

EL HIDRÓGENO DORADO PARA DESCARBONIZAR EL SECTOR CEMENTERO

19 de septiembre de 2023

Léonard Lefranc

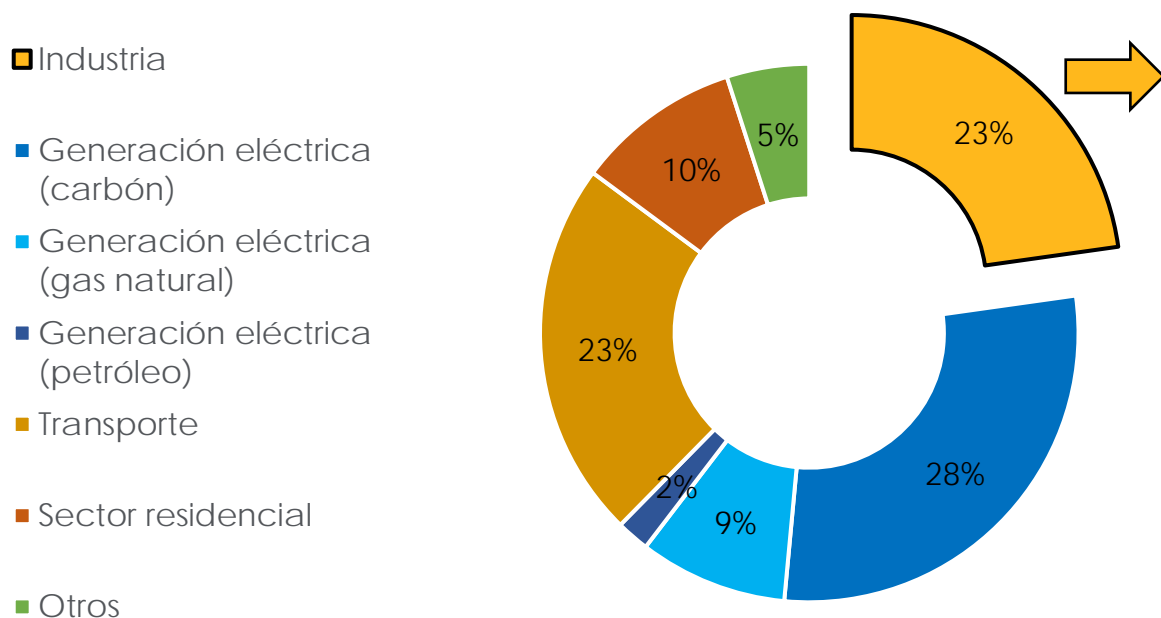
Supervisor:

José Ignacio Linares

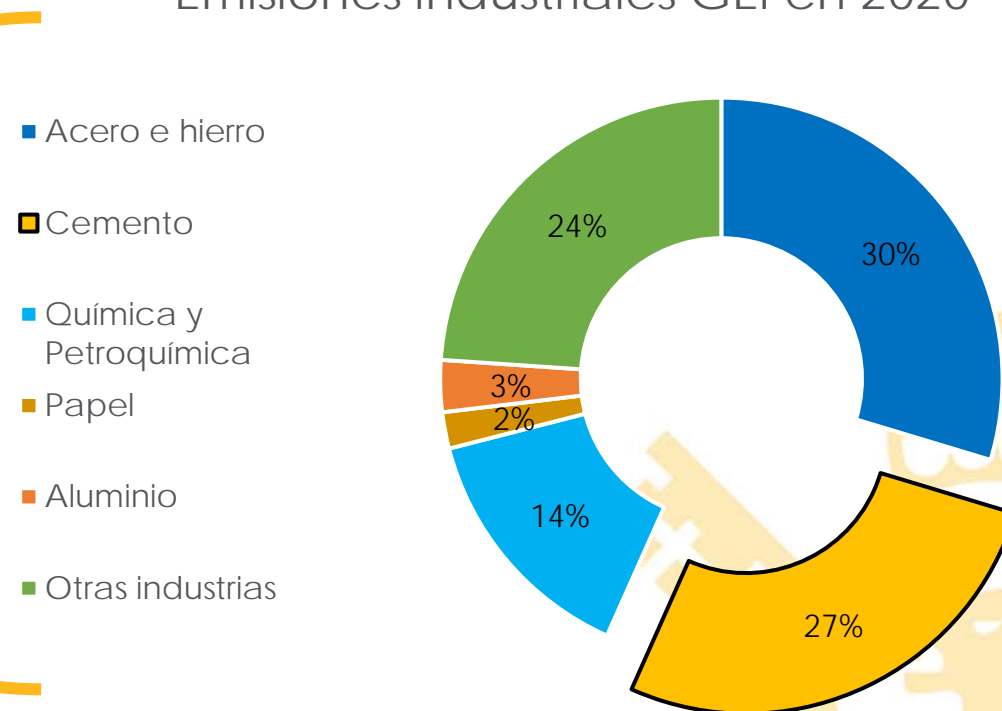
EL CEMENTO

Una industria contaminante

Emisiones globales GEI relacionados a usos energéticos en 2020



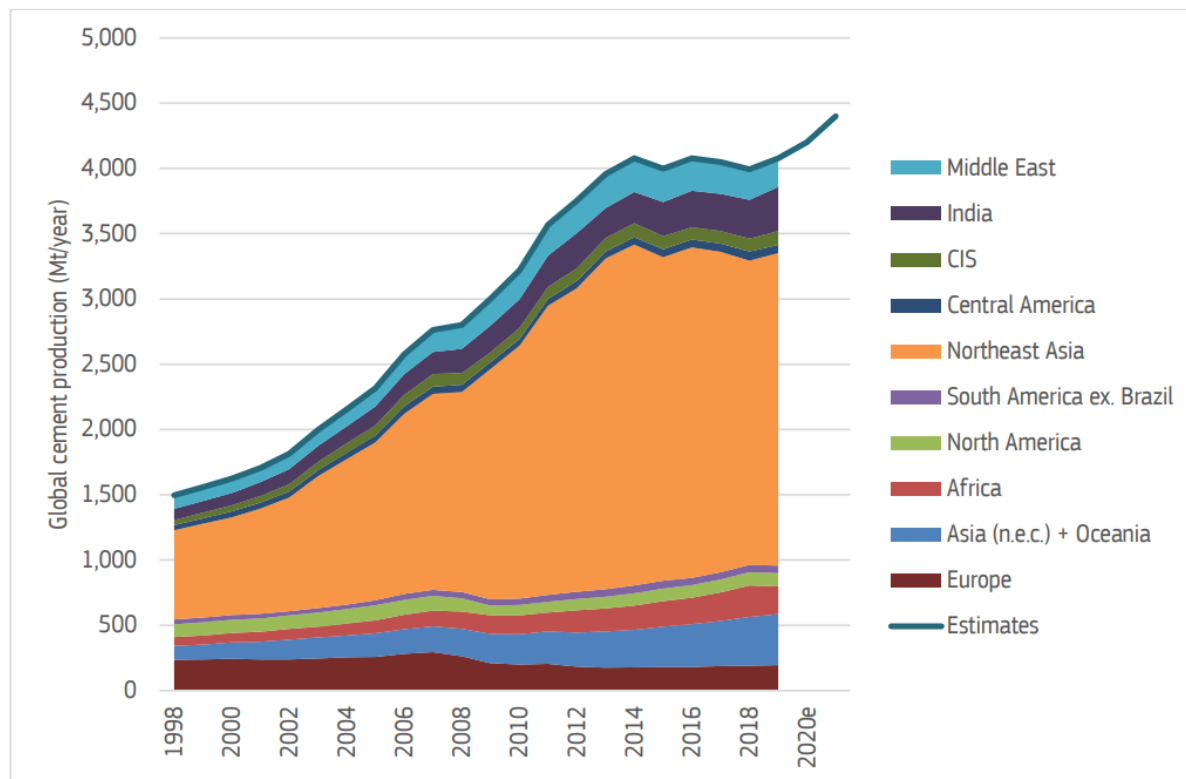
Emisiones industriales GEI en 2020



EL CEMENTO

Un crecimiento continuo

Figure 6 Global cement production, 2008-2020



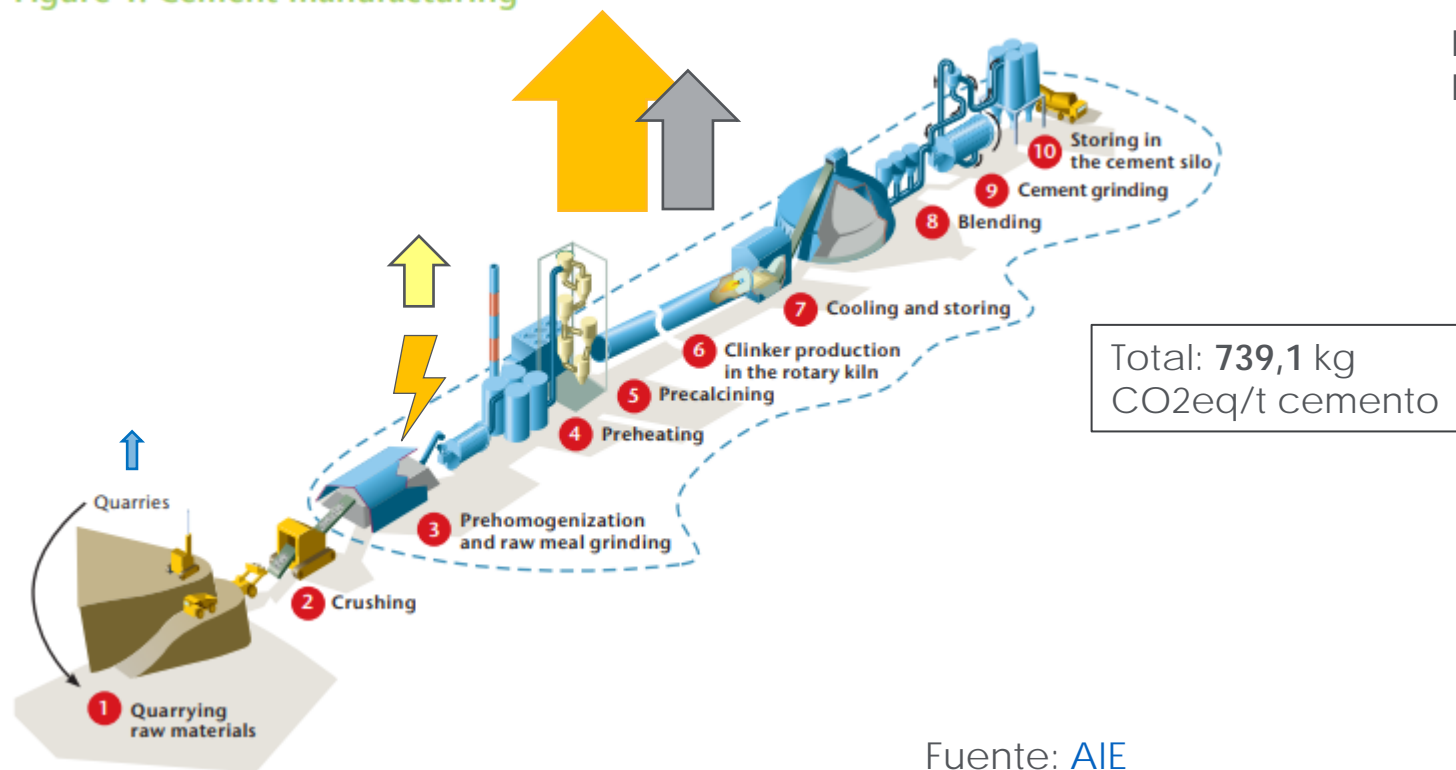
Source: JRC based on [USGS, 2002-2019; USGS, 2022]

- **Economías maduras:** Europa, América del norte, CIS (ex-URSS) → producción estable.
- **Asia del Noreste:** la economía china ya está en las fases más maduras de su desarrollo económico) → producción en estabilización.
- **Economías aún “jóvenes”:** India, África → producción en pleno crecimiento.

EL CEMENTO

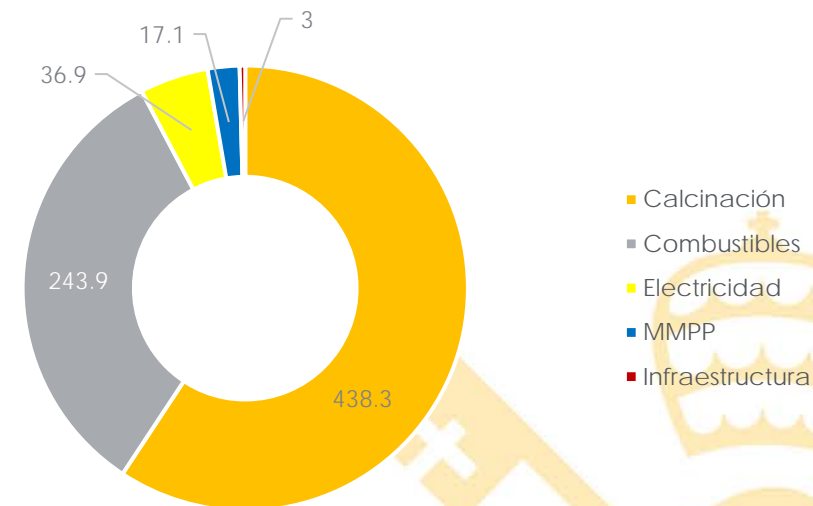
Producción del cemento

Figure 1: Cement manufacturing



Fuente: [AIE](#)

Emisiones de GEI en el ciclo de vida del cemento en España en 2021 (en kg CO₂eq/t cemento)



Fuente: Elaboración propia

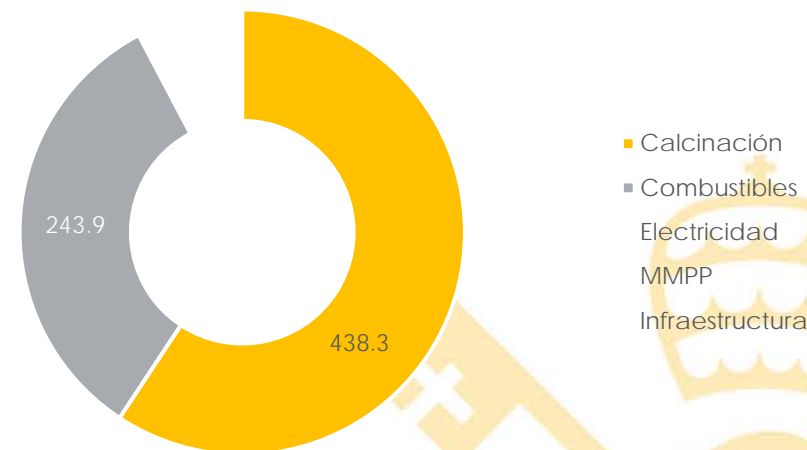
EL CEMENTO

Producción del cemento

Figure 1: Cement manufacturing



Emisiones de GEI en el ciclo de vida del cemento en España en 2021 (en kg CO₂eq/t cemento)

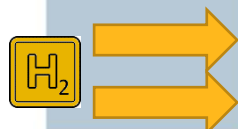


EL CEMENTO

Descarbonización

Resumen ejecutivo

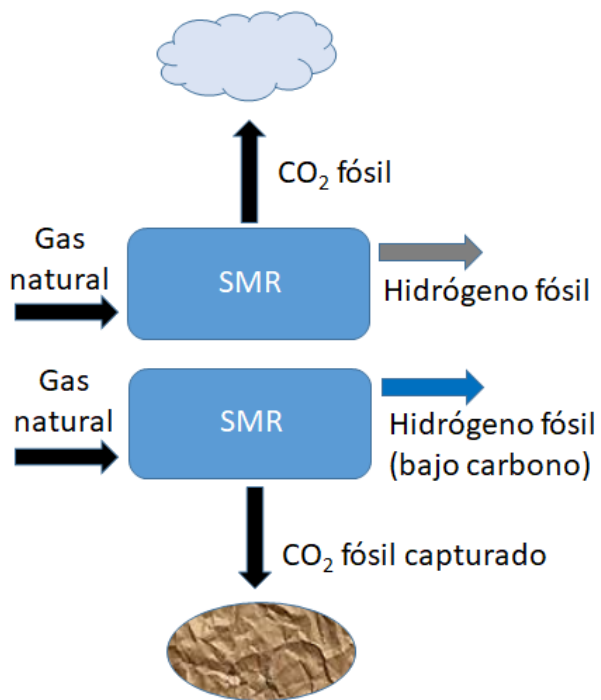
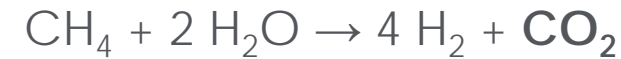
Objetivos medios estimados para el desarrollo de la estrategia de las 5Cs				
Cadena de valor del cemento - 5Cs	Áreas que permiten una reducción significativa de las emisiones de CO ₂	Objetivos		
		2018	2030	2050
5C - Clíinker	Uso de materias primas descarbonatadas	3,15%	5%	8%
	Uso de combustibles biomasa	12%	20%	40%
	Mejora de la eficiencia energética	3.602MJ/tck	3.400MJ/tck	3.000MJ/tck
	Reducción de emisiones de proceso por clínkeres bajos en carbono	0%	2%	5%
	Reducción de emisiones de combustión por uso de hidrógeno y electrificación	0%	0%	10%
	Tecnologías de almacenamiento, captura y uso de carbono. Porcentaje de penetración	0%	1%	50%
5C - Cemento	Adiciones. Evolución del factor clínker	83%	75%	70%
	Origen renovable de la electricidad		50%	100%
	Transportes internos neutros (eléctricos y/o propulsados por hidrógeno)	0%	0%	100%
5C - Hormigón¹	Reducción de la cantidad de cemento por m ³ de hormigón de idénticas prestaciones	0%	5%	10%
	Transporte neutro (eléctricos y/o propulsados por hidrógeno)	0%	0%	100%
5C - Construcción	Eficiencia en el uso del hormigón: mejora en la eficiencia energética de las construcciones (no se contabilizan estas reducciones de CO ₂ ya que se estima que en 2050 toda la energía de los edificios provendrá de fuentes renovables)	n.a.	n.a.	n.a.
5C - (re) Carbonatación	Recarbonatación del hormigón. Según metodología científica publicada y consenso multigeográfico, pendiente de evaluar por IPCC, se considera que en la vida útil del hormigón, un 20% de las emisiones de proceso del clínker son reabsorbidas. Adicionalmente, si el hormigón se tritura al final de su vida útil se recarbonata un 3% más	0%	20%	23%



HIDRÓGENO DORADO

Concepto

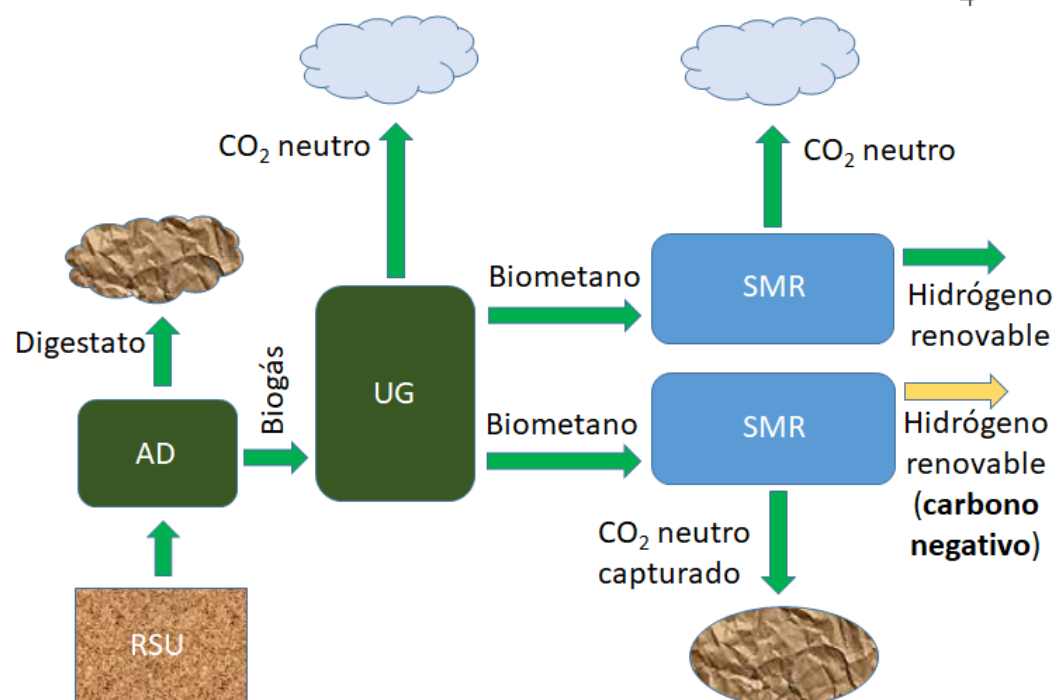
SMR = *Steam Methane Reforming*



HIDRÓGENO FÓSIL

GN+SMR: H₂

GN+SMR+CCS: H₂



HIDRÓGENO RENOVABLE

BM+SMR: H₂

BM+SMR+CCS: H₂

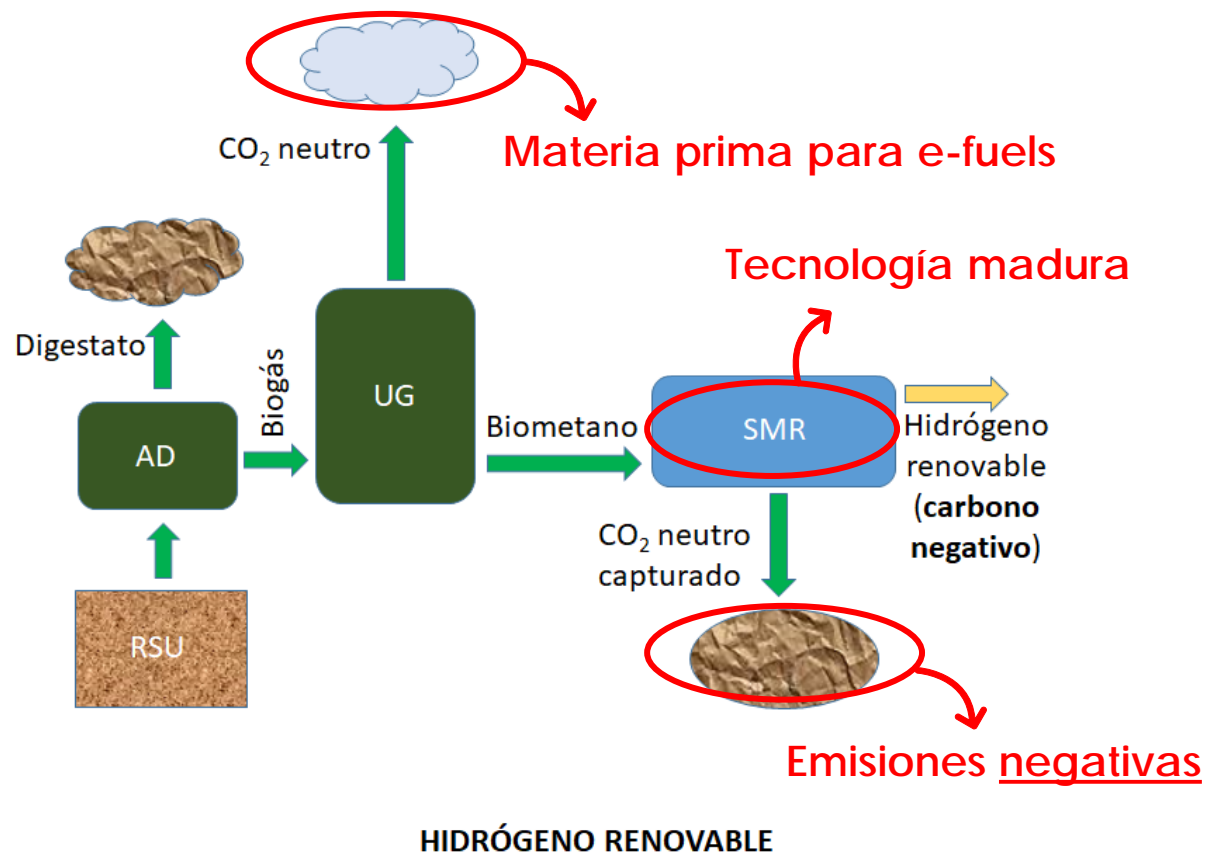
HIDRÓGENO DORADO

Concepto

SMR = *Steam Methane
Reforming*



BM+SMR+CCS: H₂

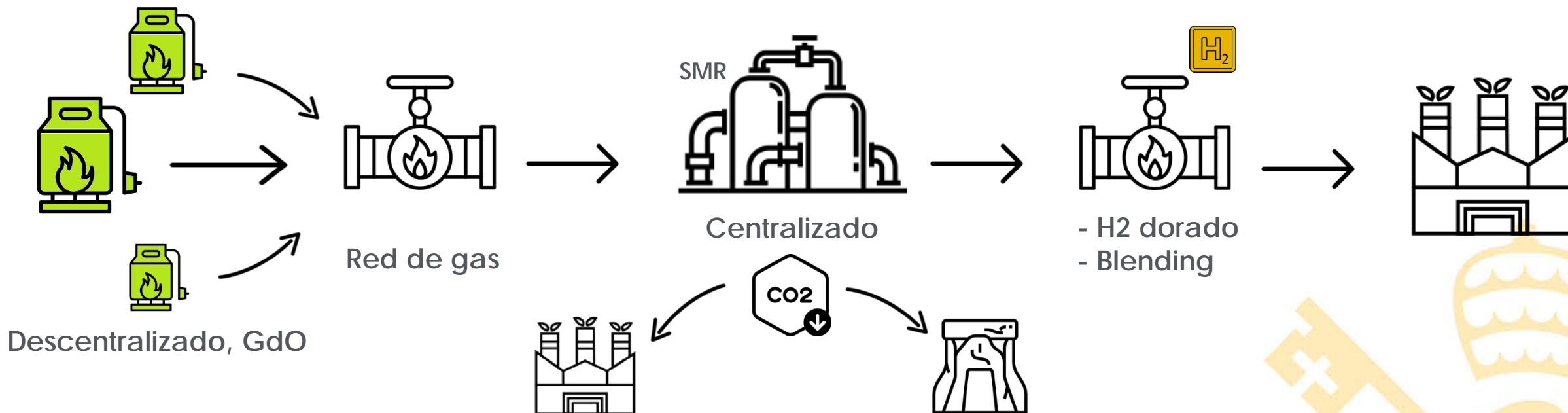


Captura precombustión

Fuente: Elaboración propia

DESCARBONIZAR EL CEMENTO

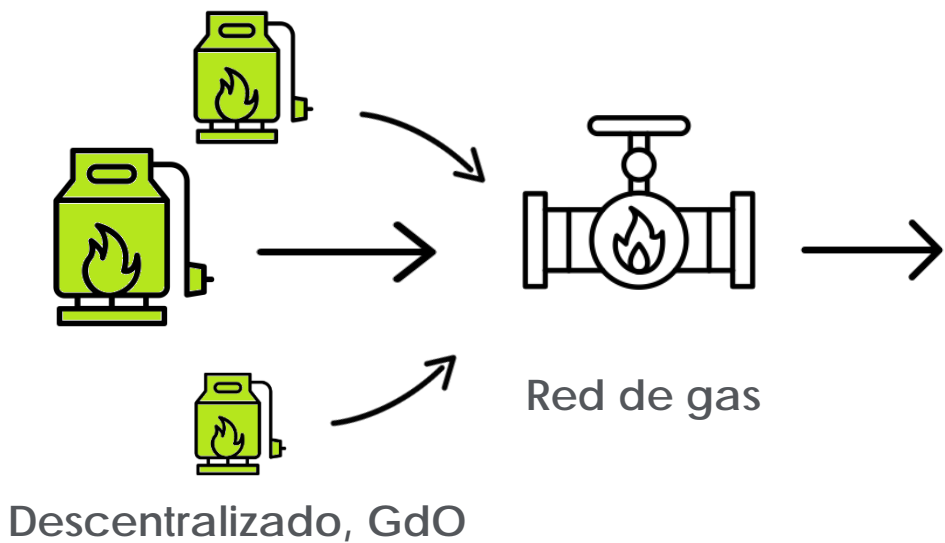
Planteamiento



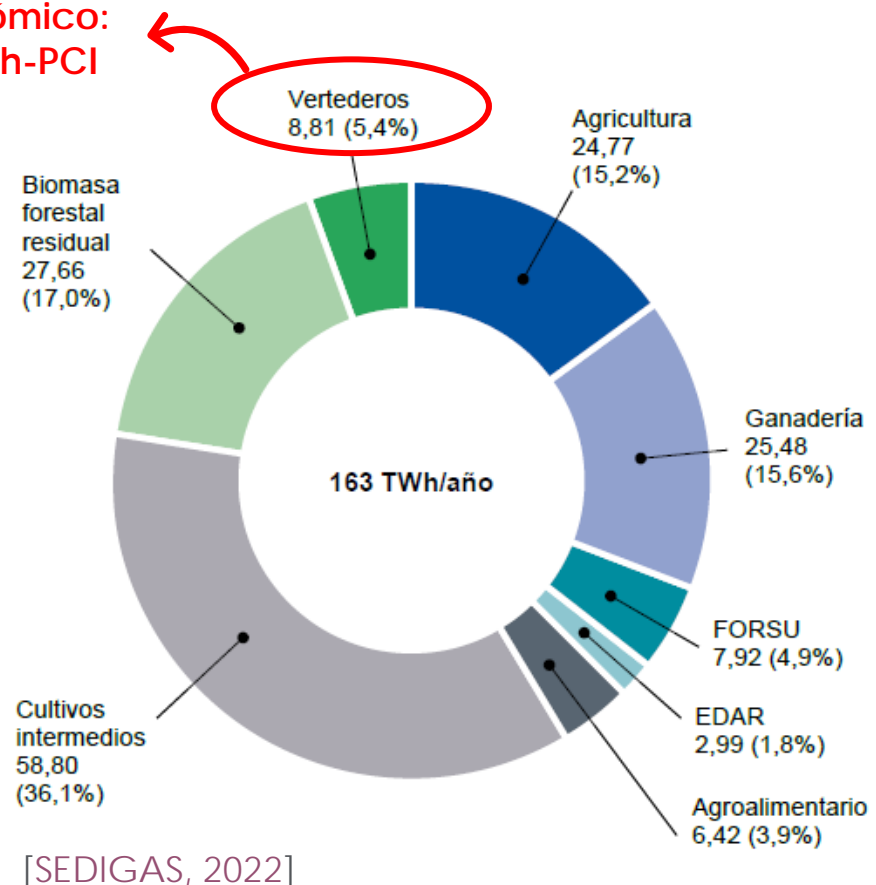
[Arenas, Jornada 2022]

DESCARBONIZAR EL CEMENTO

Aprovechar los residuos

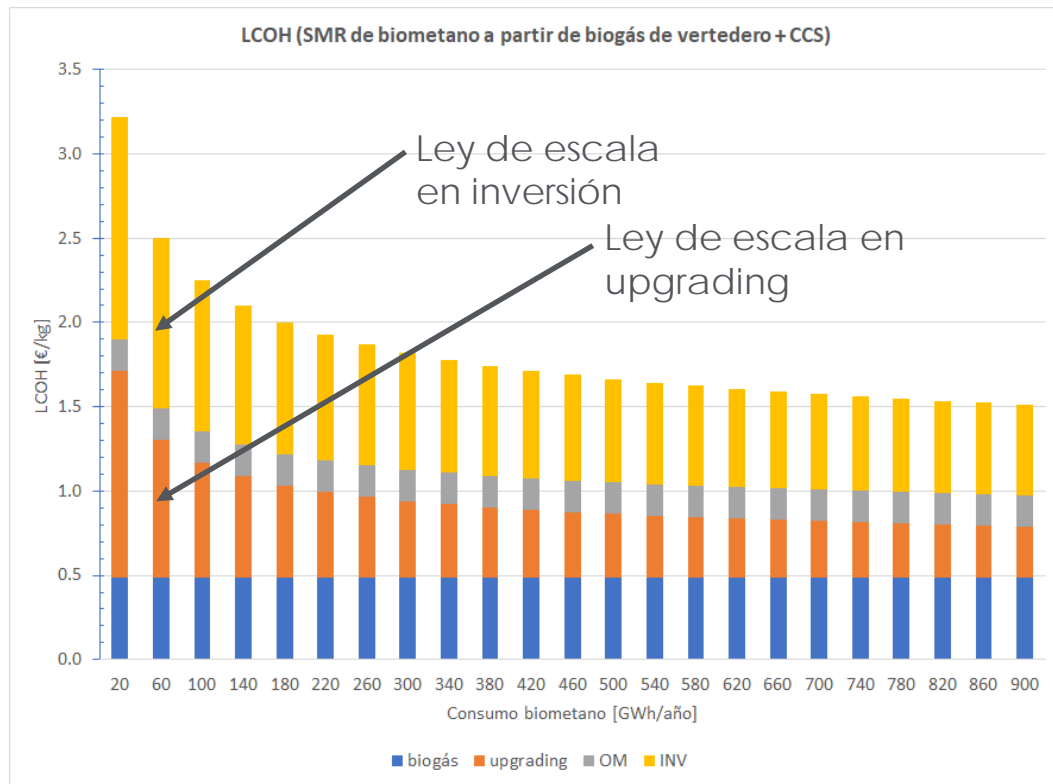
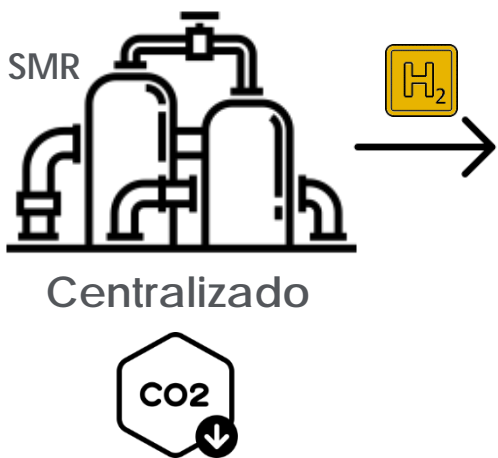


Más económico:
6-10€/MWh-PCI

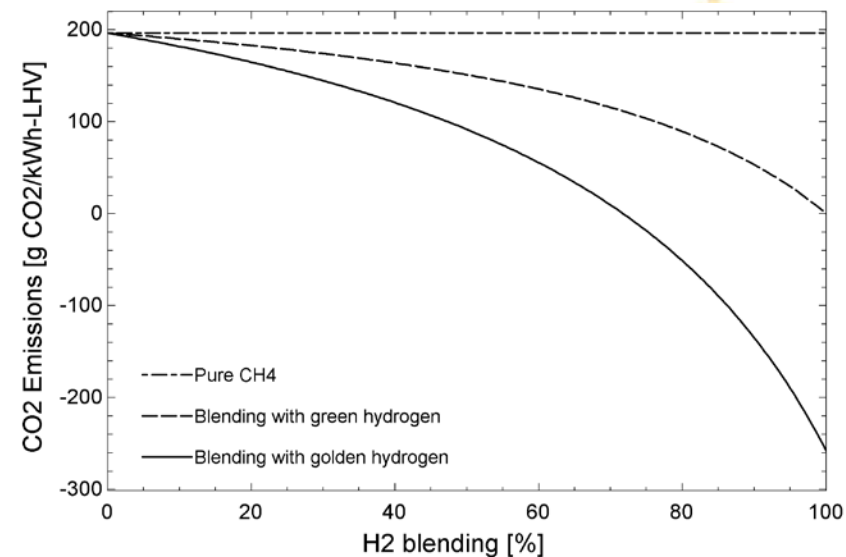
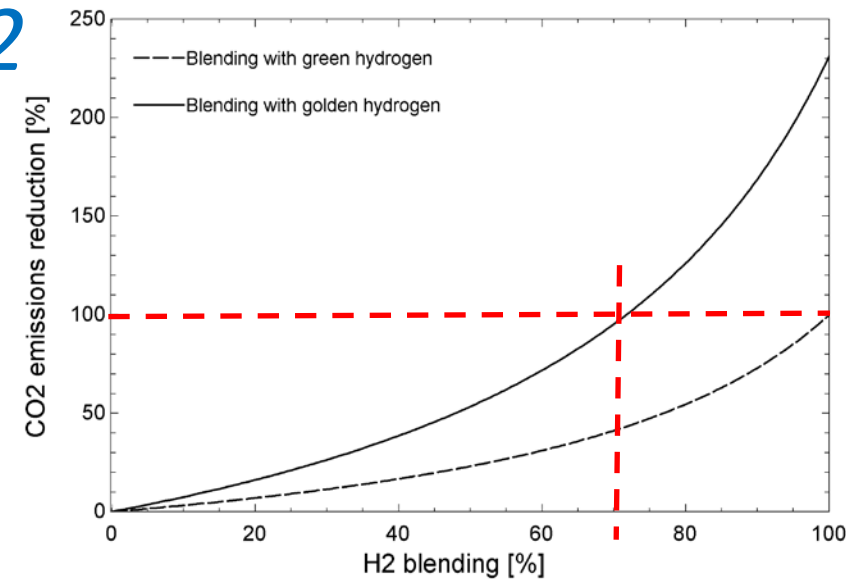


DESCARBONIZAR EL CEMENTO

Costes y blending del H2



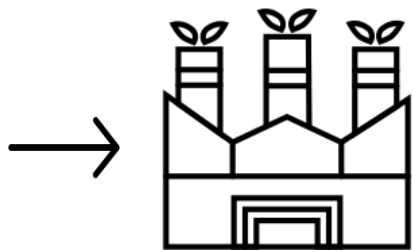
Fuente: Elaboración propia



Fuente: [Soler et al., 2022](#)

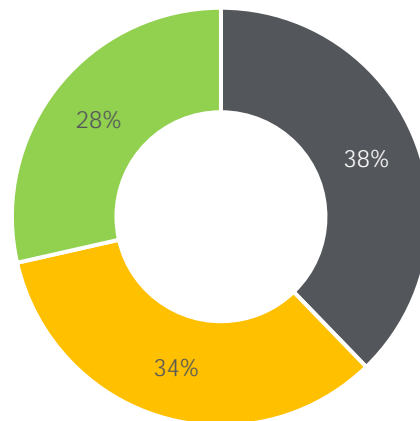
DESCARBONIZAR EL CEMENTO

Caso de estudio



Mix energético (térmico)

Descarbonizado



Por descarbonizar

Parcialmente
descarbonizado

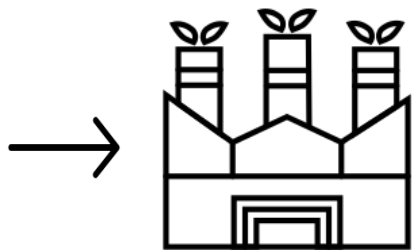
- Coque de petróleo
- CDR
- Biomasa

Fuente: Elaboración propia



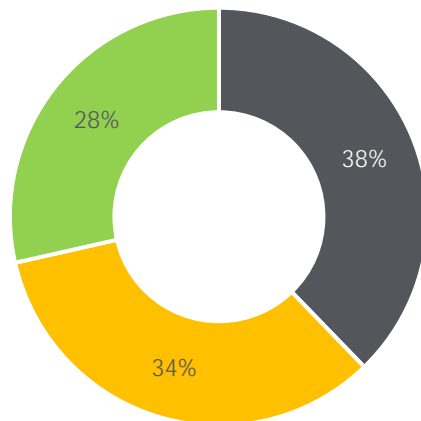
DESCARBONIZAR EL CEMENTO

Caso de estudio



Mix energético (térmico)

Descarbonizado



Parcialmente
descarbonizado

Fuente: Elaboración propia

Por descarbonizar → 131,52 kgCO₂/t cem + 97,24 kgCO₂/t cem **evitadas compensadas**



- 39% en emisiones ✓

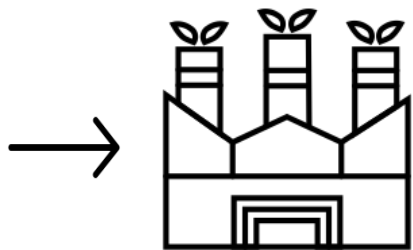


276,47 GWh/año biogás



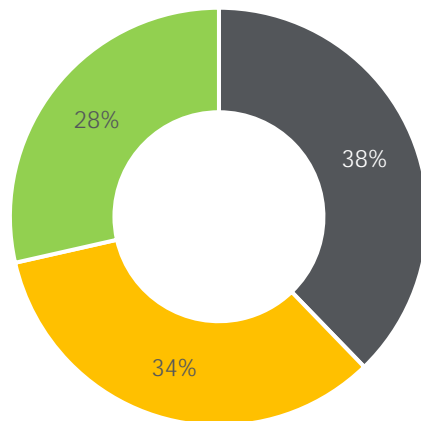
DESCARBONIZAR EL CEMENTO

Caso de estudio



Mix energético (térmico)

Descarbonizado



Parcialmente
descarbonizado

Fuente: Elaboración propia

Por descarbonizar → 131,52 kgCO₂/t cem + 97,24 kgCO₂/t cem **evitadas compensadas**



- 39% en emisiones ✓



276,47 GWh/año biogás

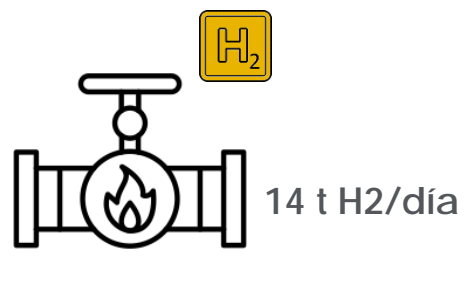
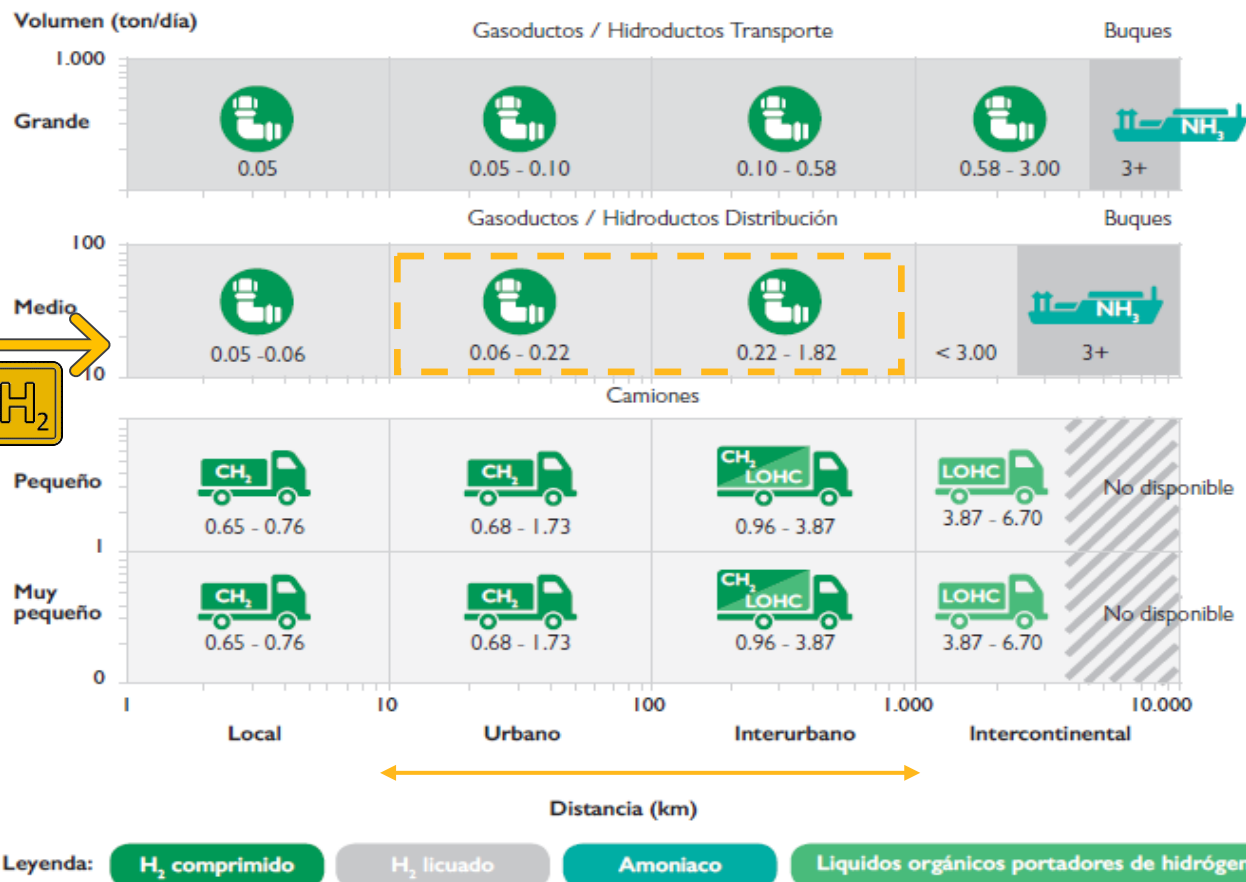


Extrapolación España:
Potencial de vertederos
suficiente

DESCARBONIZAR EL CEMENTO

Transportar el H₂

Figura 5. Costes de transporte de Hidrógeno en función de la distancia recorrida y volumen transportado (\$/kg). Fuente: Bloomberg NEF. Hydrogen Economy Outlook, March 30, 2020



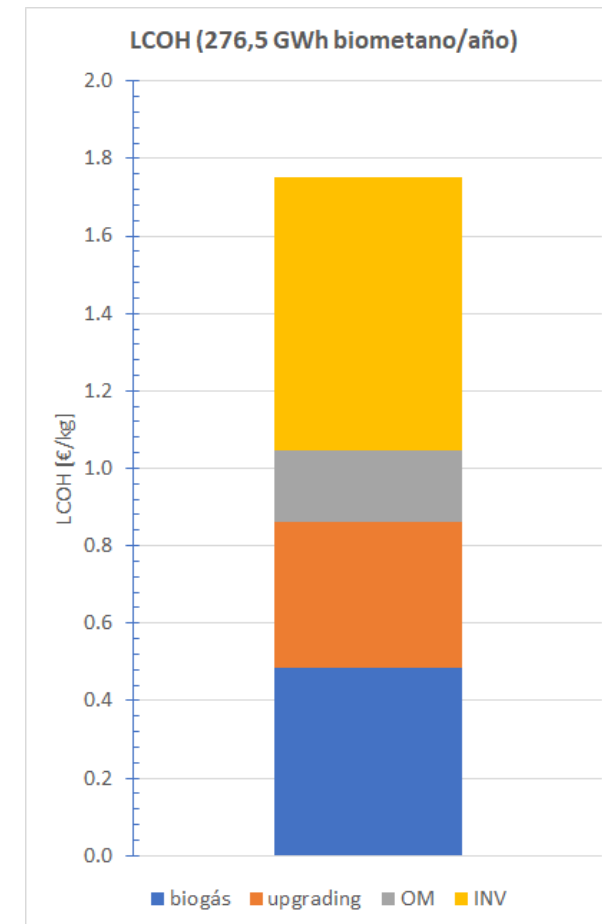
DESCARBONIZAR EL CEMENTO

Resultados

dato

	N					
	25					
	wacc [p.u.]					
	0.08					
año 0	r [p.u.]	k	f_sigma	f_a	Normalizado	
Tasa CO2 [€/ton CO2]	85					
Tasa CO2 [€/kg H2]	1.73	0.081	1.0009	25.3032	0.0937	4.11
Inyección BM [€/MWh-PCI]	3					
Inyección BM [€/kg H2]	0.15	0.05	0.9722	17.6936	0.0937	0.24
LCOH [€/kg H2]						1.75
Transporte H2 [€/kg H2]	1.28	0	0.9722	17.6936	0.0937	2.11
						4.11

resultado



Fuente: Elaboración propia

DESCARBONIZAR EL CEMENTO

Resultados

dato

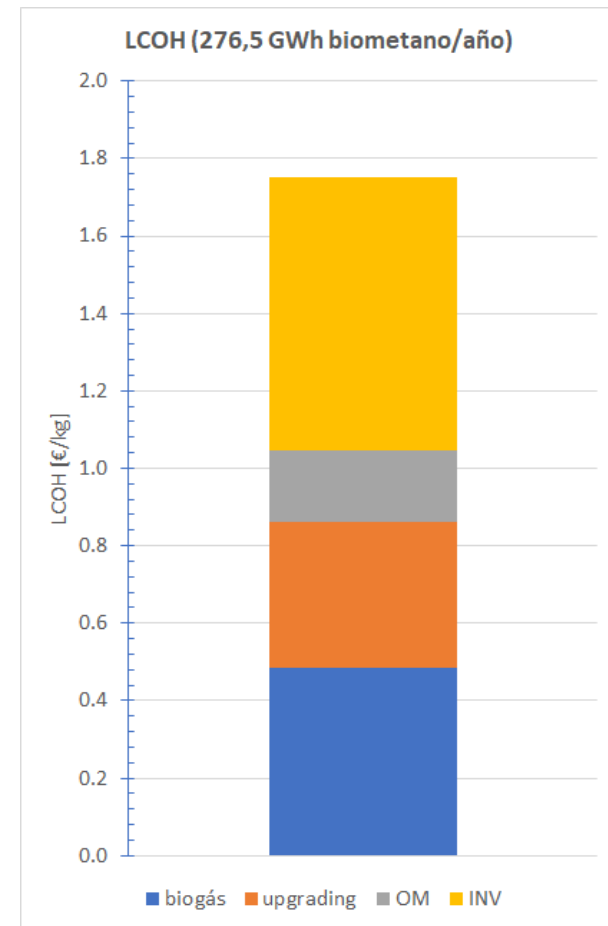
	N					
	25					
	wacc [p.u.]					
	0.08					
	año 0	r [p.u.]	k	f_sigma	f_a	Normalizado
Tasa CO2 [€/ton CO2]	85					
Tasa CO2 [€/kg H2]	1.73	0.081	1.0009	25.3032	0.0937	4.11
Inyección BM [€/MWh-PCI]	3					
Inyección BM [€/kg H2]	0.15	0.05	0.9722	17.6936	0.0937	0.24
LCOH [€/kg H2]						1.75
Transporte H2 [€/kg H2]	1.28	0	0.9722	17.6936	0.0937	2.11
						4.11

resultado

¡Peso enorme del transporte!



Solución: Construir la planta
SMR + CCS cerca



Fuente: Elaboración propia

DESCARBONIZAR EL CEMENTO

Resultados

	N	25				
	wacc [p.u.]	0.08				
	año 0	r [p.u.]	k	f_sigma	f_a	Normalizado
Tasa CO2 [€/ton CO2]	85					
Tasa CO2 [€/kg H2]	1.73	0.081	1.0009	25.3032	0.0937	4.11
Inyección BM [€/MWh-PCI]	3					
Inyección BM [€/kg H2]	0.15	0.05	0.9722	17.6936	0.0937	0.24
LCOH [€/kg H2]						1.75
Transporte H2 [€/kg H2]	1.28	0	0.9722	17.6936	0.0937	2.11
						4.11

dato

resultado

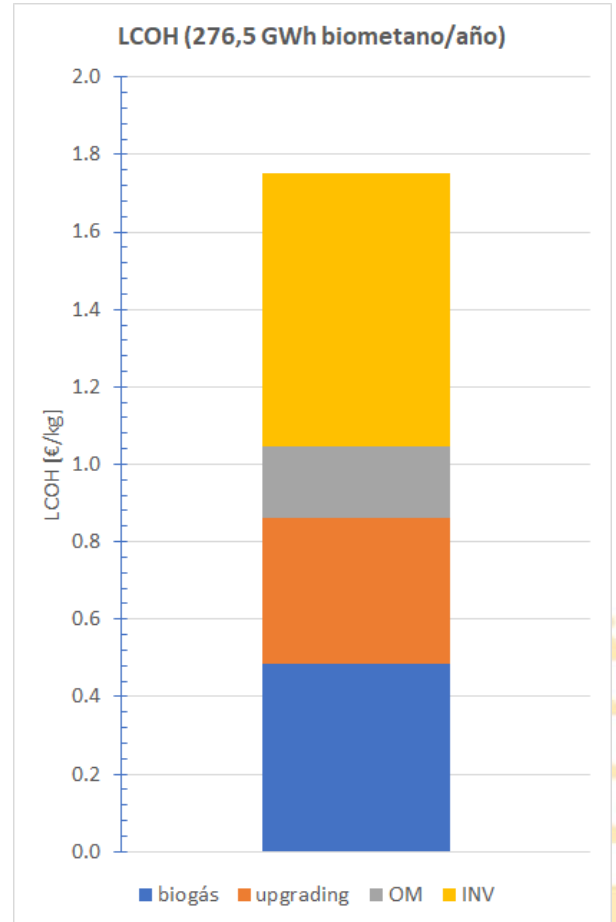
¡Peso enorme del transporte!

Alternativa a largo plazo: Biogás a partir de la digestión anaerobia de residuos sólidos urbanos (RSU)

Más caro: LCOH = 3,5 €/kg H2

Solución: Construir la planta SMR + CCS cerca

Propuesta: Transportar el CO2 en lugar del H2



Fuente: Elaboración propia

REFERENCIAS

- [Linaires, J.I., Santos, A.M., Lefranc, L., Qué es el hidrógeno dorado y cómo puede ayudarnos a reducir las emisiones del cemento, The Conversation, 6 de julio de 2023](#)
- Lefranc, L., Linaires, J.I., Santos, A.M., Arenas, E., Martín, C., Moratilla, Y., The role of Golden hydrogen in the decarbonising of urban buses, Proceedings of ECOS 2023, 25-30 June, 2023, Las Palmas de Gran Canaria, Spain
- [Soler, V.E., Linaires, J.I., Arenas, E., Romero, J.C., Hydrogen from municipal solid waste as a tool to compensate unavoidable GHG emissions, III International Conference on Engineering Thermodynamics, Madrid June 29 to July 1, 2022](#)
- [Linaires, J.I., Hidrógeno dorado en la industria cerámica brasileña, Seminario para ANFACER, 2022](#)

Reconocimiento:



Gracias por su atención

www.comillas.edu/cfrte

