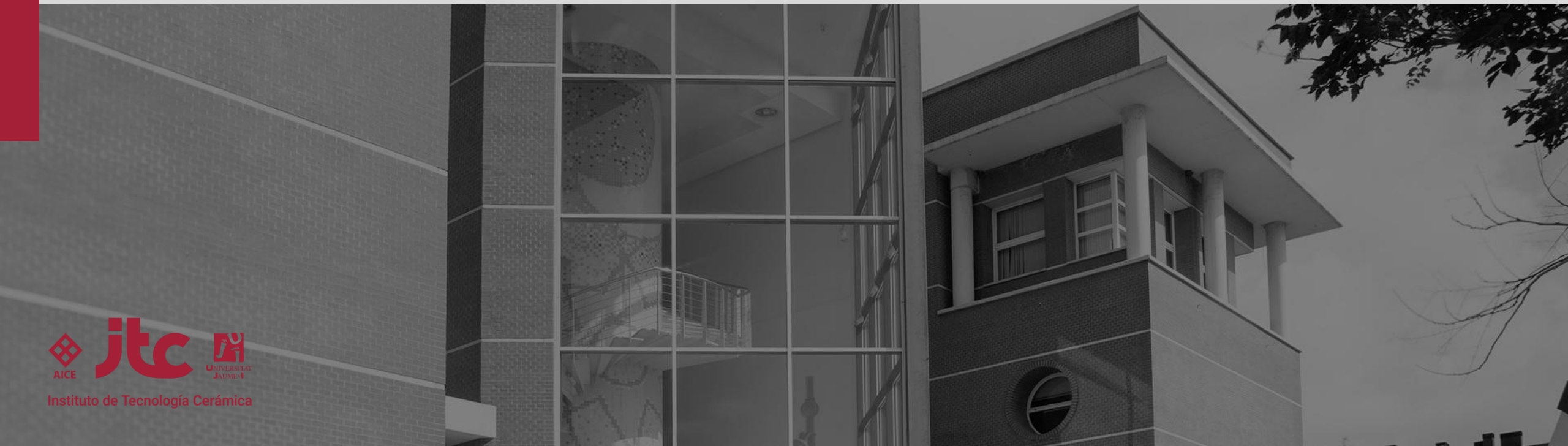
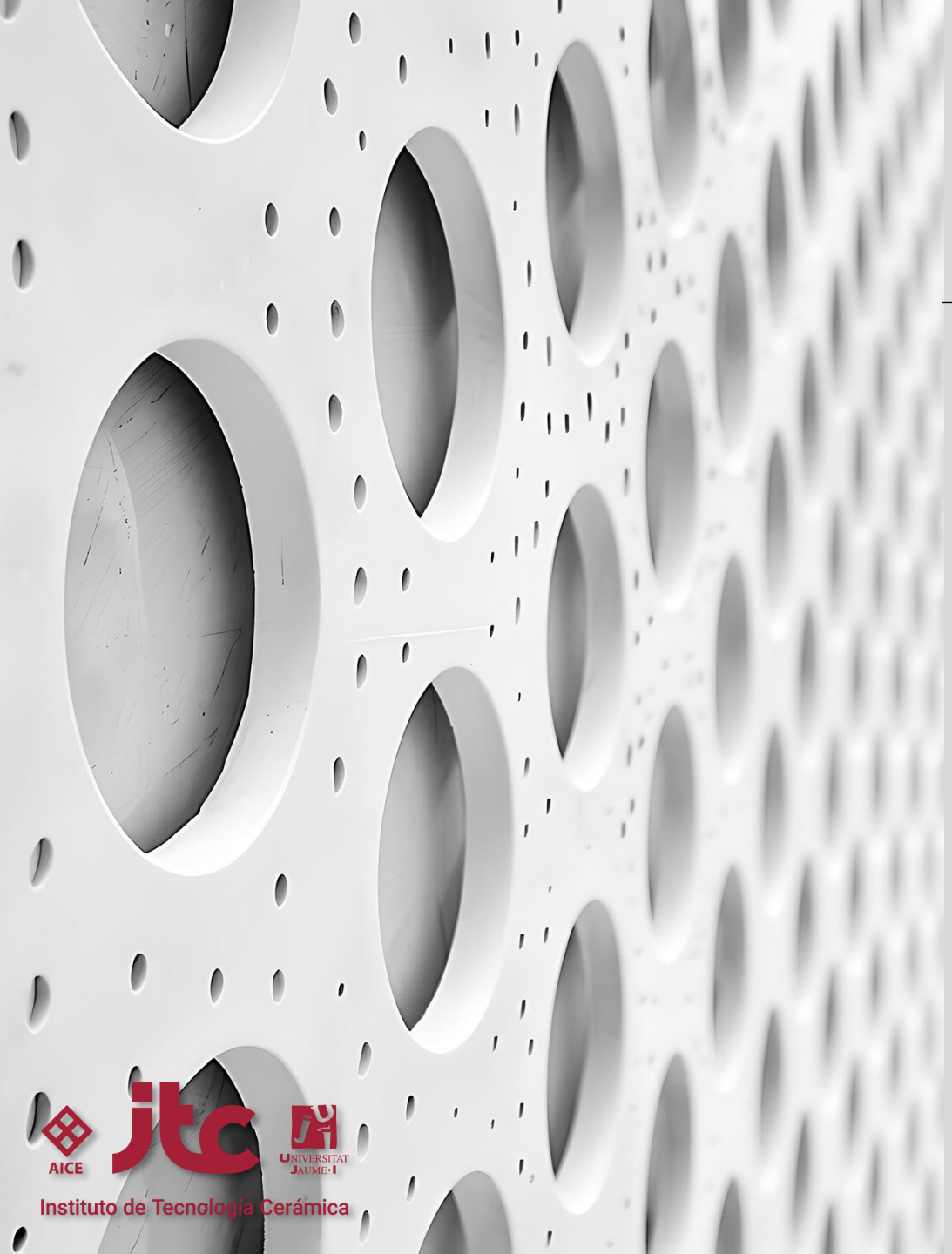
Análisis de materiales para la captura de CO_2 en el sector de baldosas cerámicas

GENERALITAT VALENCIANA
Conselleria de Hacienda y Economía

ASCER
Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos



AICE
jtc
Universitat Jaume I
Instituto de Tecnología Cerámica



Índice

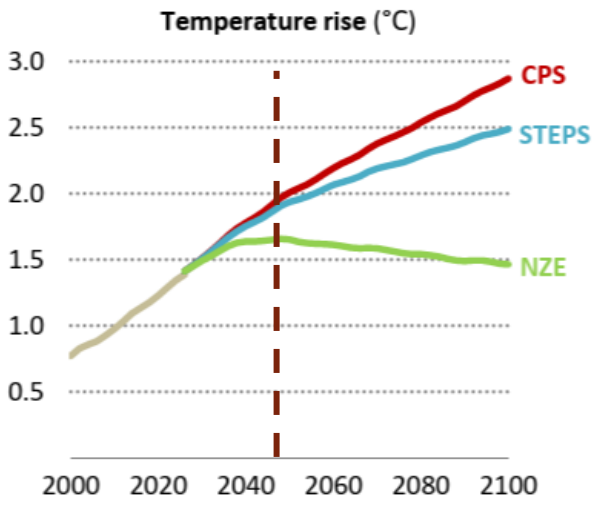
1.- Motivación del estudio.
2.- Objetivo.
3.- Metodología.
4.- Resultados.
5.- Usos de CO_2 en la industria.
6.- Conclusiones y recomendaciones.

AICE
jtc
Universitat Jaume•I
Instituto de Tecnología Cerámica

1. Motivación del estudio

1.1. Emisiones de CO_2 en el sector energético e industrial

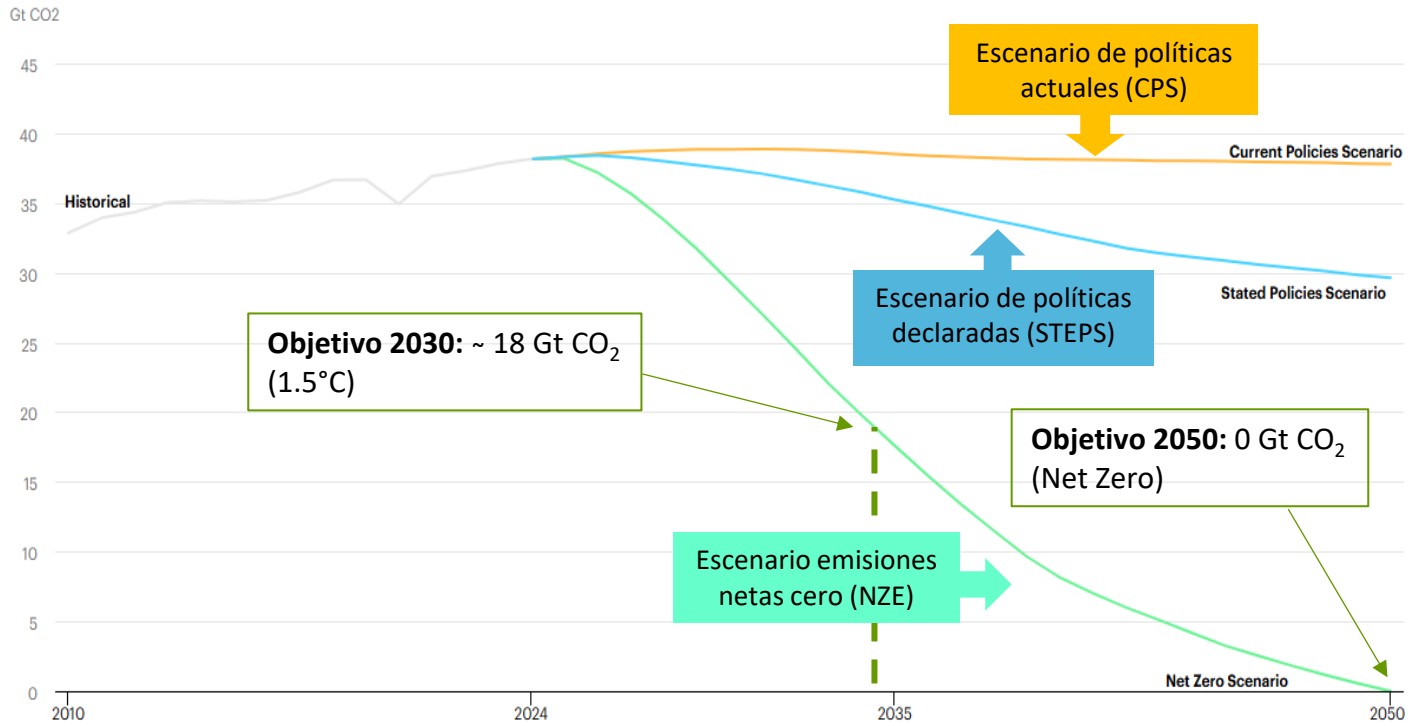
Escenarios de Emisiones de CO_2 (WEO 2025)



IEA (2025), **World Energy Outlook 2025**, IEA, Paris https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025, Licence: CC BY 4.0 (report); CC BY NC SA 4.0 (Annex A)

- **CPS (Current Policies Scenario)**: Solo considera políticas vigentes.
- **STEPS (Stated Policies Scenario)**: Incluye políticas anunciadas y en desarrollo.
- **NZE (Net Zero Emissions Scenario)**: Escenario alineado con limitar el calentamiento a 1,5 °C.

IEA (2025), Energy related CO_2 emissions by scenario, 2010-2050



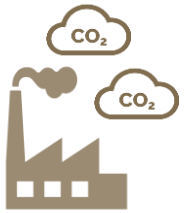
IEA, **World Energy Outlook 2025** Free Dataset, IEA, Paris https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-outlook-2025-free-dataset, Licence: CC BY NC SA 4.0

1. Motivación del estudio

1.1. Emisiones de CO_2 en el sector energético e industrial

Contexto en industria cerámica

- Baja concentración de CO_2 (2-5%).
- Gases de combustión con presencia de otros contaminantes.
- Temperaturas entorno a 150ºC.



La descarbonización industrial va lenta

La falta de una tecnología que sustituya a la fósil, los altos costes de inversión o las trabas administrativas y financieras dificultan el proceso

1. Motivación del estudio

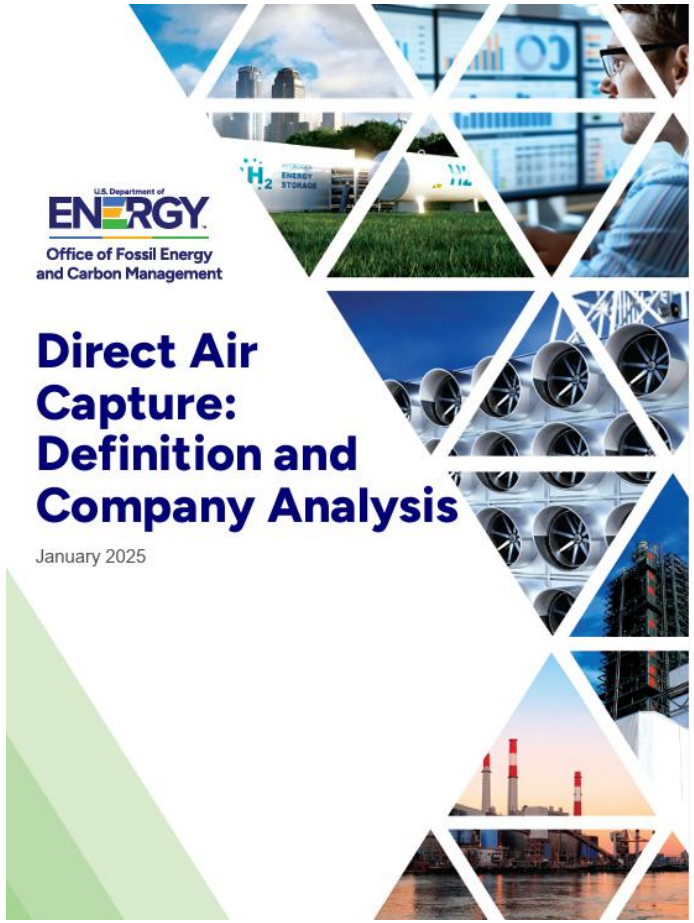
1.2. Captura directa de CO_2 del aire (DAC)

Investigación en nuevos procesos y materiales

+140 start-ups desarrollando sistemas DAC

Fuente: Climeworks
https://climeworks.com/

Fuente: Carbon Engineering
https://carbonengineering.com/

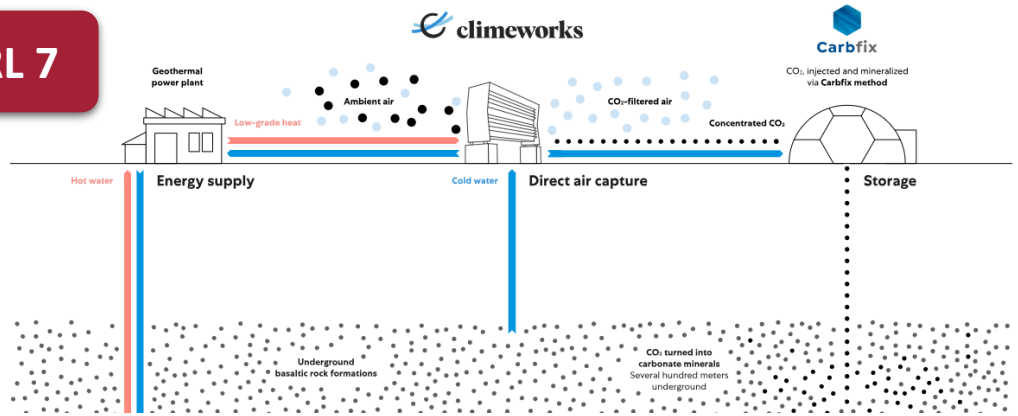


1. Motivación del estudio

1.2. Captura directa de CO_2 del aire (DAC)

Planta DAC más grande del mundo-2024

TRL 7



Proceso basado en empleo de adsorbentes **sólidos**.

Temperatura operación 80-100°C

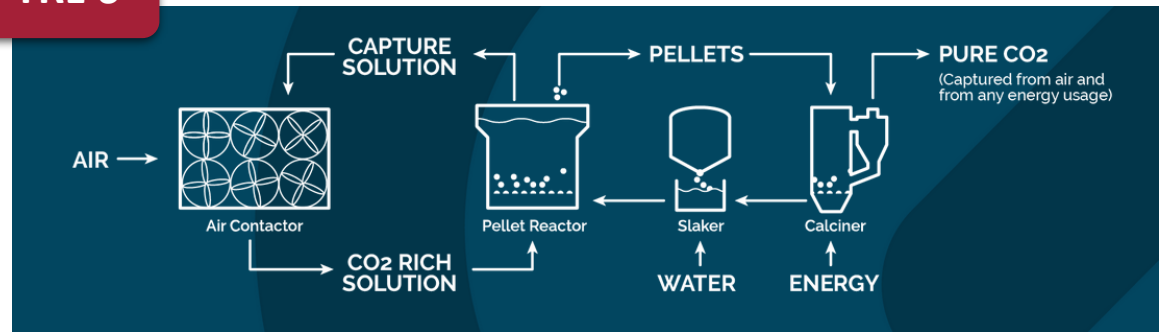
Coste de la captura (2030) 230-322 €/tCO_2

Fuente: Climeworks
https://climeworks.com/

36000 t CO_2/año

Planta en operación para 2025

TRL 6



Proceso basado en empleo de sorbentes **líquidos** (hidróxidos).

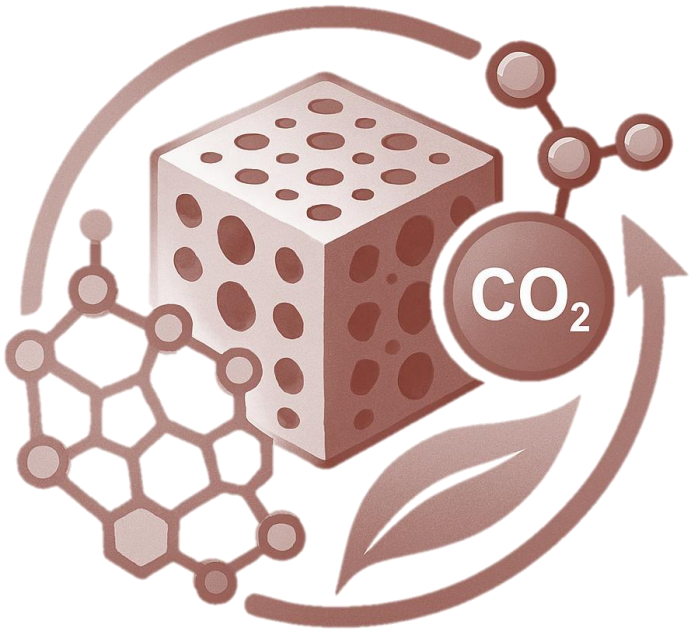
Temperatura operación: ≈ 900°C

Meta coste de la captura 92-184 €/tCO_2

Fuente: Carbon Engineering
https://carbonengineering.com/

500000 t CO_2/año

2. Objetivo



- Identificar y validar materiales para su aplicación en captura de CO_2 en el proceso cerámico.
  - Proceso de post-combustión.
  - Materiales adsorbentes sólidos.

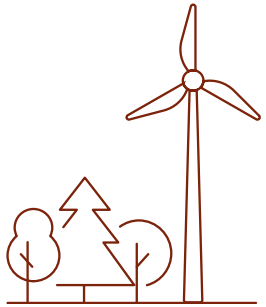
3. Metodología

1. Revisión de materiales para captura de CO_2 existentes en bibliografía.

2. Selección de materiales para captura de CO_2 aplicables al sector cerámico.

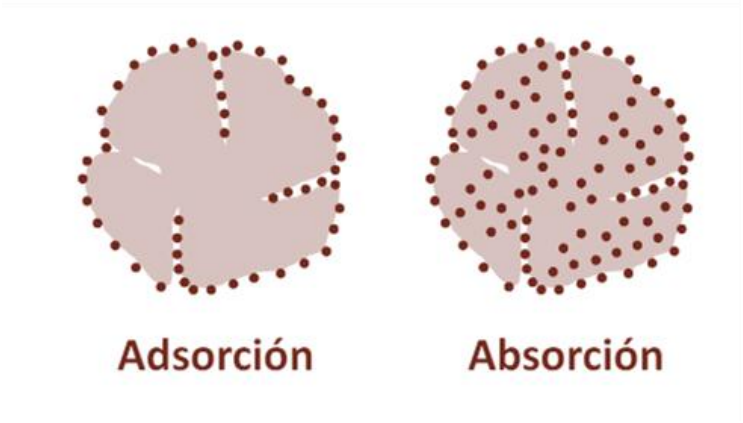
3. Pruebas de captura de CO_2 en laboratorio para los materiales seleccionados.

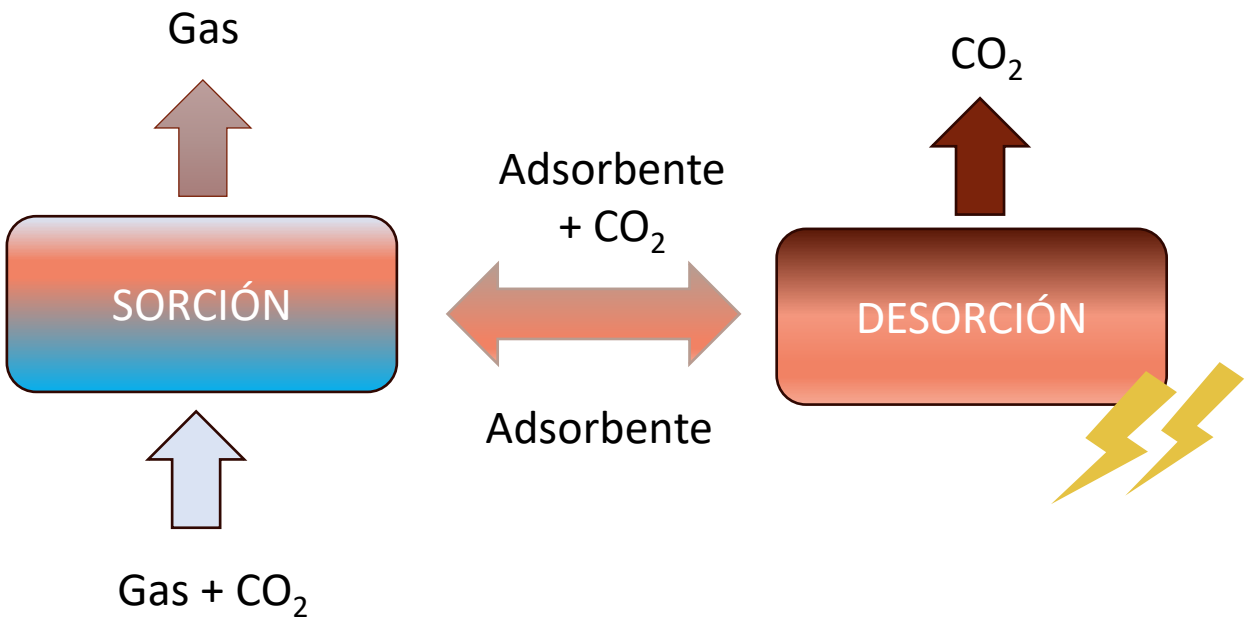
4. Estudio de viabilidad técnica y económica de aplicación de los materiales para captura de CO_2.



4. Resultados

4.1. Principios básicos de separación





4. Resultados

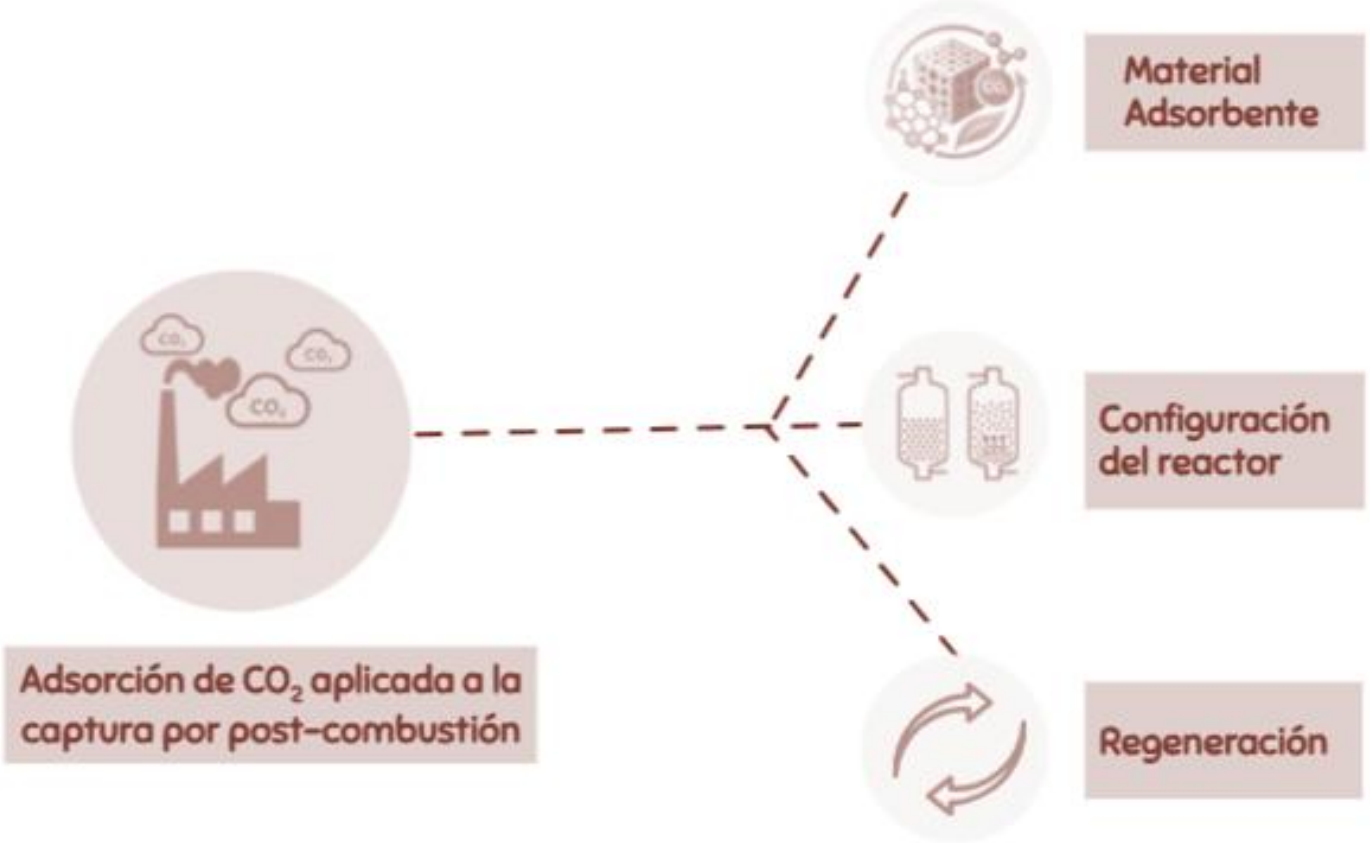
4.2. Materiales de captura de CO_2 por adsorción

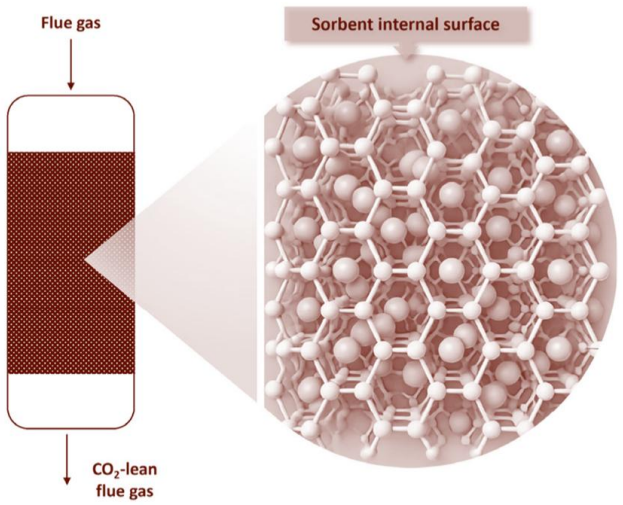
4. Resultados

4.3. Propiedades de materiales de captura de CO_2 por adsorción

4. Resultados

4.4. Definición sistema de captura de CO_2 por adsorción





Raganati, Federica and Paola Ammendola. *CO2 Post-combustion Capture: A Critical Review of Current Technologies and Future Directions*. Energy & Fuels (2024), 13858.

Raganati, F.; Miccio, F.; Ammendola, P.; *Adsorption of Carbon Dioxide for Post-combustion Capture: A Review*. Energy Fuels (2021), 35, 16, 12845–12868.

4. Resultados

4.5. Etapas de captura de CO_2 por adsorción

1

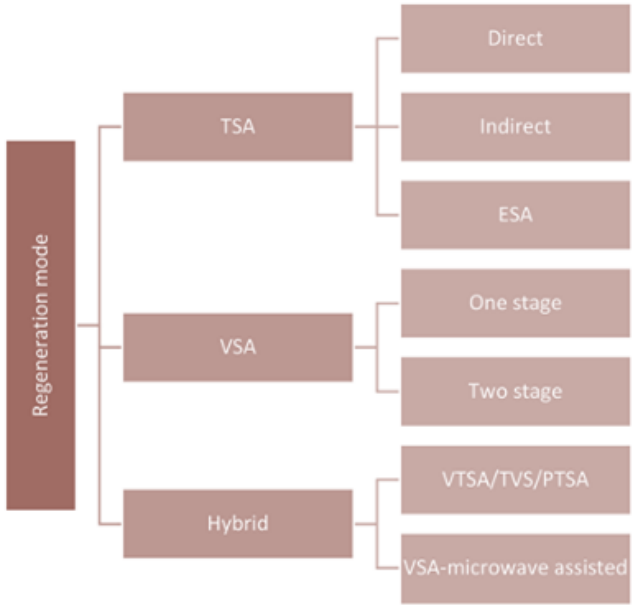
Adsorción

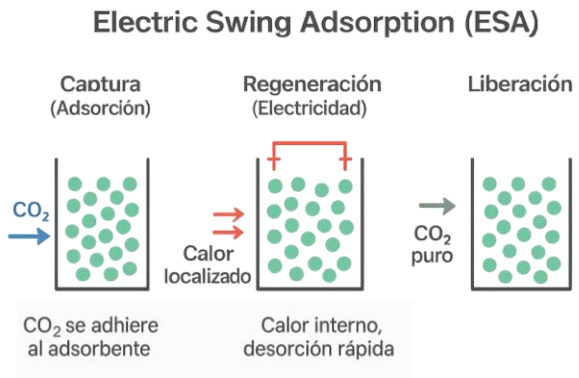
Materiales carbonosos, materiales basados en óxidos metálicos, zeolitas, MOFs, adsorbentes funcionalizados (aminas)

2

Desorción del CO_2

- ↑ T: Temperature swing adsorption (TSA)
- ↑ P: Pressure swing adsorption (PSA)
- ↓ P: Vacuum swing adsorption (VSA)



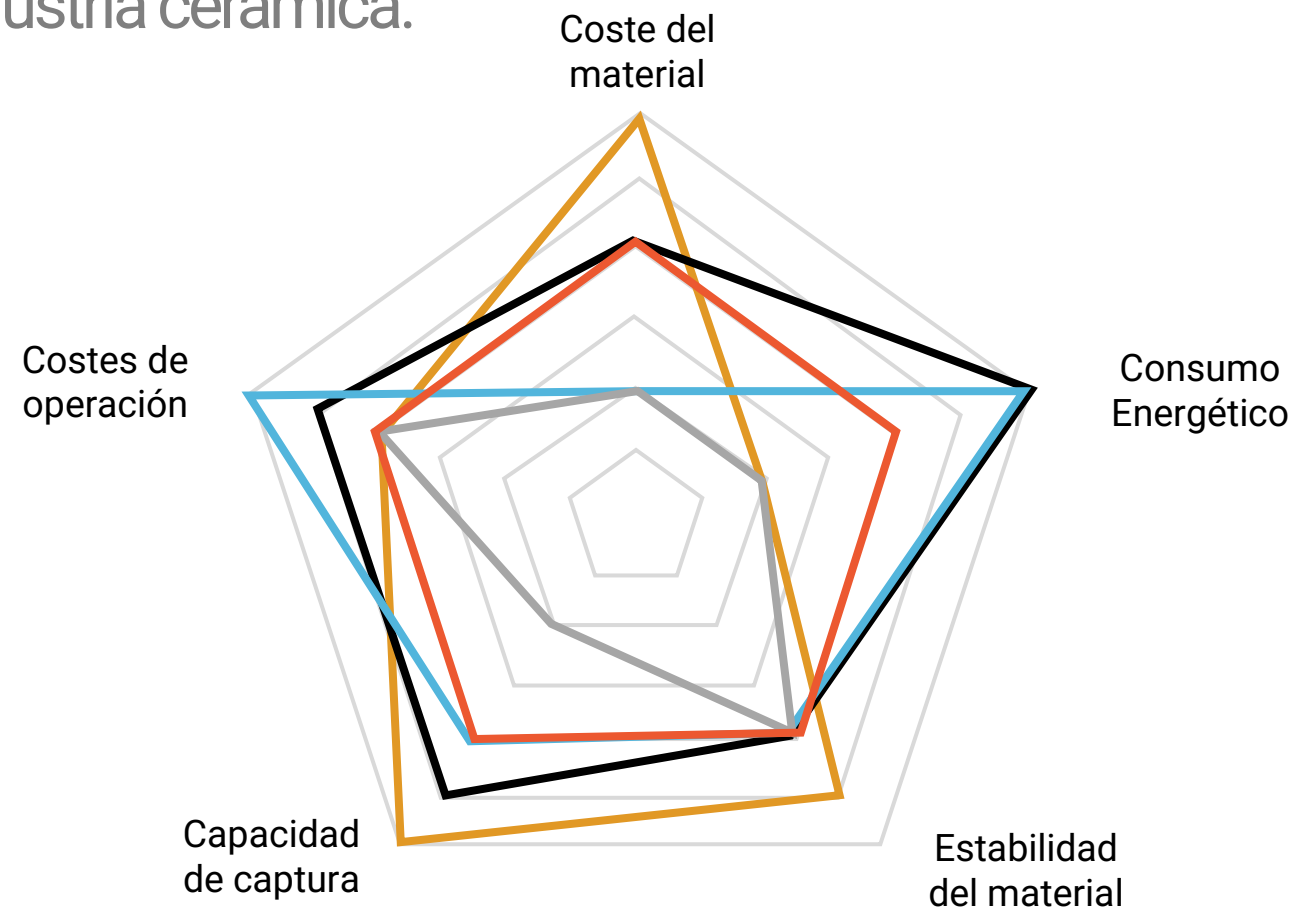


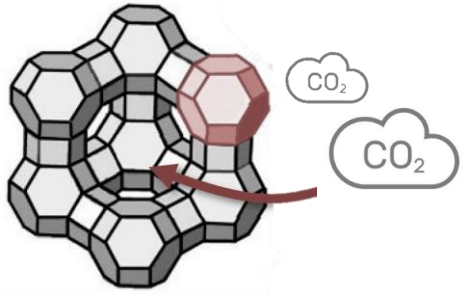
Chaitanya Dhoke, Abdelghafour Zaabout, Schalk Cloete, and Shahriar Amini. *Review on Reactor Configurations for Adsorption-Based CO_2 Capture.* Industrial & Engineering Chemistry Research (2021), *60,* (10), 3779-3798.

4. Resultados

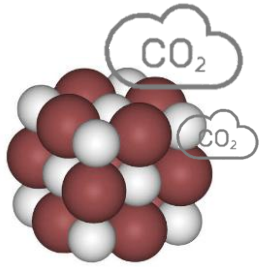
4.6. Selección de materiales para la industria cerámica.

- MOFs
- Aminas
- Óxidos metálicos
- Materiales carbonosos
- Zeolitas





Zeolitas

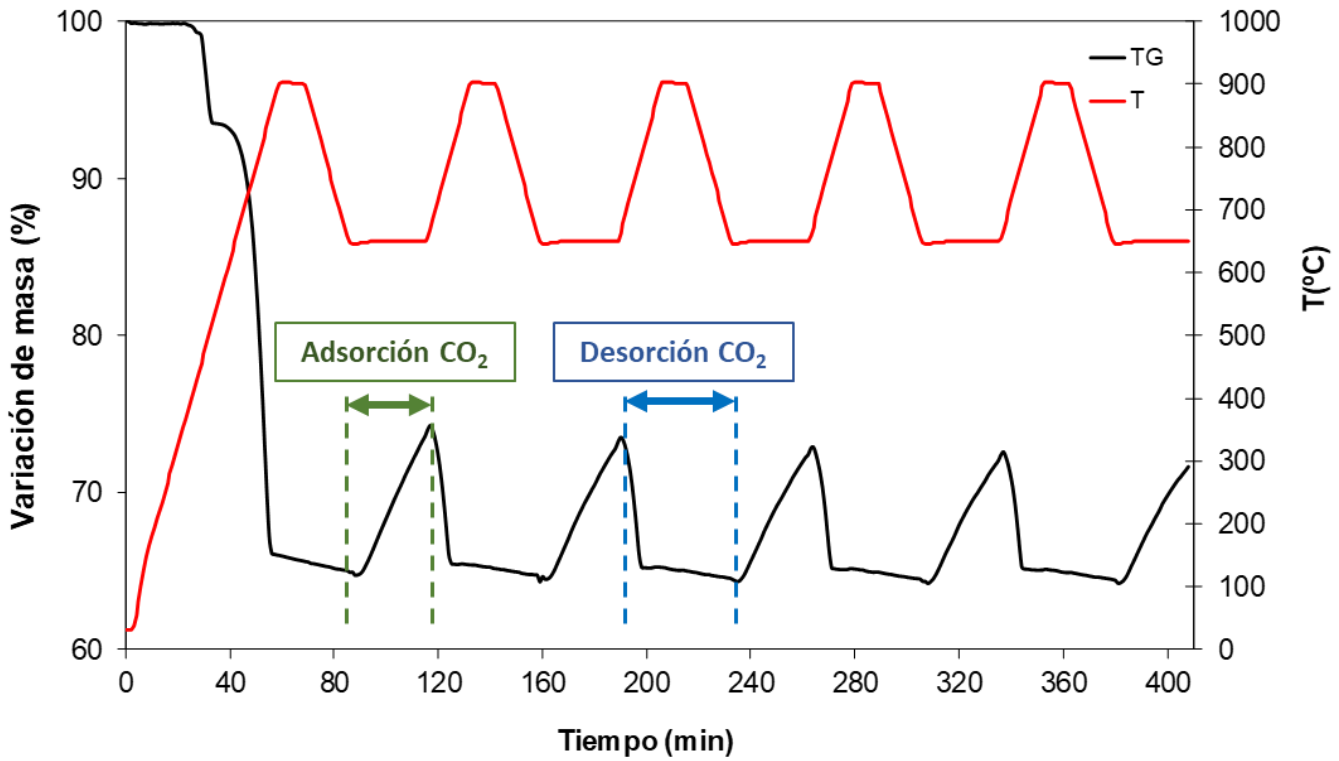


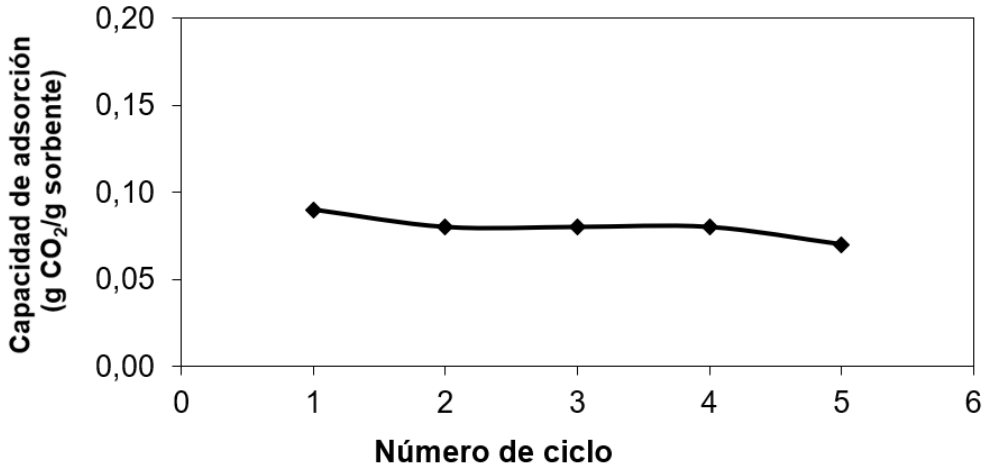
Materiales basados en óxidos metálicos

4. Resultados

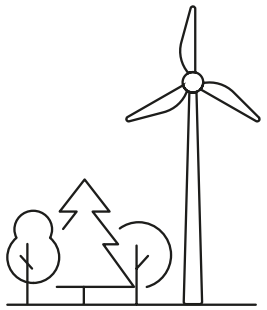
4.7. Selección de materiales para la industria cerámica

Materiales basados en óxidos metálicos





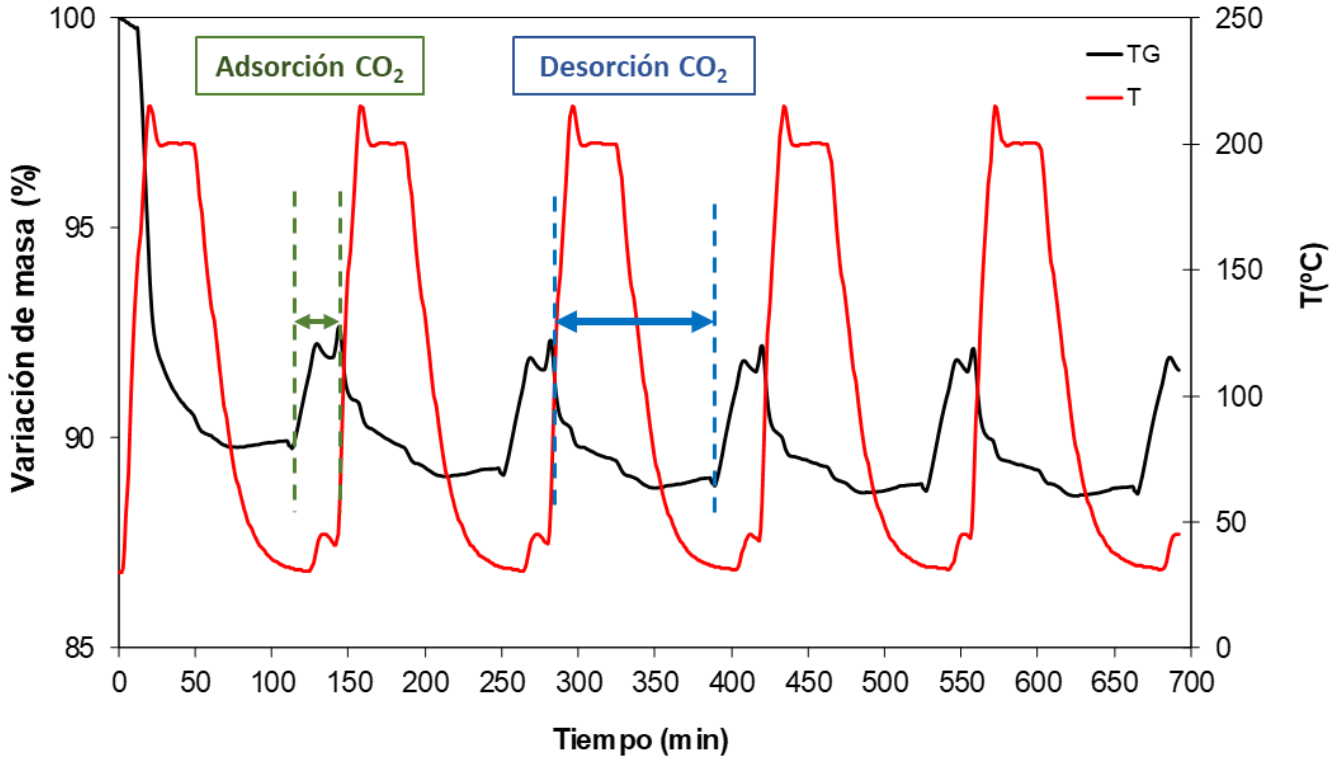
CICLO	Captura CO_2 (g CO_2/g sorbente)
Ciclo 1	0,09
Ciclo 2	0,08
Ciclo 3	0,08
Ciclo 4	0,08
Ciclo 5	0,07

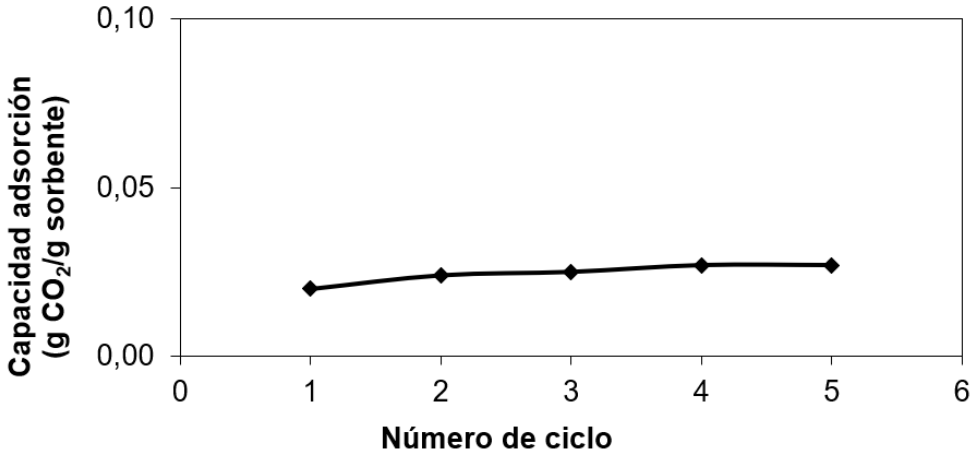


4. Resultados

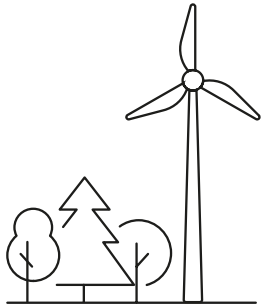
4.7. Selección de materiales para la industria cerámica

Zeolitas





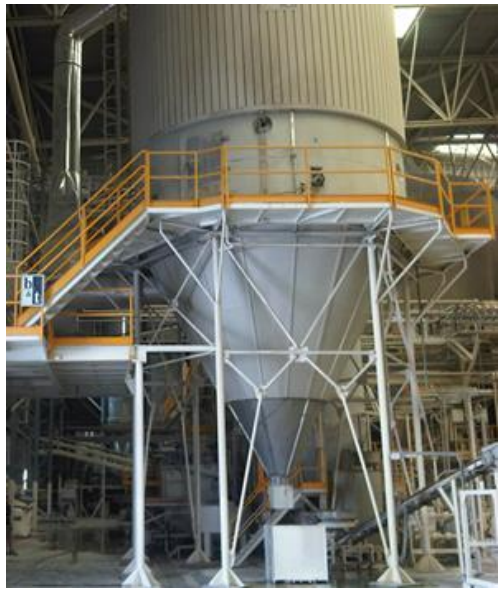
CICLO	Captura CO_2 (g CO_2/g zeolita)
Ciclo 1	0,02
Ciclo 2	0,02
Ciclo 3	0,03
Ciclo 4	0,03
Ciclo 5	0,03



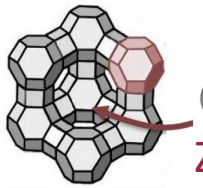
4. Resultados

4.8. Captura de CO_2 aplicada al sector cerámico

- **Secaderos por atomización:**

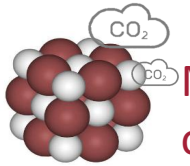


Parámetros	Valores medios
Caudal de gases húmedos (Nm^3/h)	20000 - 200000
Temperatura (ºC)	90-115
Humedad (%vol.)	15-25
Partículas (mg/Nm^3)	3-25
CO_2 (% vol.) en gases secos	0.5-2.5
O_2 (% vol.) en gases secos	16-21
CO (mg/Nm^3)	5-75
NOx (mg/Nm^3)	10-200
SO_2 (mg/Nm^3)	Contiene



Zeolitas

- Enfriar corriente de gases previo captura.
- Necesario sistema de pretratamiento para eliminar vapor de agua y otros gases contaminantes.



Materiales basados en óxidos metálicos

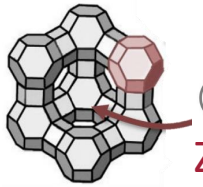
- Recomendable proceso de depuración de gases previo a la captura.

4. Resultados

4.8. Captura de CO_2 aplicada al sector cerámico

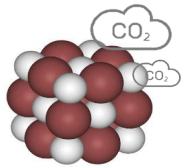
- **Secaderos de baldosas:**

Parámetros	Valores medios
Caudal de gases húmedos (Nm^3/h)	7000 - 20000
Temperatura (ºC)	90-120
Humedad (%vol.)	3-5
CO_2 (% vol.) en gases secos	1-2
O_2 (% vol.) en gases secos	18-21
CO (mg/Nm^3)	50-100



Zeolitas

- Enfriar corriente de gases previo captura.
- Sistema de pretratamiento específico para vapor de agua.



Materiales basados en óxidos metálicos

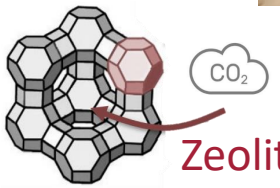
- Opcional sistema de pretratamiento eliminar impurezas.

4. Resultados

4.8. Captura de CO_2 aplicada al sector cerámico

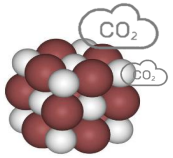
- **Hornos de cocción de baldosas cerámicas:**

Parámetros	Intervalos
Caudal de gases húmedos (Nm^3/h)	11000-20000
Temperatura (ºC)	180-200
Humedad (%vol.)	5-10
CO_2 (% vol.) en gases secos	3-5
O_2 (% vol.) en gases secos	15-18
CO (mg/Nm^3)	5-75
NOx (mg/Nm^3)	10-200
SO_2 (mg/Nm^3)	Contiene
HCl (mg/Nm^3)	Contiene
HF (mg/Nm^3)	Contiene



Zeolitas

- Enfriar corriente de gases.
- Eliminar vapor de agua.
- Sistema de pretratamiento eliminar otras impurezas.



Materiales basados en óxidos metálicos

- Eliminar humedad y otros contaminantes.

4. Resultados

4.9. Costes de la captura de CO_2

- **Evaluación de coste del material seleccionado para la captura de 1 tonelada de CO_2**

Material	Capacidad de captura (mmol/g)	Capacidad de captura (g/g)	Toneladas necesarias	Coste inicial (€)	Ciclos máximos	Coste efectivo (€/t CO_2/ciclo)
Óxidos metálicos	15	0.70	1.7	300-800	50	10.2 – 27.2

4. Resultados

4.9. Costes de la captura de CO_2

- **Evaluación de coste del material seleccionado para la captura de 1 tonelada de CO_2**

Material	Condiciones	Capacidad de captura (mmol/g)	Capacidad de captura (g/g)	Toneladas necesarias	Coste medio aproximado (€)
Zeolita	40 °C, 2% CO_2	2.0	0.088	11.36 t	17000 €
Zeolita	150 °C, 2% CO_2	0.5	0.022	45.45 t	68000 €

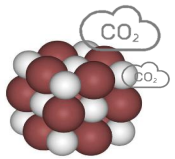
Material	Capacidad de captura (mmol/g)	Capacidad de captura (g/g)	Toneladas necesarias	Coste inicial (€)	Ciclos máximos	Coste efectivo (€/t CO_2/ciclo)
Zeolita	2.0	0.088	11.36	17000	1000	17

4. Resultados

4.9. Costes de la captura de CO_2

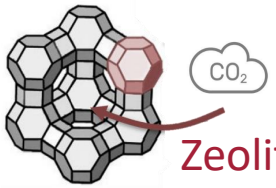
- **Evaluación de coste del material seleccionado para la captura de 1 tonelada de CO_2**

Material	Coste efectivo (€/t CO_2/ciclo)
Óxidos metálicos	10.2 – 27.2



Materiales basados en óxidos metálicos

Material	Coste efectivo (€/t CO_2/ciclo)
Zeolita	17



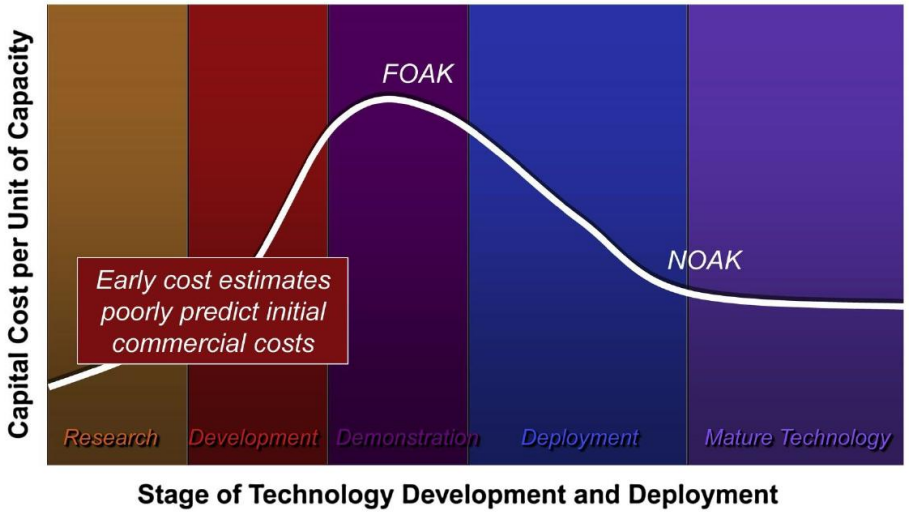
Zeolitas

4. Resultados

4.10. Costes de la captura de CO_2: factores clave

"¿Por qué invertir en captura de CO_2 si cuesta mucho y no da retorno inmediato?"

[redacted]



E. Rubin. *Improving cost estimates for advanced low-carbon power plants,* International Journal of Greenhouse Gas Control (2019), Volume 88, Pages 1-9.

1. El coste de no actuar es mayor.
2. Innovar no es opcional, es supervivencia:
   - Las tecnologías son la base para reducir emisiones en sectores difíciles de descarbonizar.
3. Beneficios tangibles
   - Acceso a subvenciones y ayudas
   - Mejora de imagen y reputación
   - Ahorro futuro
4. Reducir el riesgo con alianzas.

5. Usos de CO_2 en la industria

Uso directo

Ej: El CO_2 es agente de curado en la fabricación del hormigón/cementos.

E-fuels

Hidrogenación de CO_2 para la producción de combustibles sintéticos (SAF, e-metanol, FT-HCs)

Áridos

El CO_2 reacciona con residuos alcalinos, obteniendo un sólido que es un árido.

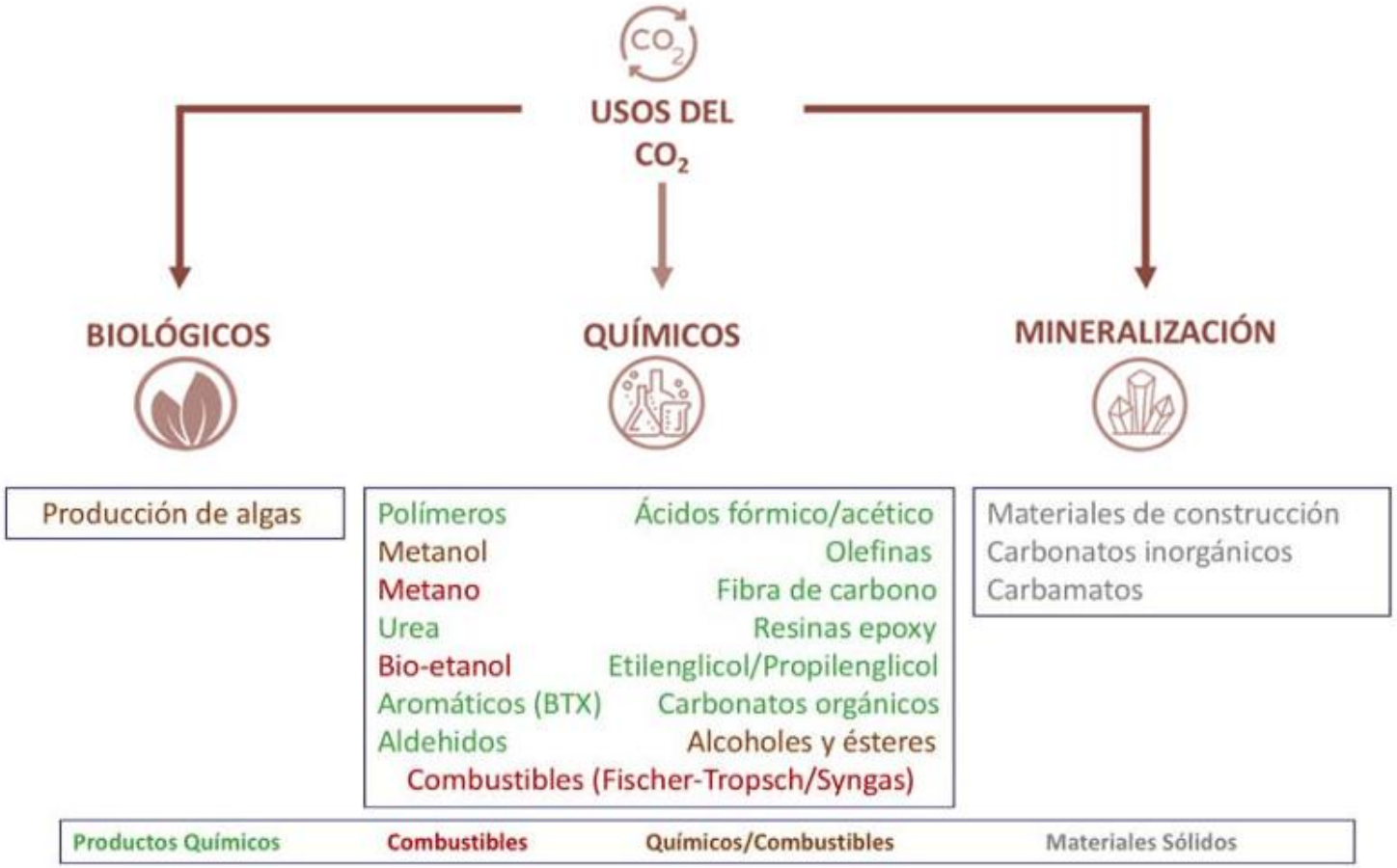
Carbonatos cíclicos

El CO_2 permite obtención de carbonatos orgánicos, ampliamente utilizados en la industria.

Polímeros/Plásticos

El CO_2 se utiliza para obtención de policarbonatos, poliuretanos (NIPUS).

5. Usos de CO_2 en la industria



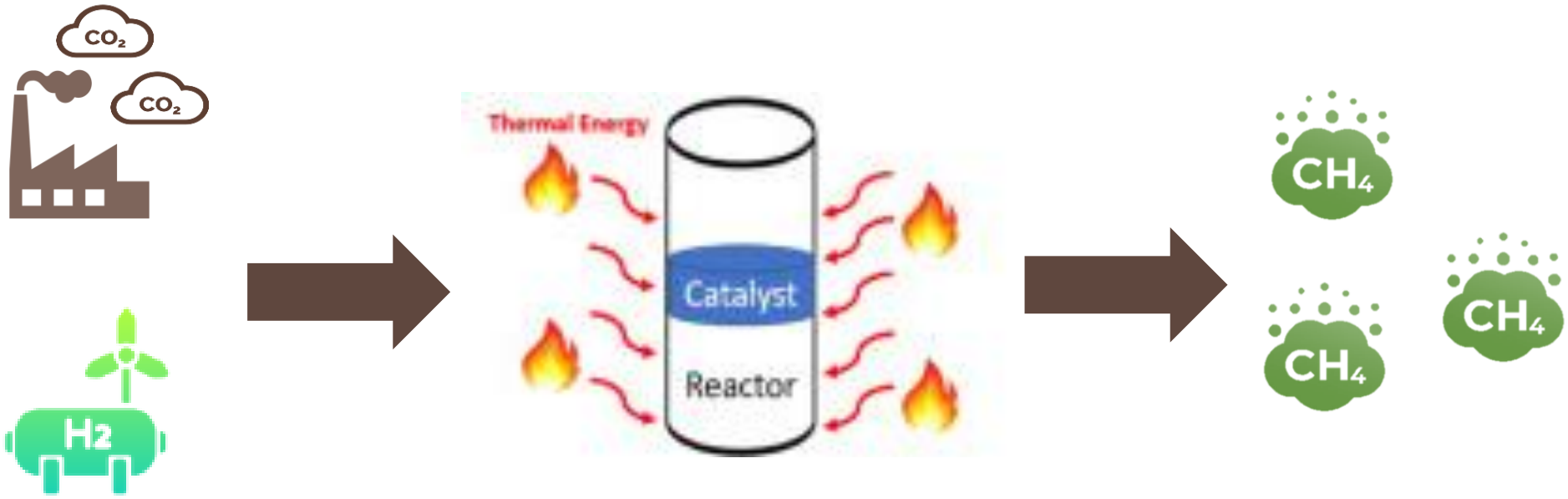
Cortes, V.; Navarrete, B.; Vega, F. *La captura y uso del CO2. Análisis estratégico, técnico y económico.*
Disponible en: https://inercomunicacion.com/es/wp-content/uploads/cuadernos_energia_n62-INERCO-captura-CO2.pdf

5. Usos de CO_2 en la industria

5.1. Metano sostenible: conversión de CO_2 mediante metanación

TRL 7-8

El metano sintético (SNG) se obtiene por reacción de H_2 renovable con CO_2 capturado. Su producción se beneficia de la red de distribución existente para el gas natural.



6. Conclusiones y recomendaciones

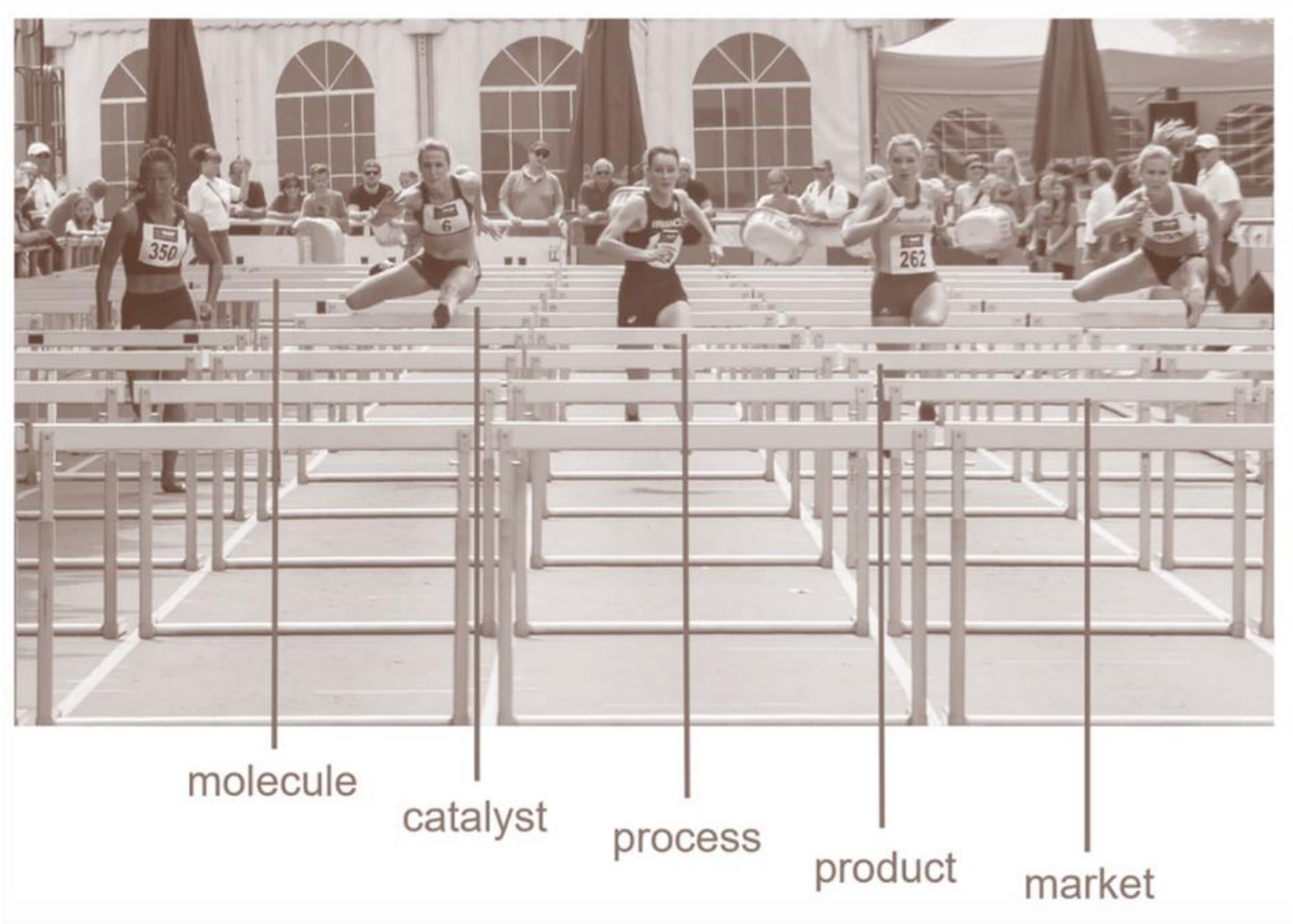
- Se considera clave y estratégico el desarrollo de materiales más eficiente, económicos y sostenibles para industrias con concentraciones bajas CO_2 y temperaturas entorno 150ºC.
- Sistema de captura requiere análisis del material, diseño reactor y estrategia regeneración.
- Se requieren proyectos de demostración en entornos reales industriales con estudio tecno-económico.
- Las zeolitas testeadas requieren pretratamiento de gases para eliminar el vapor de agua.
- Materiales basados en óxidos metálicos toleran contaminantes, aunque es recomendable un proceso de depuración para aumentar durabilidad del material.
- Atendiendo al precio de los materiales estudiados, las diferencias no son significativas.

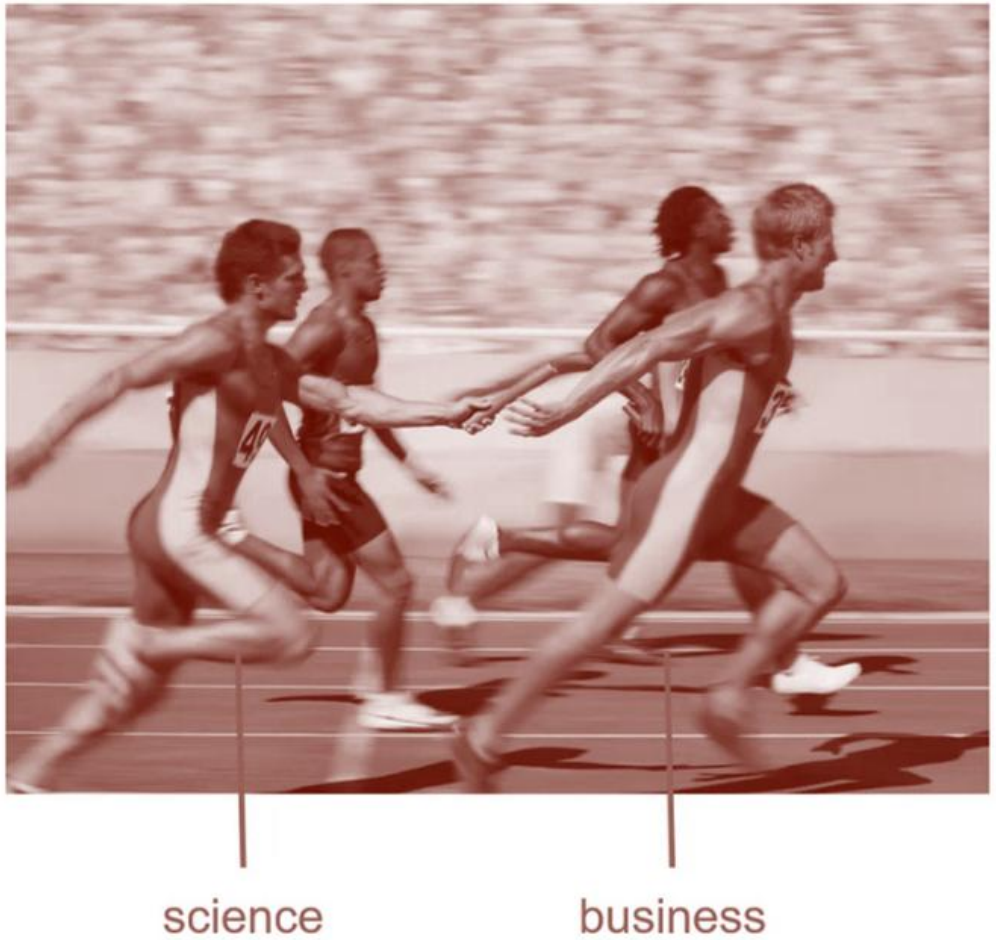
6. Conclusiones y recomendaciones

Las principales **recomendaciones** para la implementación de tecnologías de captura de CO_2 en la industria cerámica, teniendo en cuenta la baja concentración de CO_2 en los gases y temperaturas de los gases de chimenea entorno a 150 º C son las siguientes:

- Priorizar tecnologías postcombustión adaptadas a bajas concentraciones de CO_2.
- Seleccionar materiales adsorbentes resistentes a contaminantes ácidos.
- Evaluar la integración energética del sistema de captura.
- Realizar pruebas piloto en condiciones reales de emisión.
- Considerar soluciones modulares y escalables.
- Explorar sinergias con otras tecnologías de descarbonización.

6. Conclusiones y recomendaciones





Metano sostenible a partir de CO_2

GREEN- METH: *Valorización de CO_2 para su conversión en metano renovable (e-CH_4) mediante tecnologías disruptivas.*

GREEN-METH validará la tecnología (foto)electroquímica para conversión directa de CO_2 a metano renovable.

Fuente de CO_2 procedente del *upgrading* del biogás o del aire.

Estudio y desarrollo de un proceso energéticamente autónomo.

Consorcio: 2 universidades, 2 grandes empresas, 1 pyme, 1 Instituto Tecnológico.

GENERALITAT VALENCIANA IVACE+i | Financiado por la Unión Europea | Fondos Europeos

Gracias

Instituto de Tecnología Cerámica

Sede UJI
Campus universitario Riu Sec,
Avda. de Vicente Sos Baynat s/n
12006 Castellón. Spain

Sede Almassora
Pol. Ind. SUPOI 8
C/ Cedrillas nº 20.
12550 Almassora (Castellón). Spain

www.itc.uji.es
+34 964 342 424
itc@itc.uji.es

Mónica Viciano Miralles, Ph.D.
Área de Sostenibilidad
monica.viciano@itc.uji.es