



EJE 11: Recarbonatación Natural

Ing. Edgardo F. Irassar

Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional del Centro
de la Provincia de Buenos Aires

firassar@fio.unicen.edu.ar

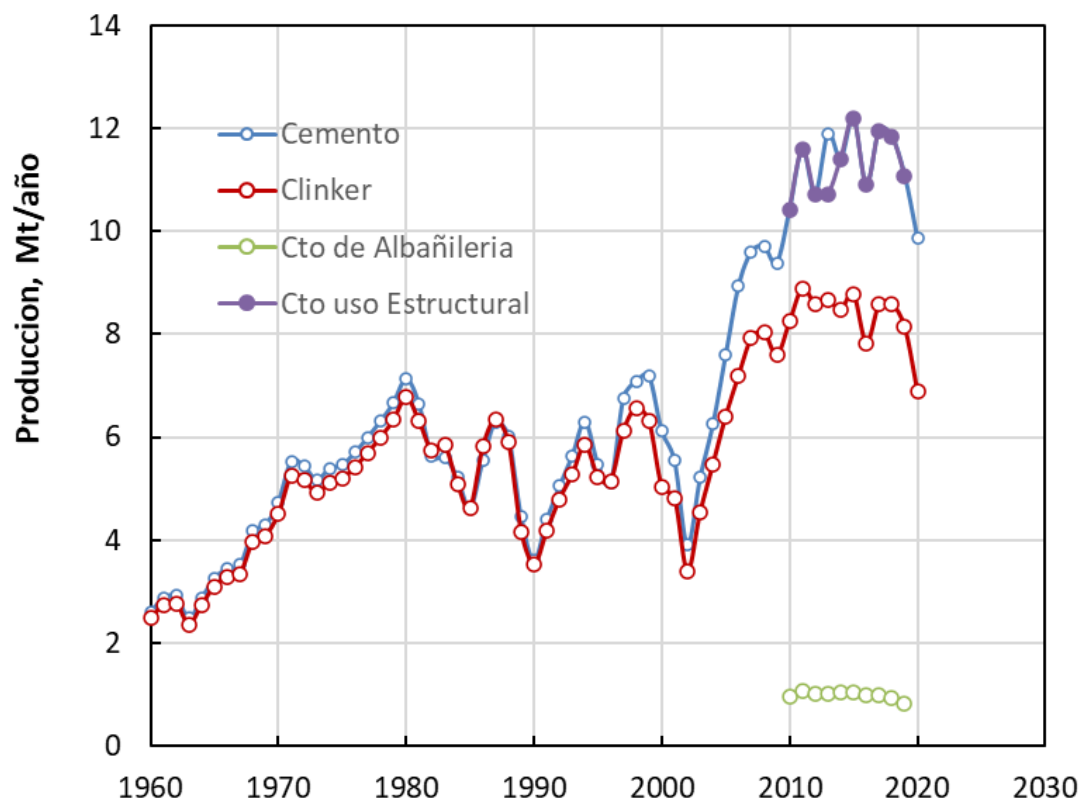
2022-2025

Introducción

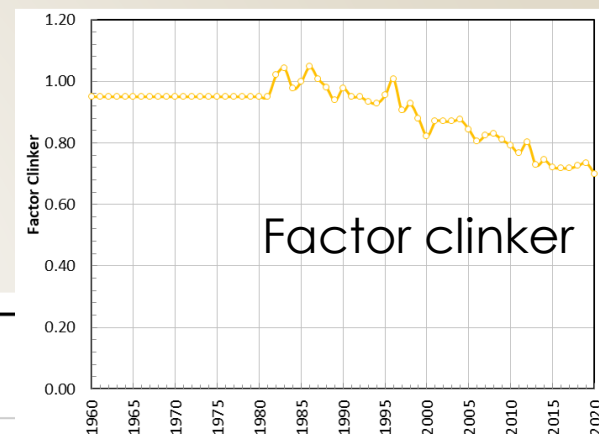
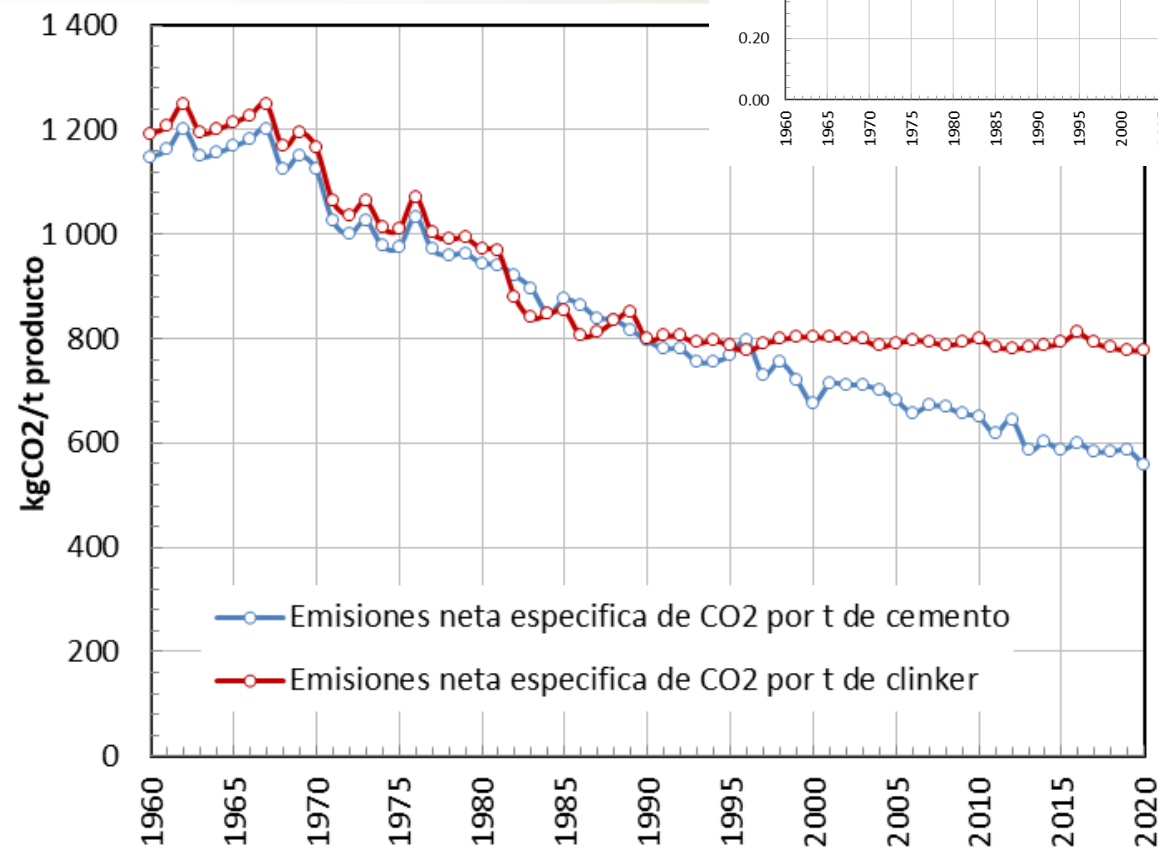
- La recarbonatación o carbonatación de los materiales cementicios es un proceso bien conocido en el ambiente construido.
- El IPCC reconoce la carbonatación del hormigón en su Sexto Informe (AR6 WG1, Bases Físicas, Capítulo 5) como un sumidero de emisiones CO₂ y se incluyó en el Presupuesto Global de Carbono en 2020.
- Actualmente, no existe un método del IPCC para el cálculo de las estimaciones nacionales del sumidero de CO₂ debido a la carbonatación del hormigón.

Producción de clinker y cemento

Producción



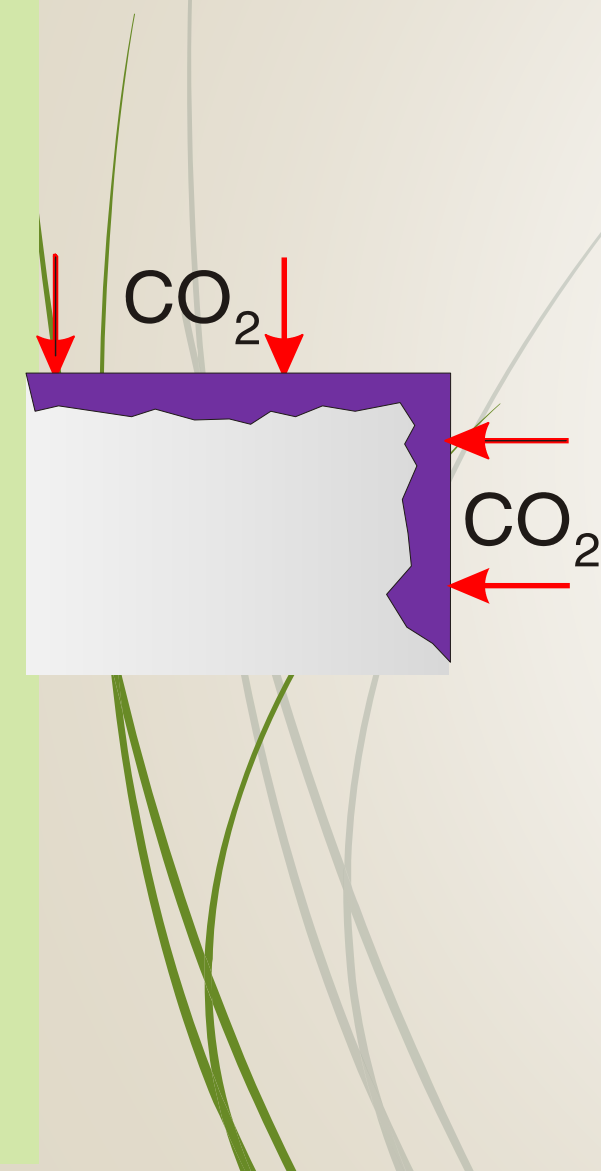
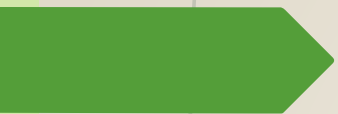
Emisiones unitarias

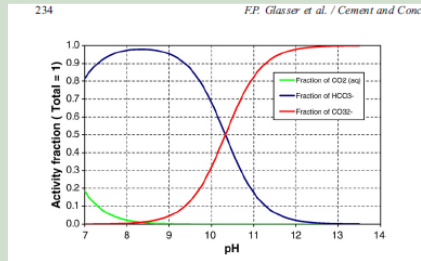


Las emisiones están medidas

- Las emisiones calculadas son utilizadas para cuantificar el porcentaje de carbono que será recapturado por carbonatación
- Desde 2006 a 2024 son entre 6 a 7 Mt CO₂ /anuales
- Definiciones sobre los cálculos a futuro
 - % de CO₂ de proceso es (525 kg/tn clinker)
 - % de CaO en el clinker histórico (1960 a 2020)
 - % de CO₂ no incluye el transporte

Carbonatación



Proceso	Reacciones
El $\text{CO}_2(\text{g})$ gaseoso se disuelve en la solución de poros en los materiales cementicios	$\text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{aq})$
El $\text{CO}_2(\text{aq})$ en solución se disocia en diferentes especies iónicas	$\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{OH}^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ $\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$
Estas reacciones obedecen al equilibrio el pH entre la el CO_2 disuelto, bicarbonato y carbonato en las solución de poros.	 <p>Fig. 4. Relative distribution of $\text{CO}_2(\text{aq})$, HCO_3^- and CO_3^{2-} as a function of pH at 25 °C.</p>
El CO_3^{2-} en la solución de poros reacciona con otras especies iónicas para precipitar fases de carbonato ($K_{\text{ps}} = -8.48$ a 25 °C).	$\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{CaCO}_3(\text{s})$

Cinética del proceso

Depende de:

- características del hormigón
- tiempo de exposición
- ambiente de exposición

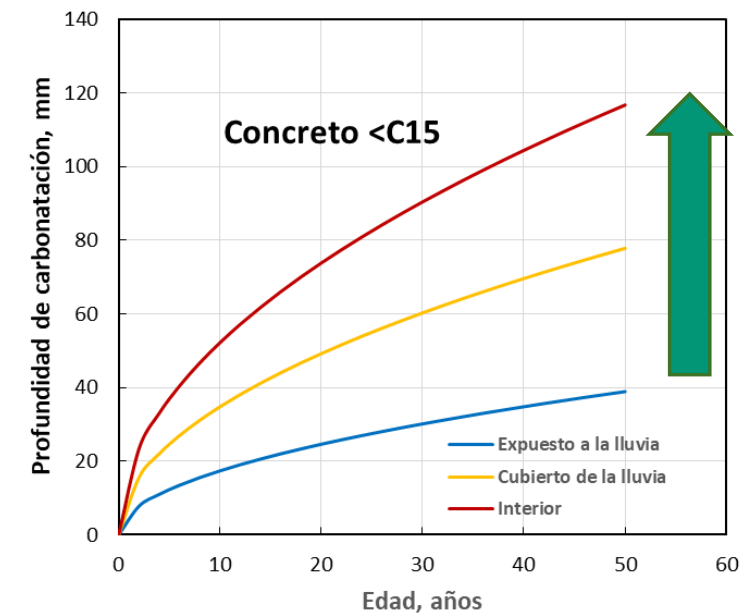
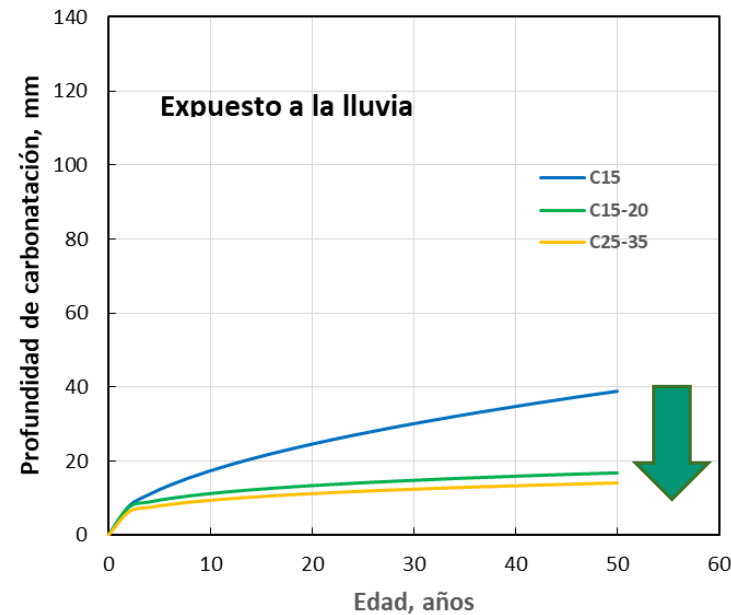
$$x_c = K_c t^{0.5}$$

Donde:

x_c : profundidad carbonatada;

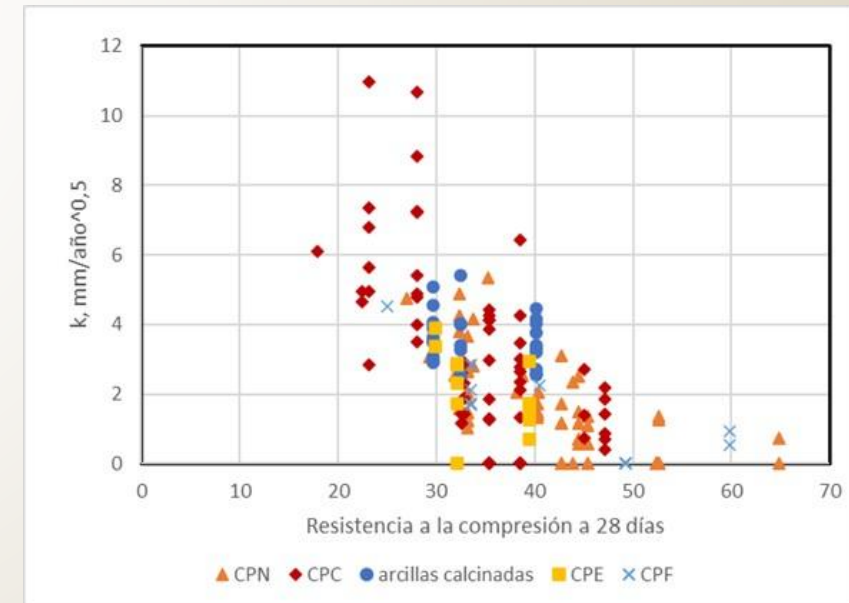
t : tiempo de exposición

K_c : constante que engloba las variables del hormigón y del medio ambiente

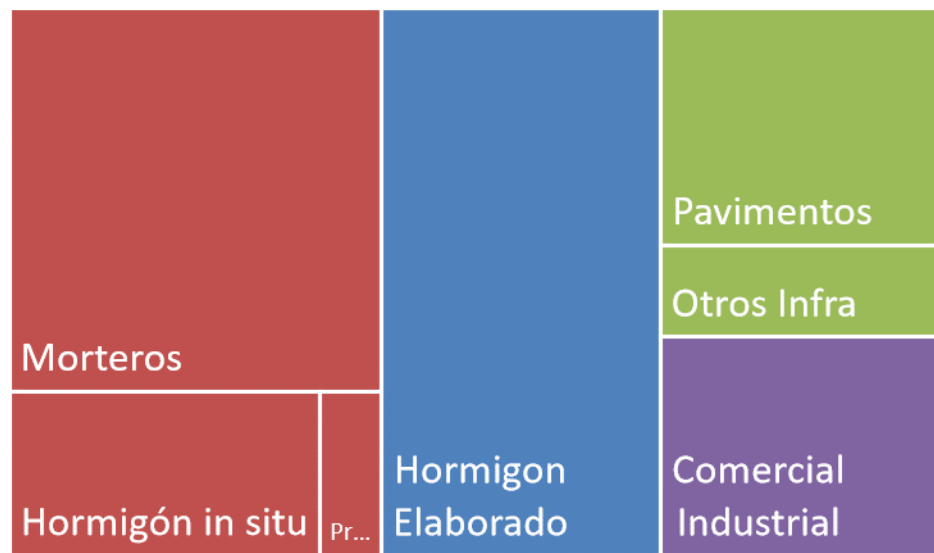


La carbonación natural

- **Ambiente externo**
- **Humedad relativa y temperatura**
 - A una HR muy baja, no hay suficiente agua en los poros para disolver el CO_2 para que ocurra la reacción química.
 - A una HR muy alta, los poros se saturan y, en consecuencia, la difusión de CO_2 se ralentiza significativamente.
- **Concentración de CO_2**
 - El aumento de la concentración de CO_2 acelera la carbonatación.
- **Tipo y contenido de Adciones minerales**
- **Volumen agregado: pasta** Los coeficientes de carbonatación del hormigón de cemento Portland aumenta en n un factor de 1,1 y 1,5 cuando la relación agregado/cemento (a/c) aumentó en un factor de 1,7 y 2,3, respectivamente.
- **Distribución de la porosidad y el tamaño de los poros:** La porosidad está directamente relacionada con la entrada de CO_2 . Se deben considerar: el volumen de poros, la distribución del tamaño de los poros, la tortuosidad y la interconectividad.

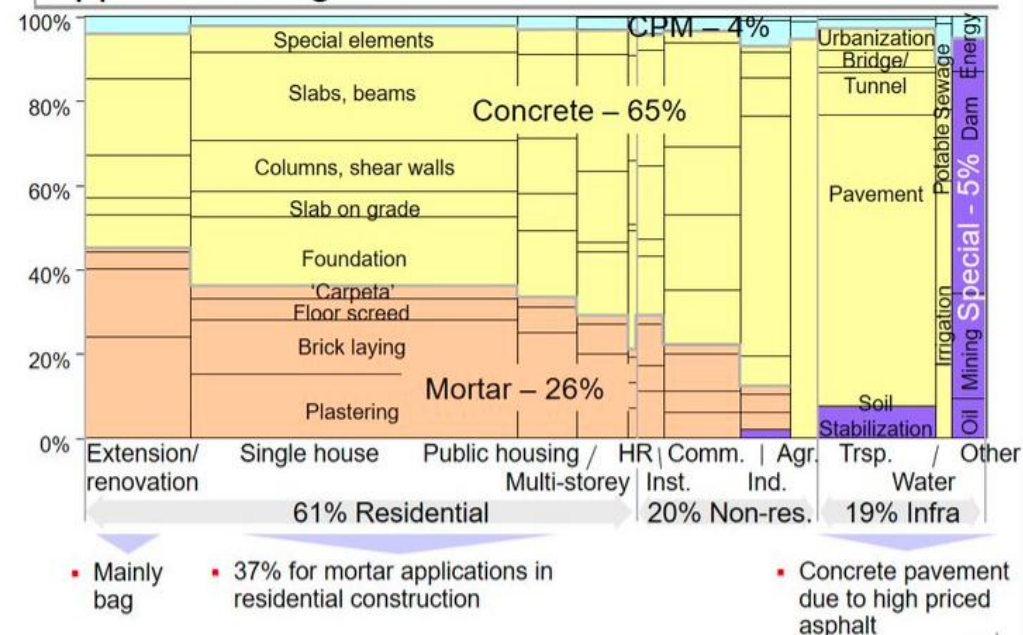


El usos del cemento



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

Application segmentation



Source: SAP, INDEC, ICC, CMA, HVC, Plan nacional de inversiones publicas, market visits
Holcim Group Support SC presentation – PPM Argentina (Minetti)

22.12.2020/CS

Participación del hormigón en la construcción

% de H° por elemento

Tipologías estructurales estudiadas	estructura de HA	losas	vigas	columnas	Fundaciones
Vivienda unifamiliar de una planta	49%	24%	18%	7%	51%
Edificios de dos a seis plantas	70%	35%	26%	9%	30%



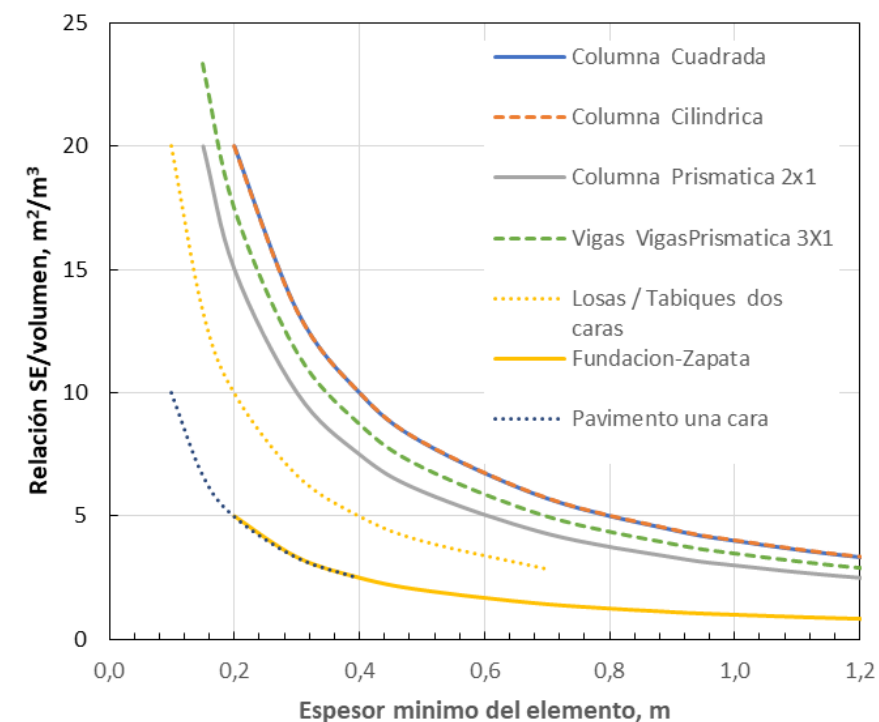
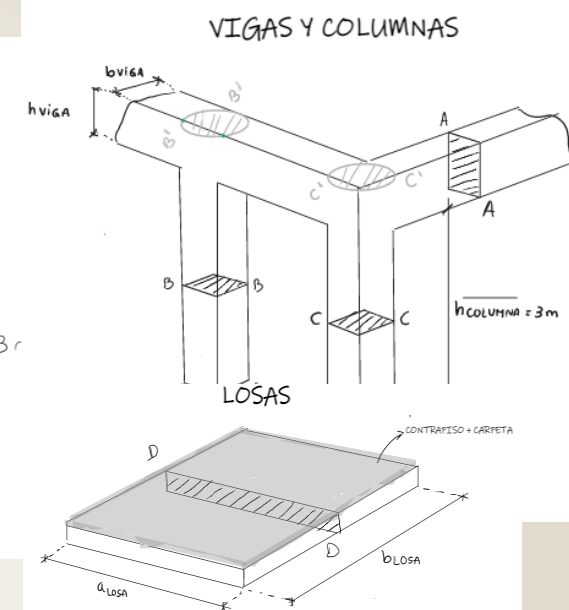
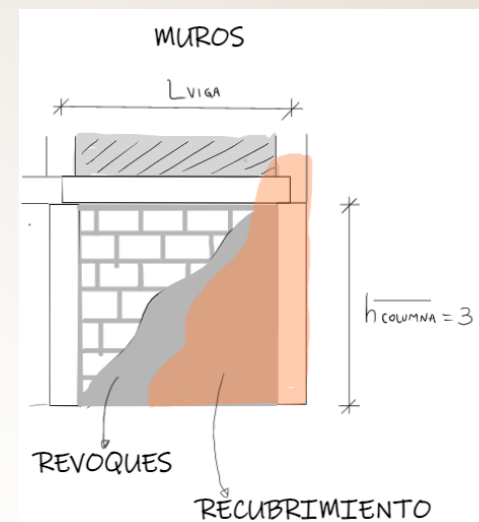
El hormigón utilizado

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



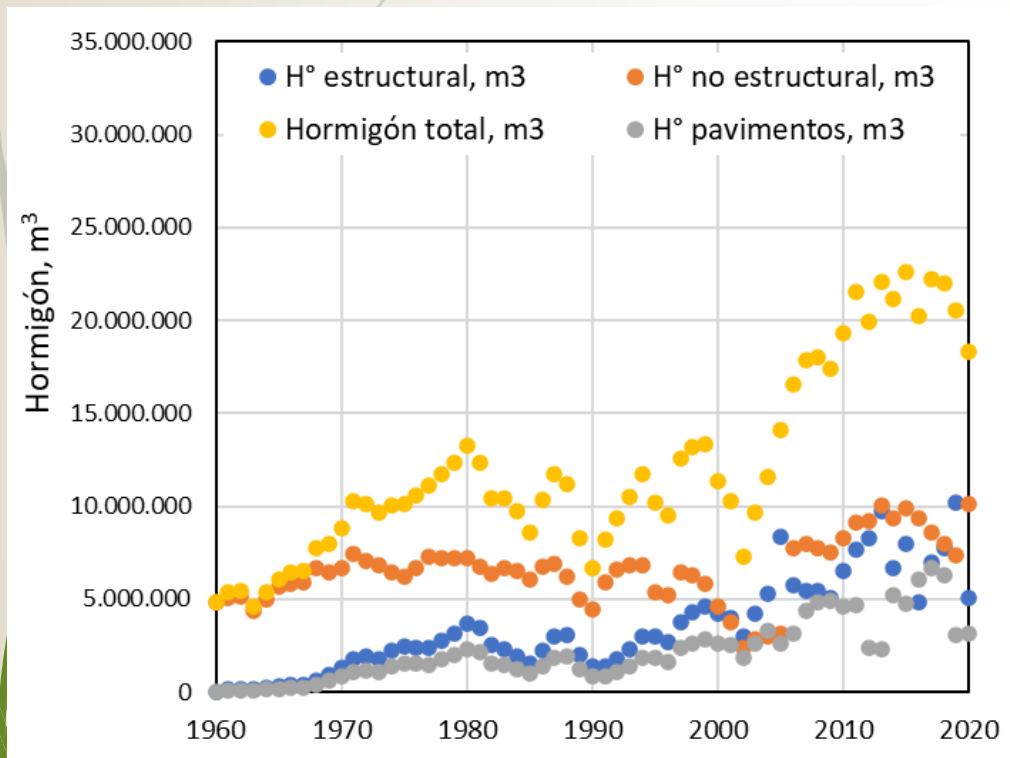
Superficies expuestas

Elemento	Completamente 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



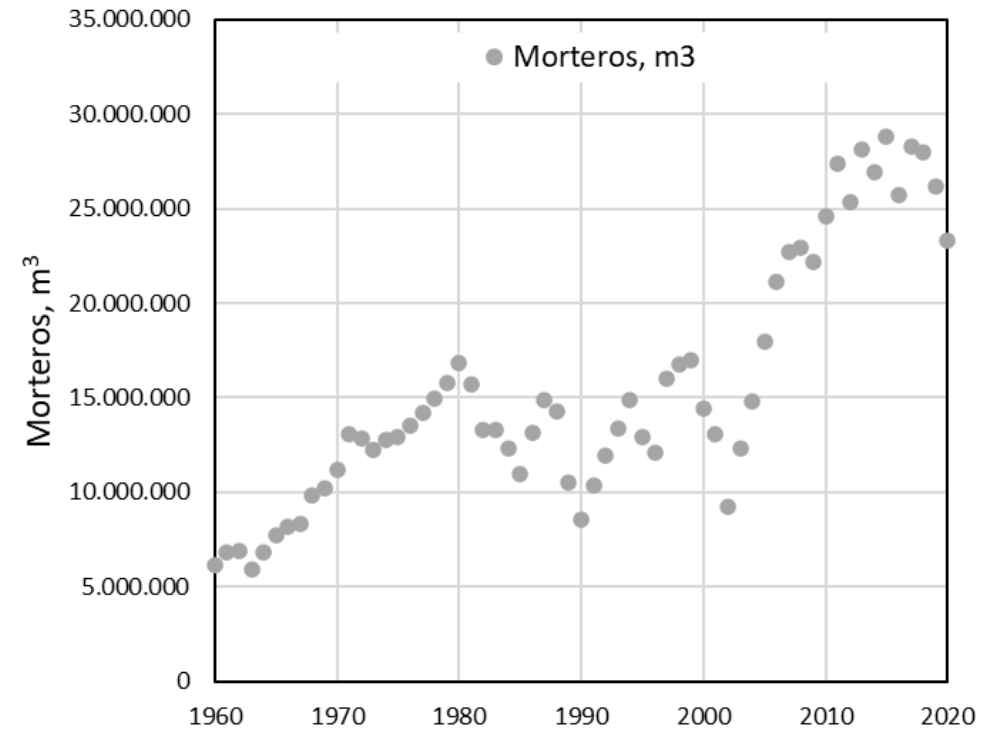
Producción de hormigón y morteros

Hormigones



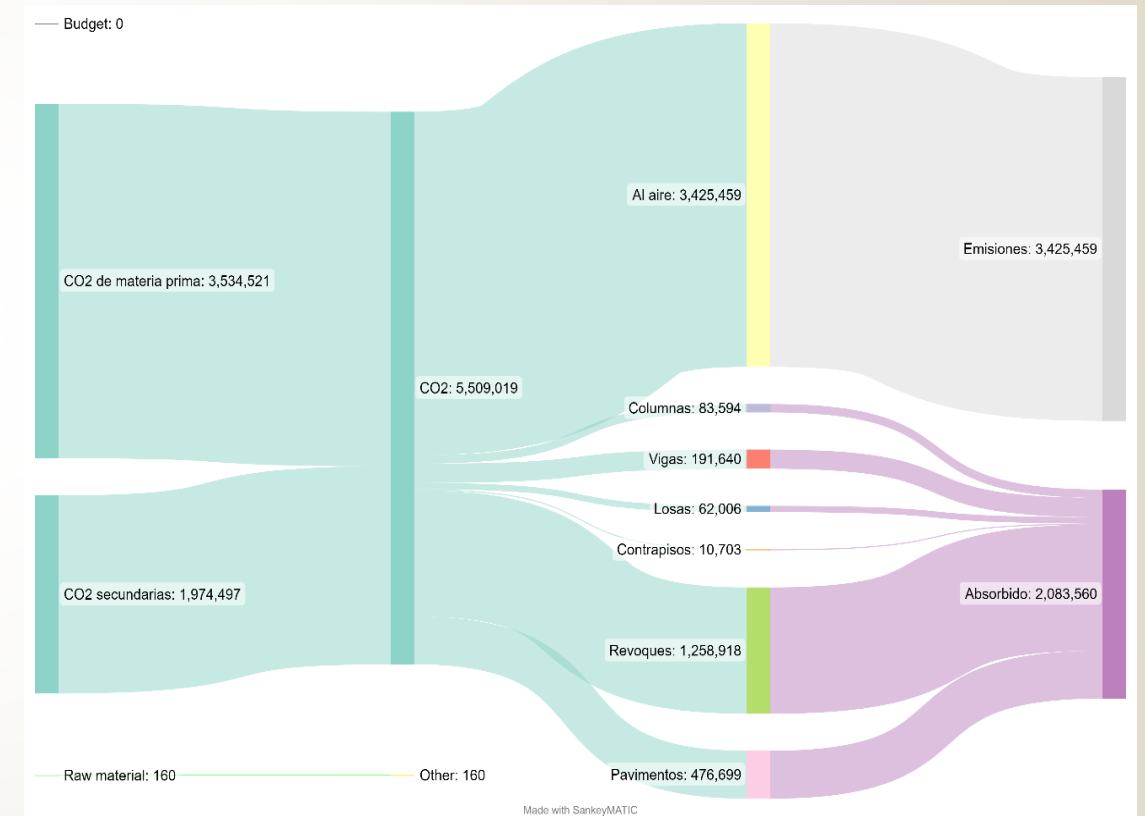
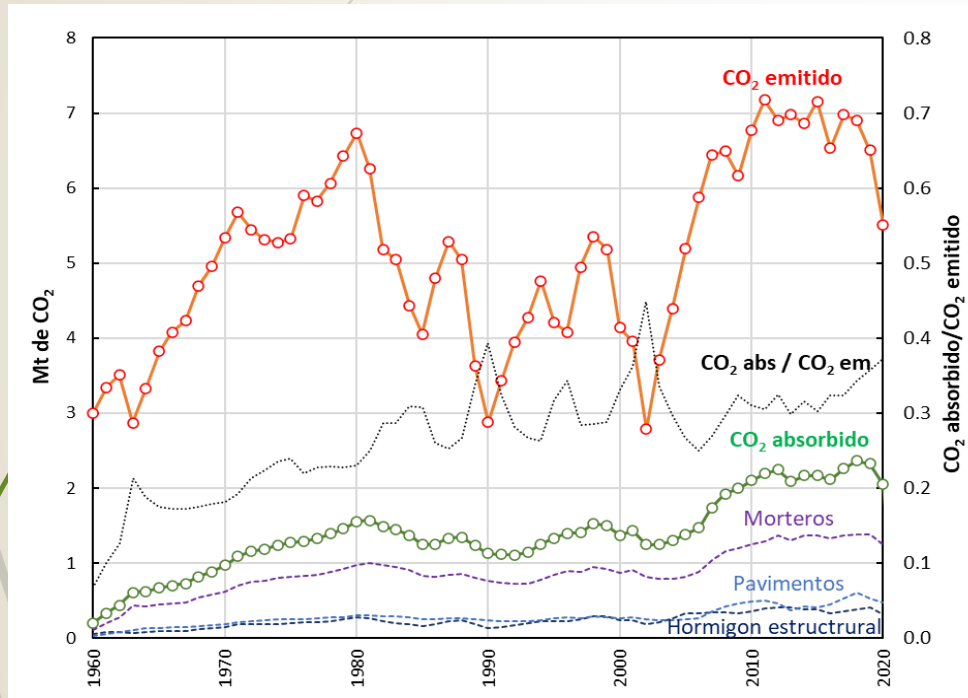
65% del cemento comercializado

Morteros



26% del cemento comercializado

Emision y recarbonatacion





Absorción de carbono: Calculos

Nivel 1 - CO₂ absorbido

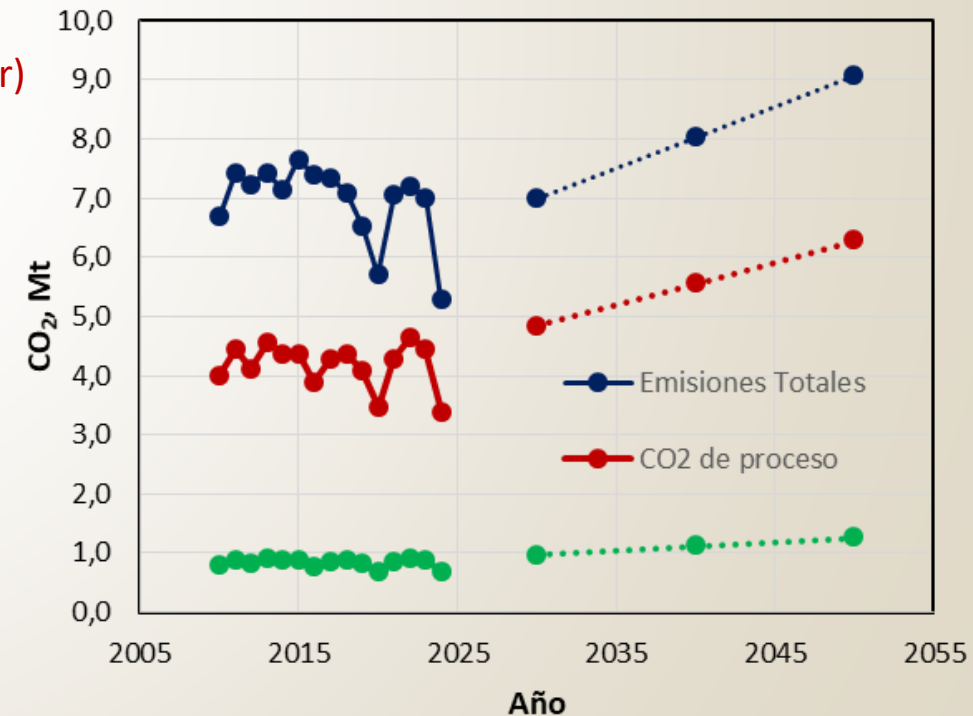
CO₂
demolición

➤ Metodologías sencillas (IVL01)

$$\text{CO}_2 = (0.20 + 0.0115 * (\text{MR} - 10) + (0.01 + 0.02)) \times (\text{CO}_2 \text{ del clinker})$$

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

$$\text{CO}_2 = (0.15 + 0.0115 * (\text{MR} - 10) + (0.01 + 0.02)) \times (\text{CO}_2 \text{ del clinker})$$

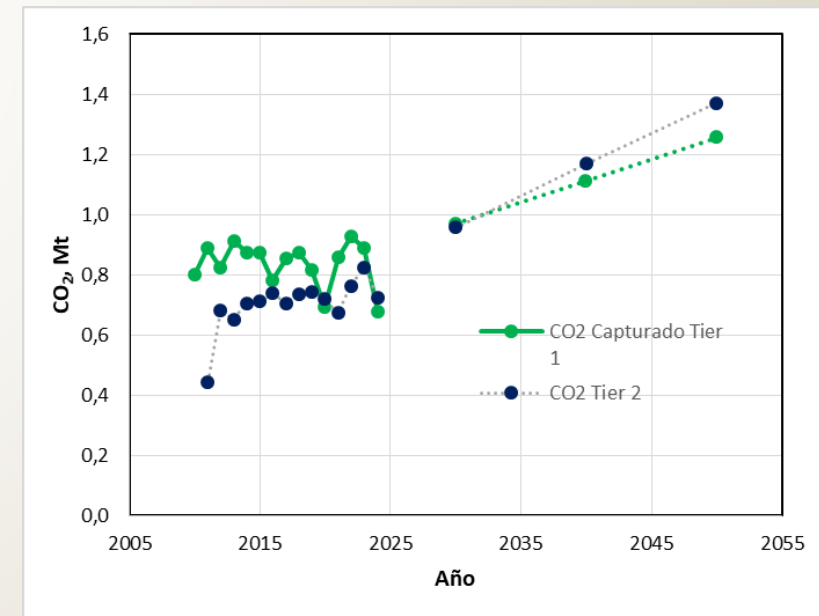


Tier 2 : Basado en norma Europea EN 16757

El modelo es el siguiente

$$CO_{2\text{capturado}} \text{ (kg CO}_2\text{/m}^3\text{)} = (\Sigma(k_i \times DoC_i \times A_i)) (t^{0.5}/1000) \times U_{tcc} \times CUC$$

- k_i es el coeficiente 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 teórico absorción $\text{kg CO}_2/\text{kg cement}$.
- CUC es contenido de cemento en kg/m^3 del hormigón



Para determinar el CO₂ carbonatación

- Uso del cemento en las construcciones
- Tipos de cementos producidos anualmente
- Tipo de concreto y mortero producidos y colocados
- Coeficientes Kc a los 3 o 4 años en de las mezclas el ambiente
- Grado de carbonatación (DoC) con validación real
- Ambientes de exposición de las construcciones
- Tiempo sujetos a carbonatación (por ejemplo tiempo antes de la pintura o revestimiento; vida útil de la estructura)

Manos a la obra





Medición experimental de la recarbonatación en Argentina

Objetivo: Validar y cuantificar la captura real de CO₂ por hormigones y morteros en distintas regiones del país, complementando las estimaciones de la primera etapa.

11 estaciones



Mediciones testigos

Tipos de cementos



Probetas de mortero



Probetas de hormigón



- Exposición de probetas en condiciones exteriores a la intemperie y protegidas.

LA PLATA



OLAVARRIA



ROSARIO



CORDOBA



NEUQUEN



SANTA FE



TUCUMAN



MENDOZA



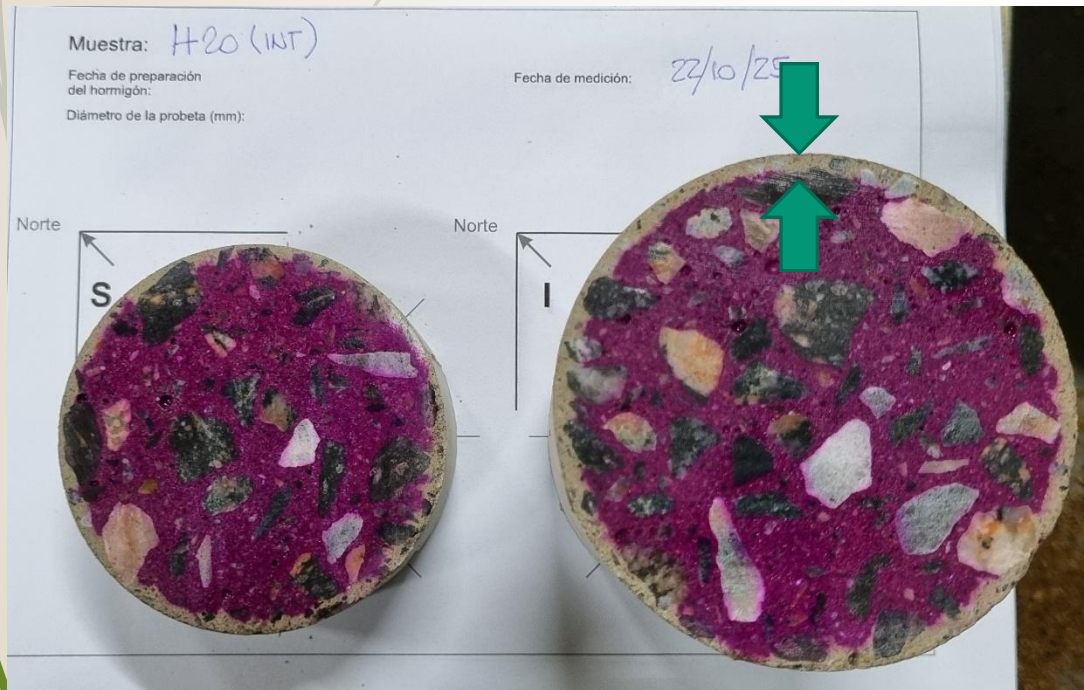
RESISTENCIA



Primero resultados a 6 meses

Profundidad de carbonatación, peso y contenido de CO_2 a 6, 12 y 36 meses

Hormigón



Mortero



Resultados que contribuyen con datos

- **Conocer el ambiente construido en base a estadísticas oficiales**
 - Determinar sistemáticamente el destino del cemento en tipos obras
 - Situaciones regionales donde el consumo de cemento sea de interés (> 5%)
 - Segmentación de los clases de concretos y morteros
- **Determinar el CO₂ secuestrado**
 - Coeficientes de penetración k_c expuesto a ambientes externos regionales
 - Coeficientes de penetración k_c para ambientes internos
 - Coeficientes de penetración k_c en revoques con y sin pintura
 - Comprobación del CO₂ en masa secuestrado por tipo de cemento.

Construyendo el futuro

- Reconocer la carbonatación del ambiente construido como un sumidero de CO₂ en el inventario natural
- Contribuir al desarrollo de datos para implementar un metodología Tier 2 aceptada para IPCC
- Contribuir a la mejora de las construcción con nuevas técnicas mas sostenibles ne termino mensurables de CO₂ y energía embebida
- **Reforzar los calculis con** la captura de la demolición,
Inclusión de los productos de cal efecto del revestimientos de los revoques (pinturas; cerámicos; etc)

Entidades participantes



Muchas gracias por su atención

