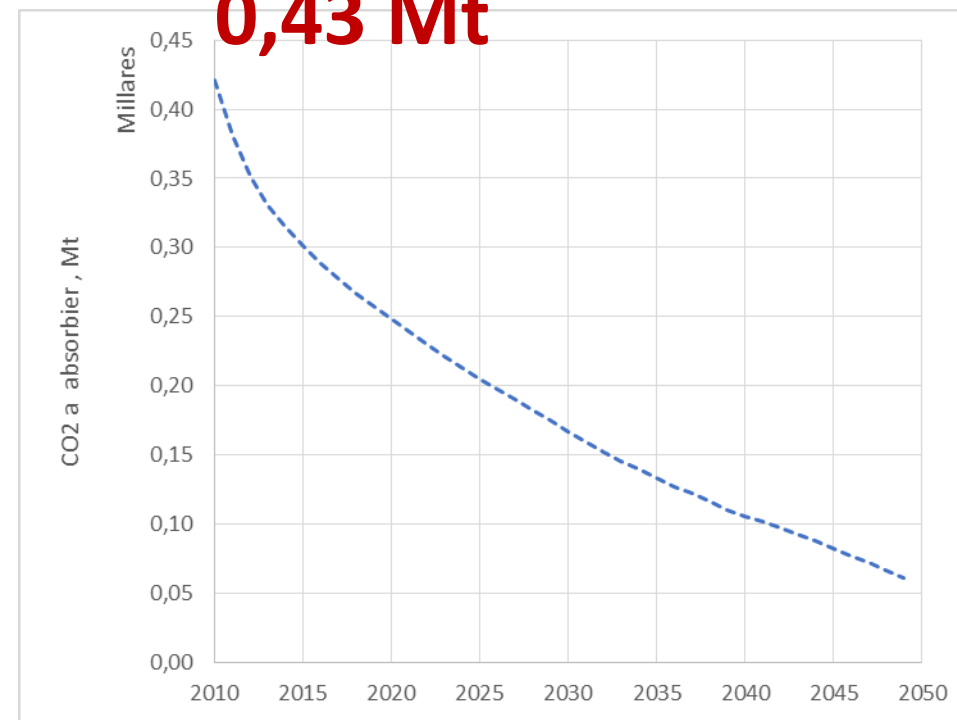
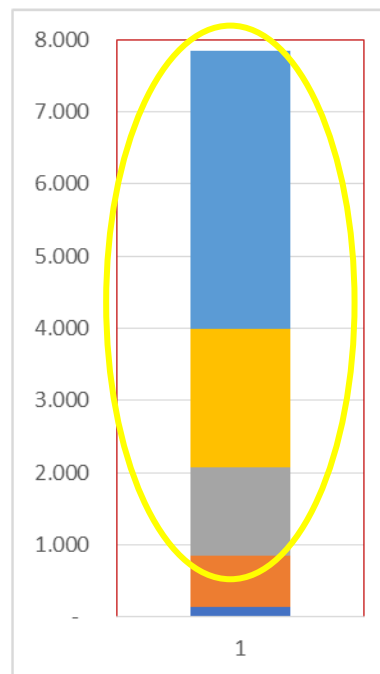
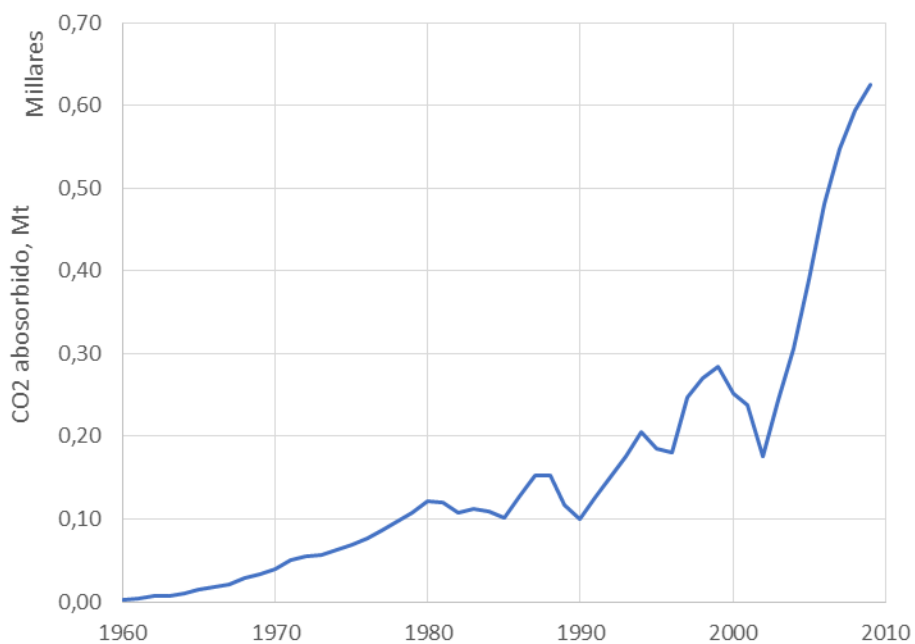




Argentina : CO₂ absorbido

~ 8 Mt – 75 %

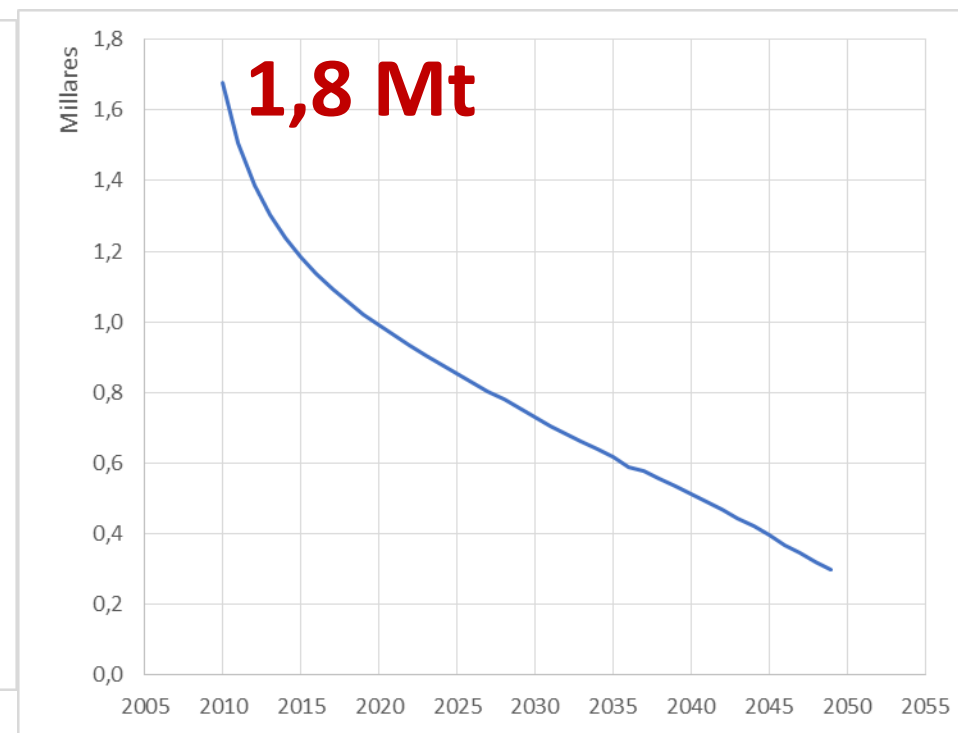
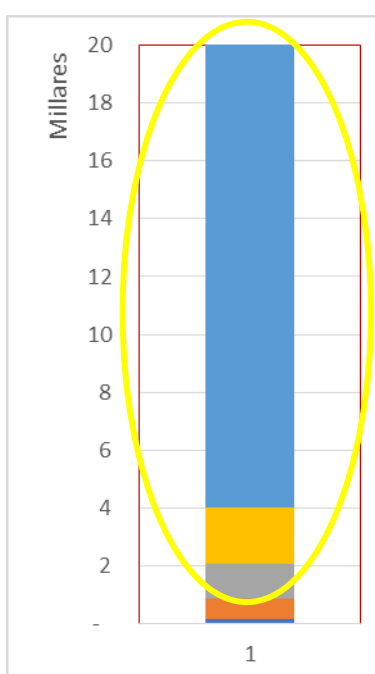
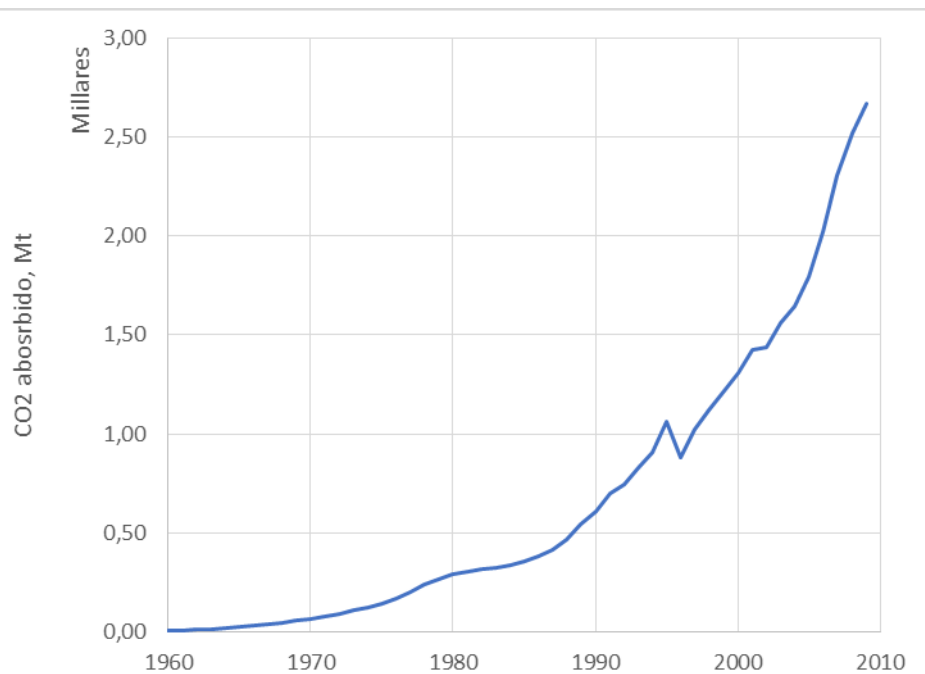
0,43 Mt





México

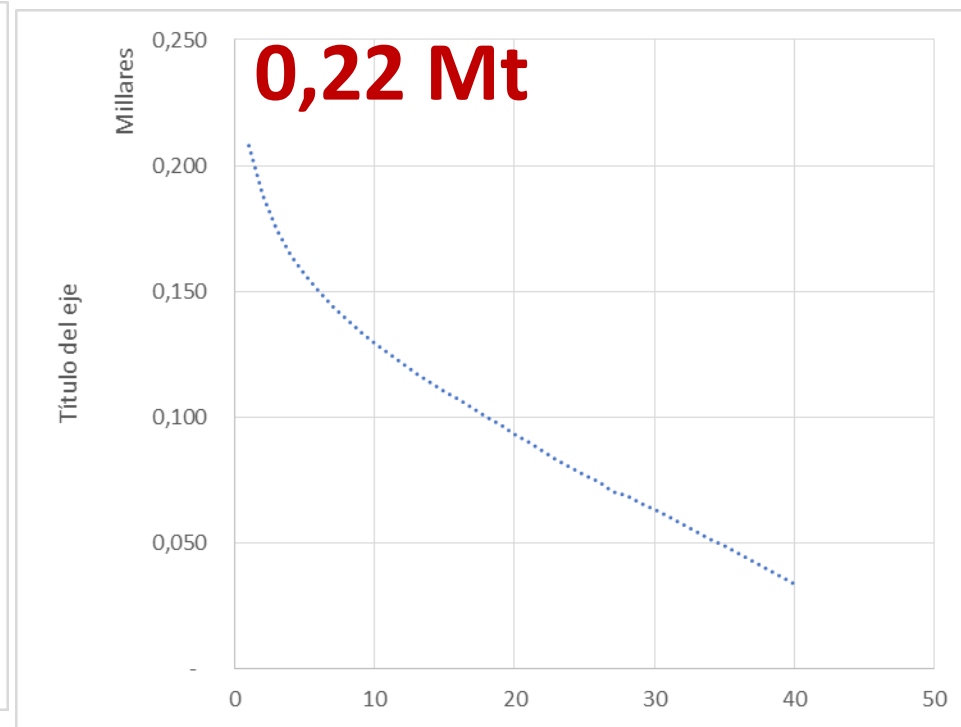
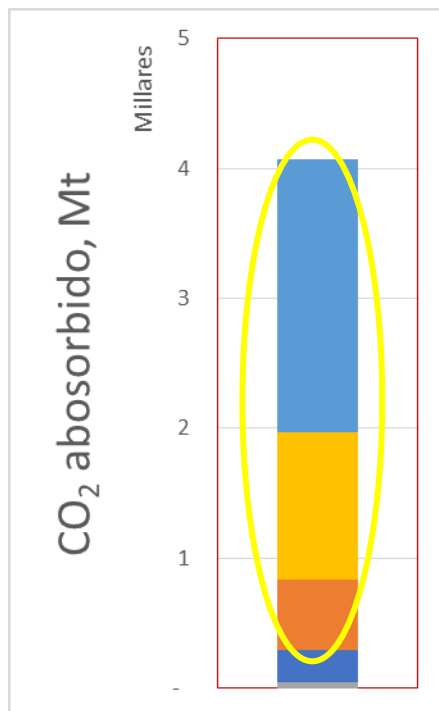
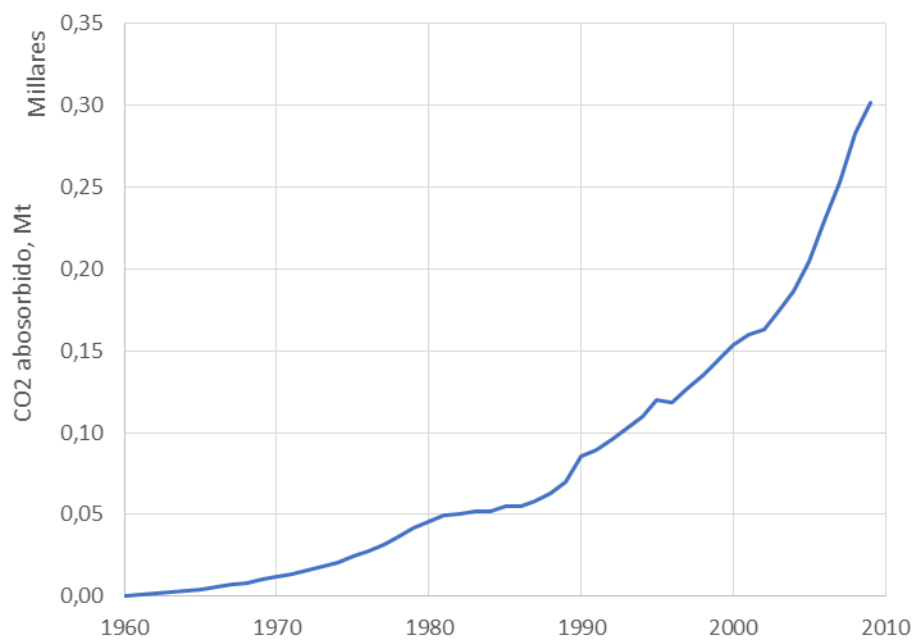
~ 20 Mt – 90 %





Chile

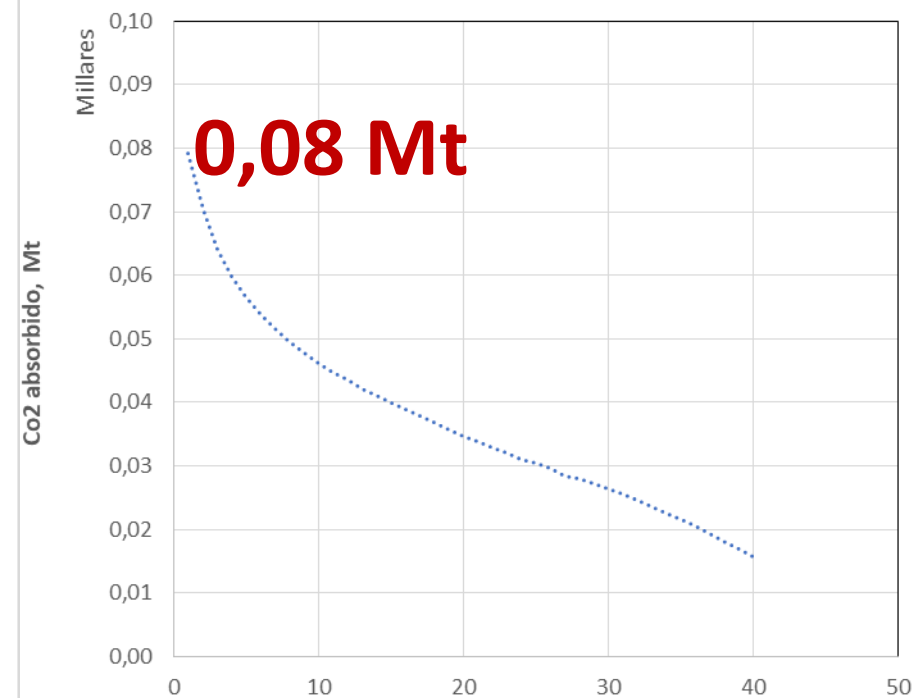
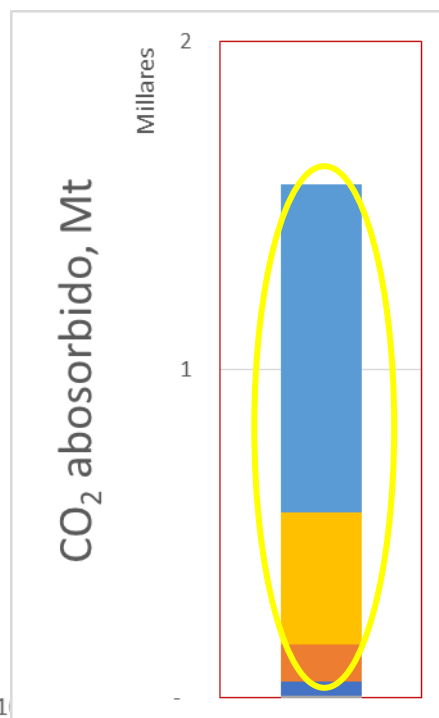
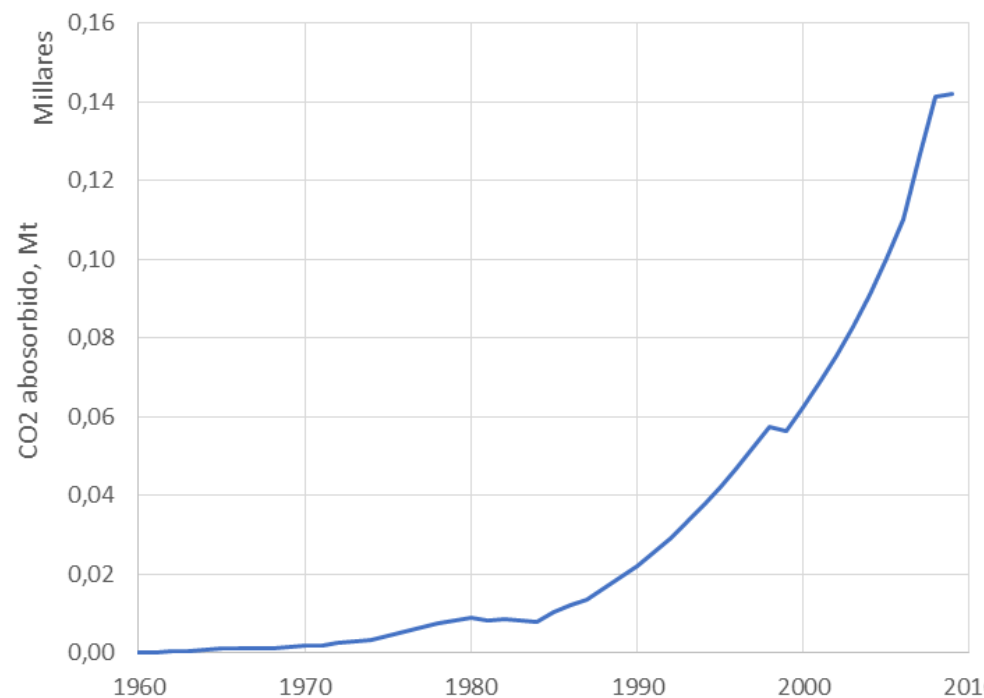
~ 4 Mt – 90 %

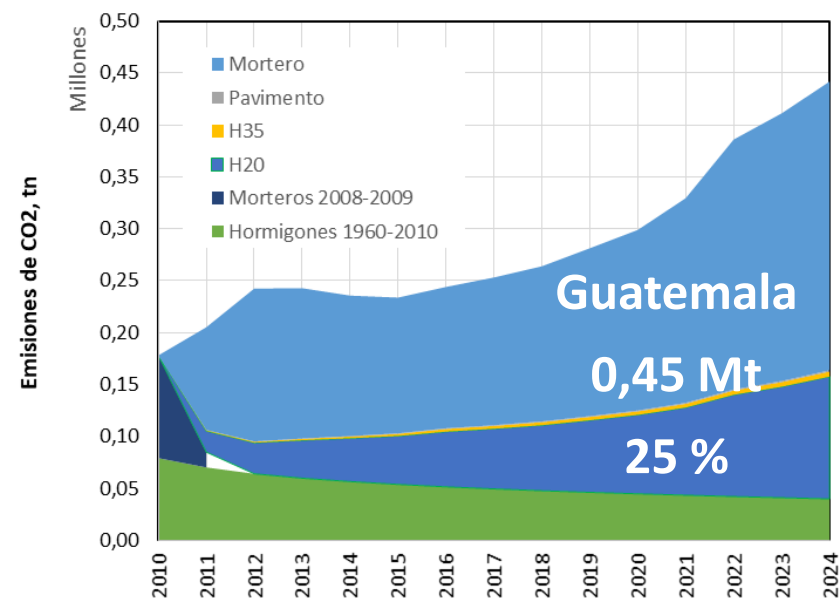
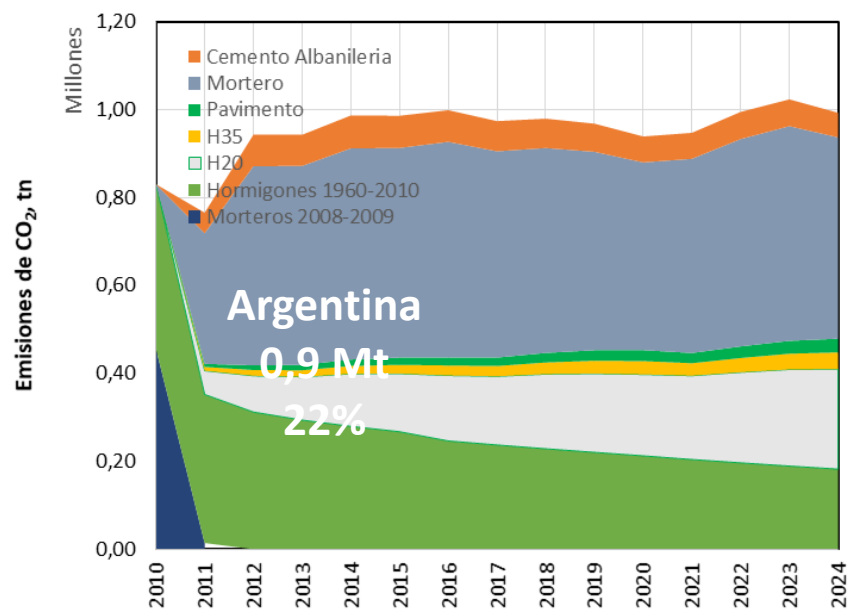
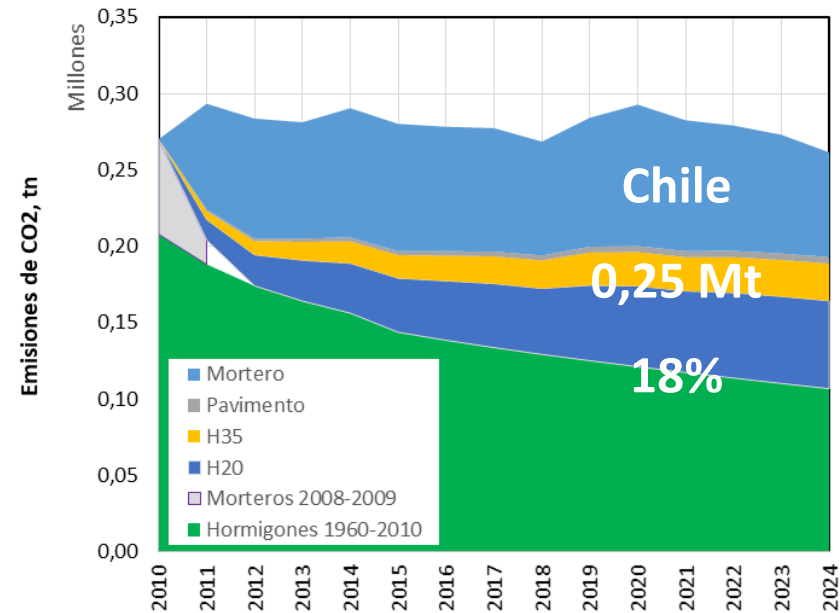
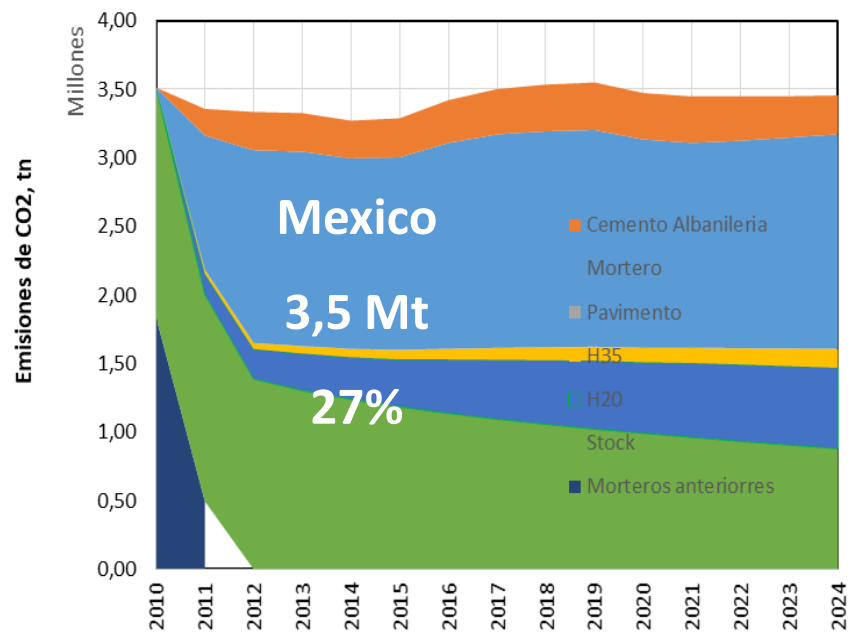




Guatemala

~ 1,3 Mt – > 90 %





Fin de ciclo de vida



La demolición y los agregados reciclados de concreto (RCA)

La composición de la demolición depende de las tipología constructivas del pasado y de la gestión de la residuos.

Con respecto al uso RCA:

- No hay estadísticas publicadas
- La adopción es **incipiente pero creciente**, con liderazgo de **México**
- El material reciclado es destinado a
 - bases y sub-bases viales
 - rellenos
 - hormigones de baja resistencia
- El uso de RCA es **uno a dos órdenes de magnitud por debajo de países desarrollados**
 - México (~10–20 Mt/año de RCA),
 - Argentina y Chile (1 a 3 Mt/año),
 - Guatemala (<0.3 Mt/año).



La baja escala limita significativamente el impacto del RCA en la reducción neta de emisiones de CO₂ del sector

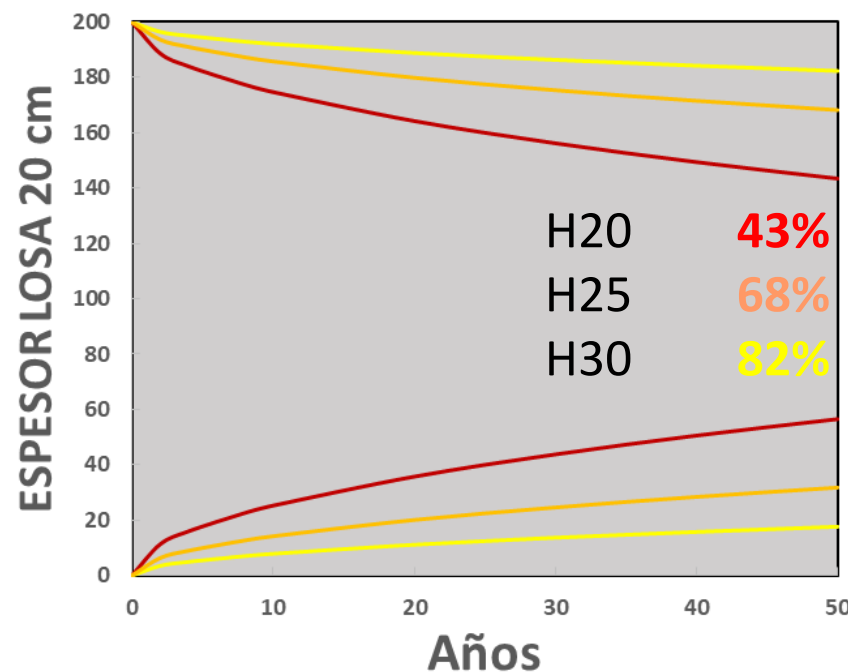


Carbonatación de residuos

Por carbonatación natural (6 a 12 meses) o forzada, los **RCA permiten capturar una elevada cantidad de CO₂** al finalizar el ciclo de vida.

Para 1 m³ de hormigón de pavimento al finalizar su vida útil, **+ 85 % de su volumen** esta sin carbonatar, lo que implica una captura potencial de 50 a 75 kg de CO₂.

El potencial de captura de los agregados gruesos, finos y la pasta de cemento del hormigón requiere de una valoración en el modelo de captura de los materiales cementíceos.





Agregados reciclados

What is waste? Banco Mundial

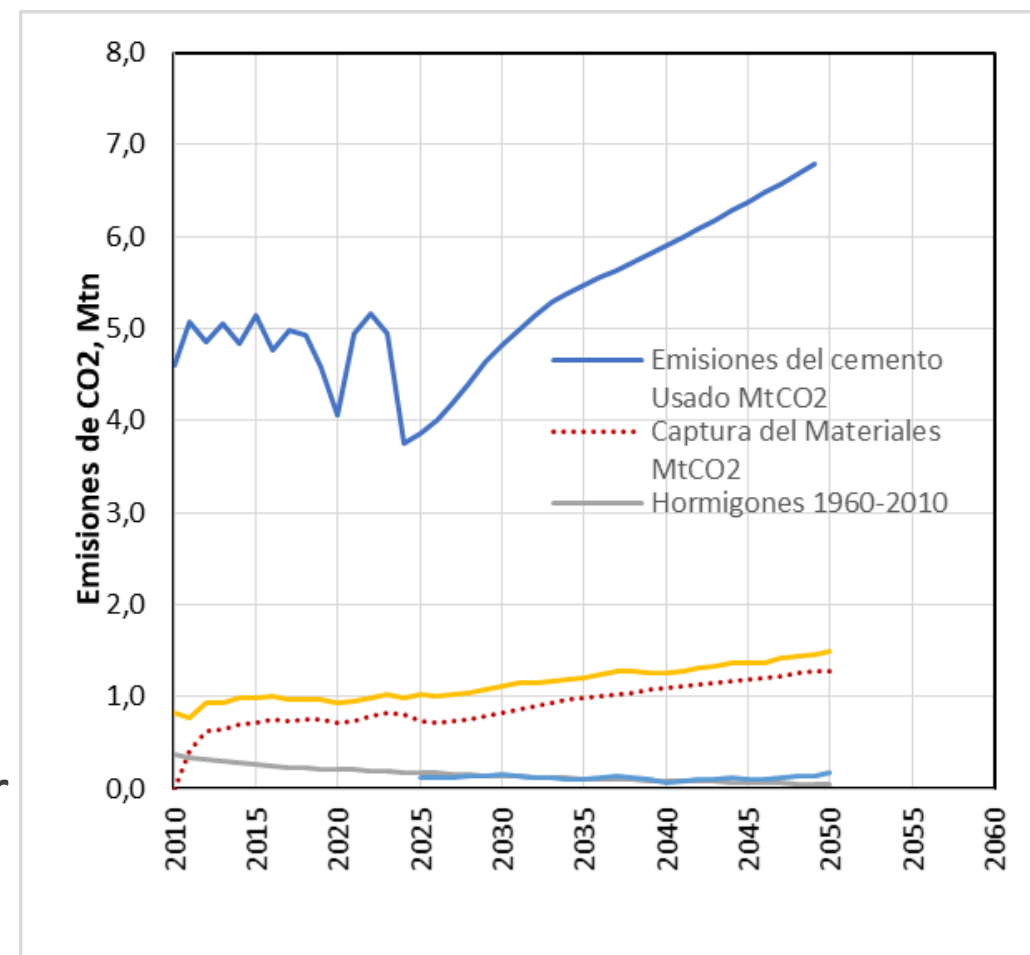
- Residuos del hormigón (3 a 5%)
- Residuos de construcción (100 kg/m²)
- Residuos de demolición (30 kg/m²)

Reciclado de concreto 5 % del stock de 50 años atrás (1960-1980), exposición 6 a 12 meses para carbonatación natural.

Tasa de reciclado 10% como agregado grueso

0,2 a 0,3 Mt de CO₂ capturado

Se deben computar los finos para alcanzar mayor secuestro de CO₂. Carbonatación Acelerada de los lodos y pastas que surgen del lavado y trituración



Resumen



- La **carbonatación natural es un proceso inexorable** en el mortero y concreto.
- El proceso es **mas importante y rápido en morteros** que en hormigones
- El **sector residencial** es el de mayor incidencia en la carbonatación natural.
Debemos conocer mejor el uso del cemento portland en el ambiente construido .
- Para el periodo estudiado 2010-2024, **el porcentaje de absorción de CO₂ es mayor** que el asumido en la hoja de ruta de FICEM
- Para latinoamericana, **la contribución del stock construido es muy significativos** en las tres ultimas décadas.
- EL **reciclado del hormigón y su carbonatación** deber incluirse en la estrategia del sector, ya que su aporte como sumidero es significativo



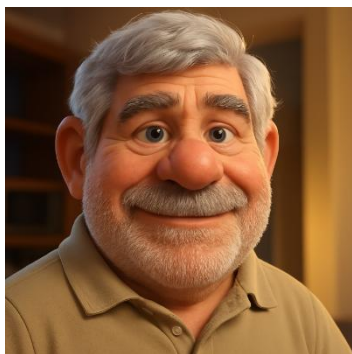
Agradecimientos

- **Matias Polzinetti** (FICEM)
- **Federico Antico** (Universidad Adolfo Ibáñez, Chile)
- **Augusto Holmberg** (Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile)
- **Pablo Vázquez** (Cemento Melón);
- **José Antonio Solares** (Instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala)
- **Plinio Estuardo Herrera Rodas** (Cemento Progreso, Guatemala)
- **Damian Altgelt** (Asociación de Fabricantes de Cemento Portland, Argentina)
- **Enrique De Hoyos Guajardo** (Cemex, México)

-



Muchas gracias por su atención



*"Soñar juntos es el comienzo.
Mantenerse juntos, el progreso.
Trabajar juntos, el éxito."*

John Lennon