



# Tecnologías de Captura de CO<sub>2</sub>

**Fernando Rubiera González**

*fernando.rubiera@csic.es*



**Curso UIMP: Transformando el CO<sub>2</sub> en Oportunidades: Tecnologías de Captura, Almacenamiento y Usos del CO<sub>2</sub>**



Universidad Internacional Menéndez Pelayo

Cursos de verano Santander



# PTECO<sub>2</sub>: Plataforma Tecnológica Española del CO<sub>2</sub>

**Usos del CO<sub>2</sub>: un camino hacia la sostenibilidad**



2013

pteco<sub>2</sub>

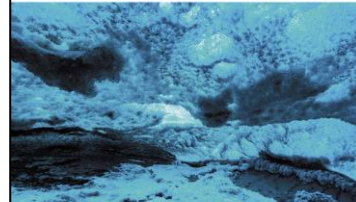
**Transporte de CO<sub>2</sub>: estado del arte, alternativas y retos**



2013

pteco<sub>2</sub>

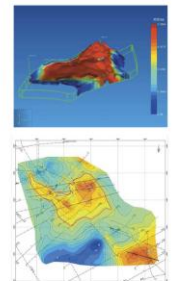
**Procedimientos de laboratorio para la caracterización petrofísica y el control de almacenes geológicos de CO<sub>2</sub> en acuíferos salinos profundos**



2018

pteco<sub>2</sub>

**El almacenamiento de CO<sub>2</sub>: mitigación del cambio climático**



2018

pteco<sub>2</sub>

**Captura de CO<sub>2</sub>: tecnologías para cumplir el Acuerdo de París**



2019

pteco<sub>2</sub>

**Plan de Gestión de la Captura, Transporte, Almacenamiento y Usos del CO<sub>2</sub>**



2020

INERCO

pteco<sub>2</sub>

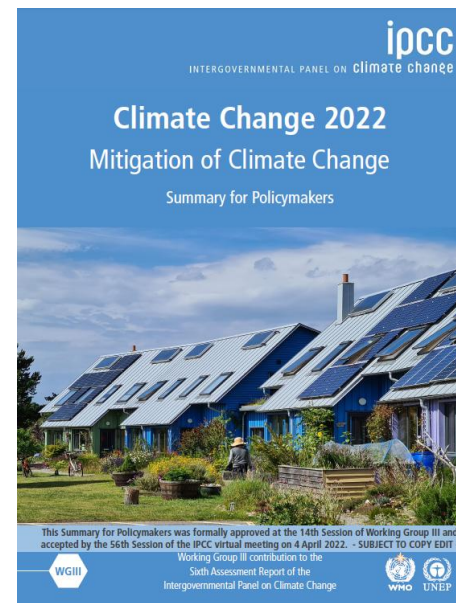
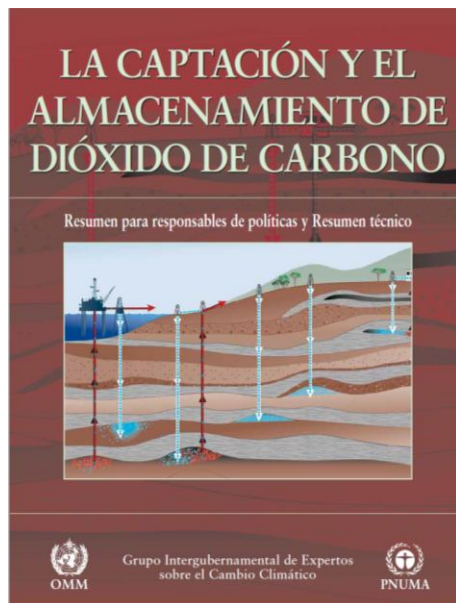


## La lucha contra el cambio climático, premio Princesa de Asturias de Cooperación

### **21 Cumbre de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (COP21) en París (2015):**

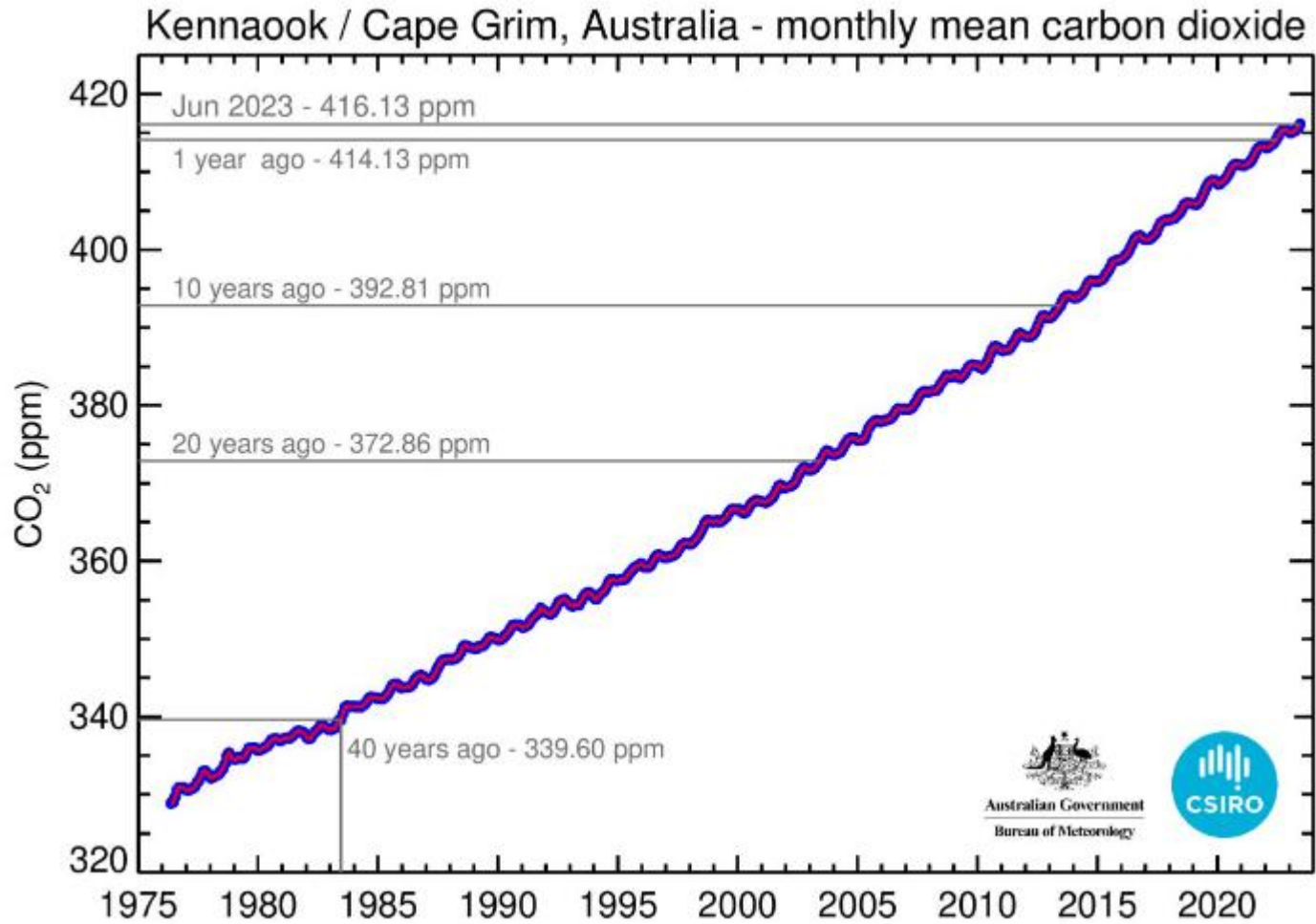
- Temperatura media mundial  $< 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  respecto niveles preindustriales, esfuerzos necesarios para no rebasar los  $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Acuerdo legalmente vinculante, pero no la decisión que lo acompaña ni los objetivos nacionales de reducción de emisiones.
- No se han previsto sanciones, pero habrá un mecanismo transparente de seguimiento del cumplimiento.
- A partir de 2050 cero emisiones netas.

## IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

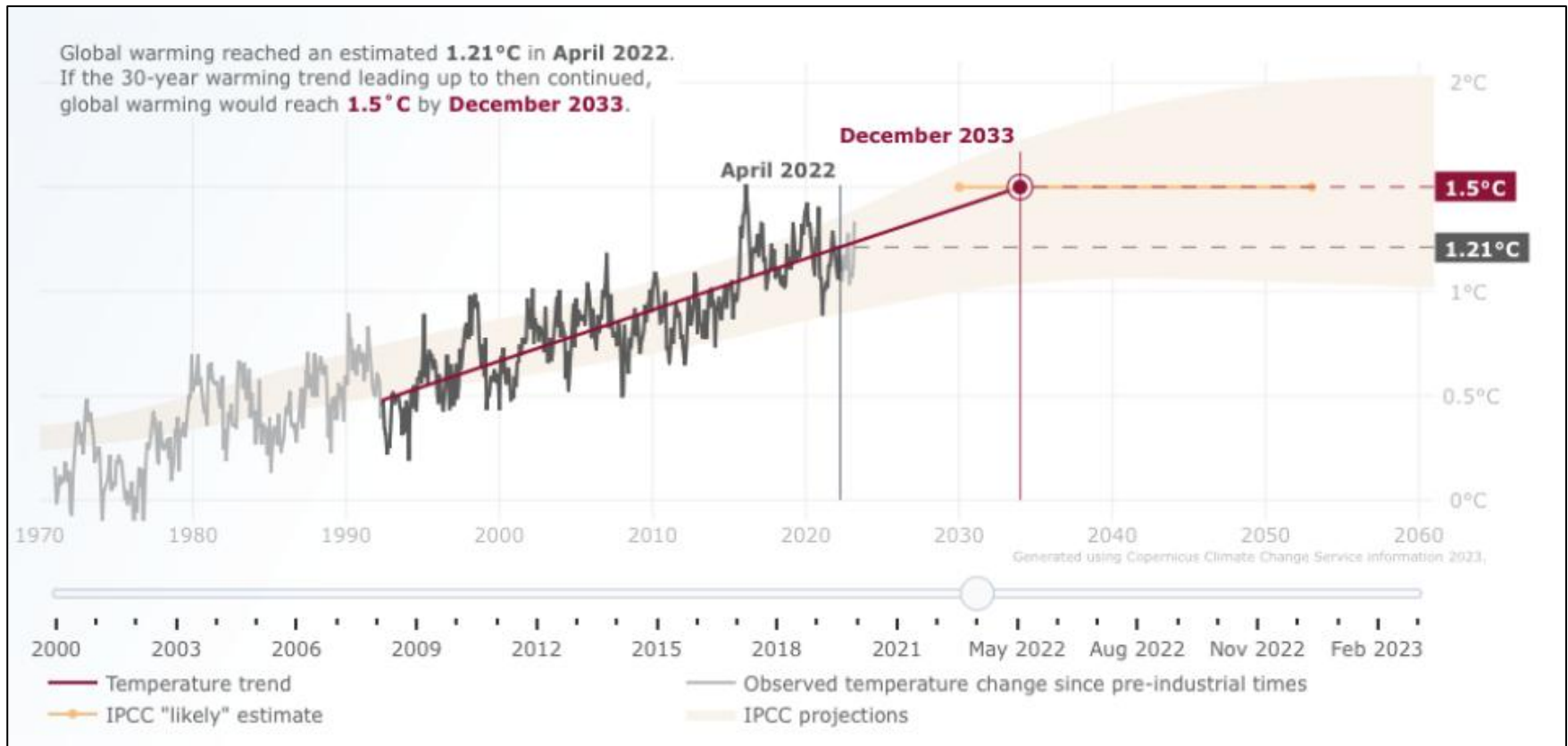


**Informe especial del IPCC** sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y **las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero**, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza

# Evolución Parámetros-Cambio Climático



# Evolución Parámetros-Cambio Climático

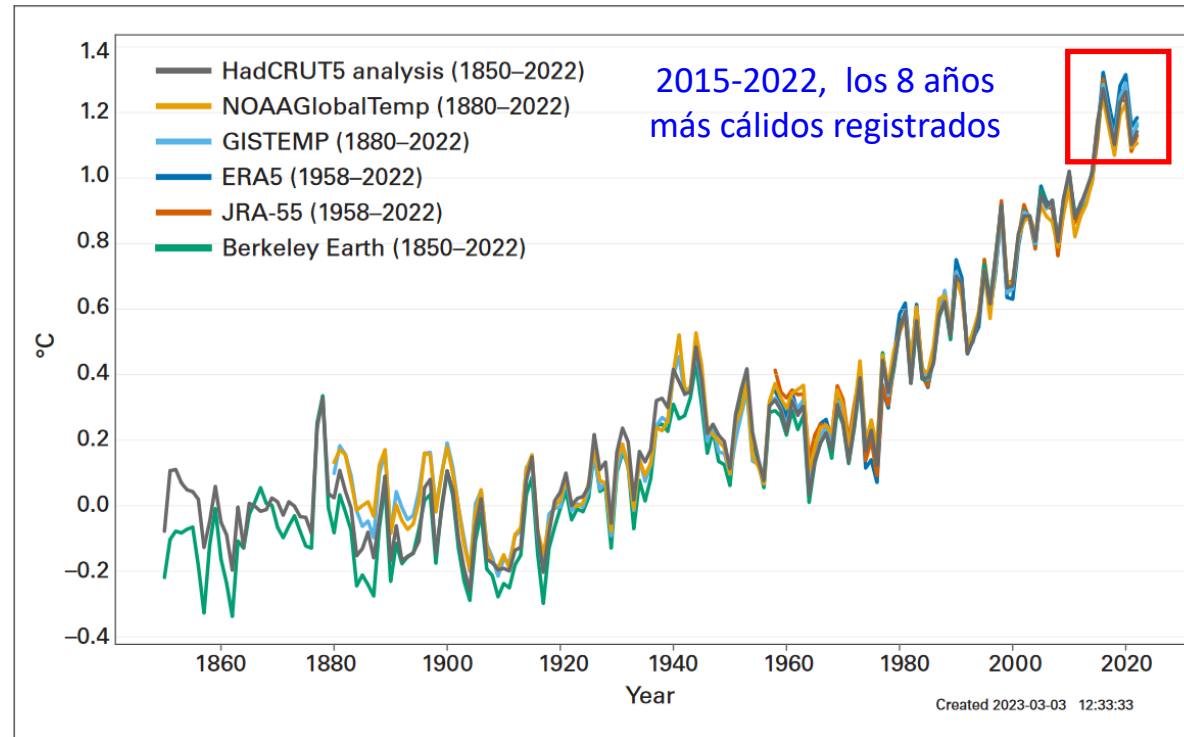


**Fuente: Copernicus Climate Change Service. European State of the Climate 2022**  
<https://climate.copernicus.eu/esotc/2022>



## Temperatura media global comparada con la media preindustrial de 1850-1900

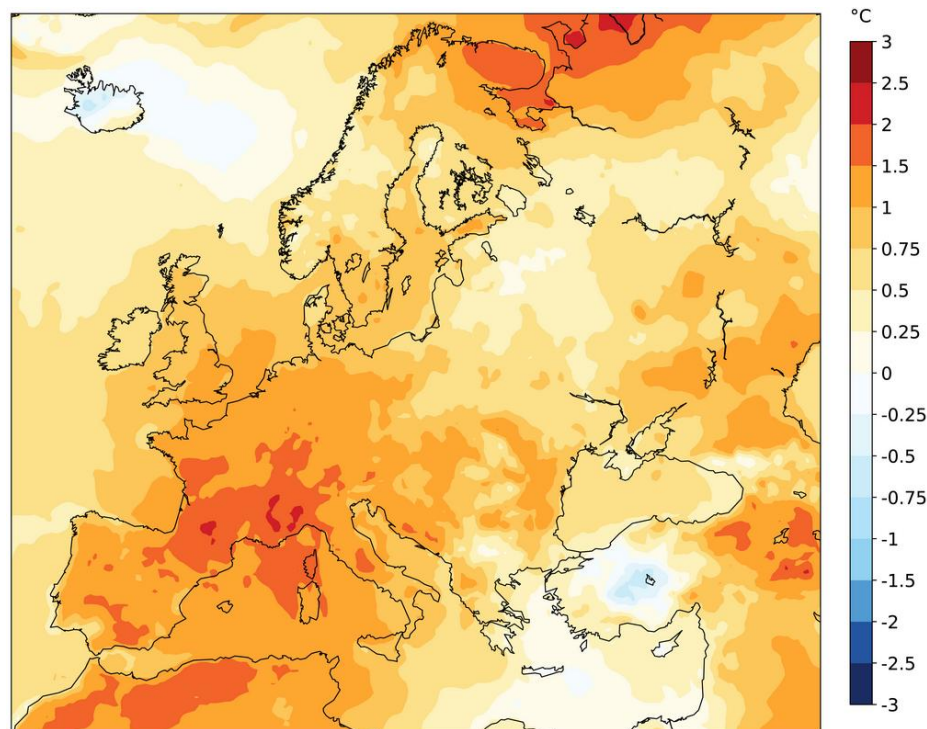
- Temperatura media mundial en 2022 fue de 1,15 °C por encima de la de 1850–1900 promedio.
- Los años 2015 a 2022 fueron los ocho más cálidos en los 173 años instrumentales de registro.
- El año 2022 fue el quinto o sexto año más cálido registrado, a pesar de las condiciones de La Niña.
- Concentraciones de los tres principales gases de efecto invernadero: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, alcanzaron niveles récord en 2021. El aumento en la concentración de CH<sub>4</sub> de 2020 a 2021 fue el más alto registrado.
- El nivel medio global del mar siguió aumentando en 2022, alcanzando un nuevo récord (1993-2022).



**Fuente: World Meteorological Organization, 2023. State of the Global Climate 2022. April 2023**  
<https://public.wmo.int/en>

## Desviación de la temperatura media del aire en superficie en 2022, en relación con el período 1991-2020

- Temperatura media mundial en 2022 fue de 1,15 °C por encima de la de 1850–1900 promedio.
- Los años 2015 a 2022 fueron los ocho más cálidos en los 173 años instrumentales de registro.
- El año 2022 fue el quinto o sexto año más cálido registrado, a pesar de las condiciones de La Niña.
- Concentraciones de los tres principales gases de efecto invernadero: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, alcanzaron niveles récord en 2021. El aumento en la concentración de CH<sub>4</sub> de 2020 a 2021 fue el más alto registrado.
- El nivel medio global del mar siguió aumentando en 2022, alcanzando un nuevo récord (1993-2022).

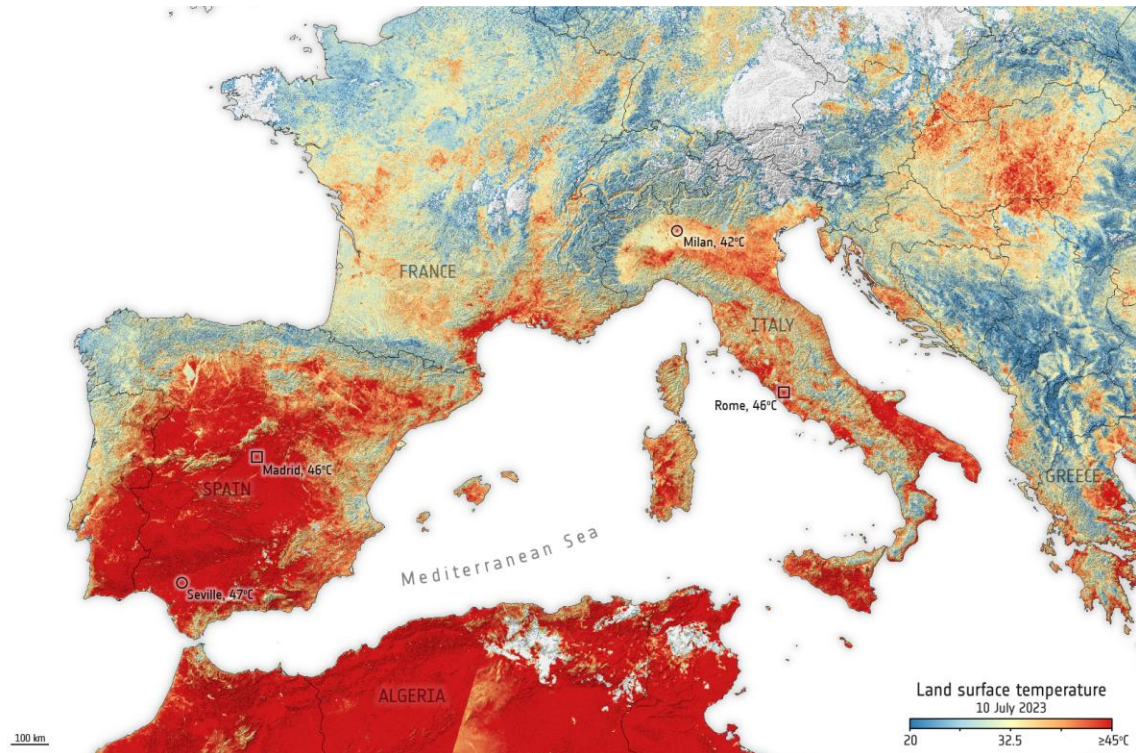


Reference period: 1991-2020, Data source: ERA5, Credit: C3S/ECMWF



## Mapa térmico - temperatura en superficie (10 julio 2023)

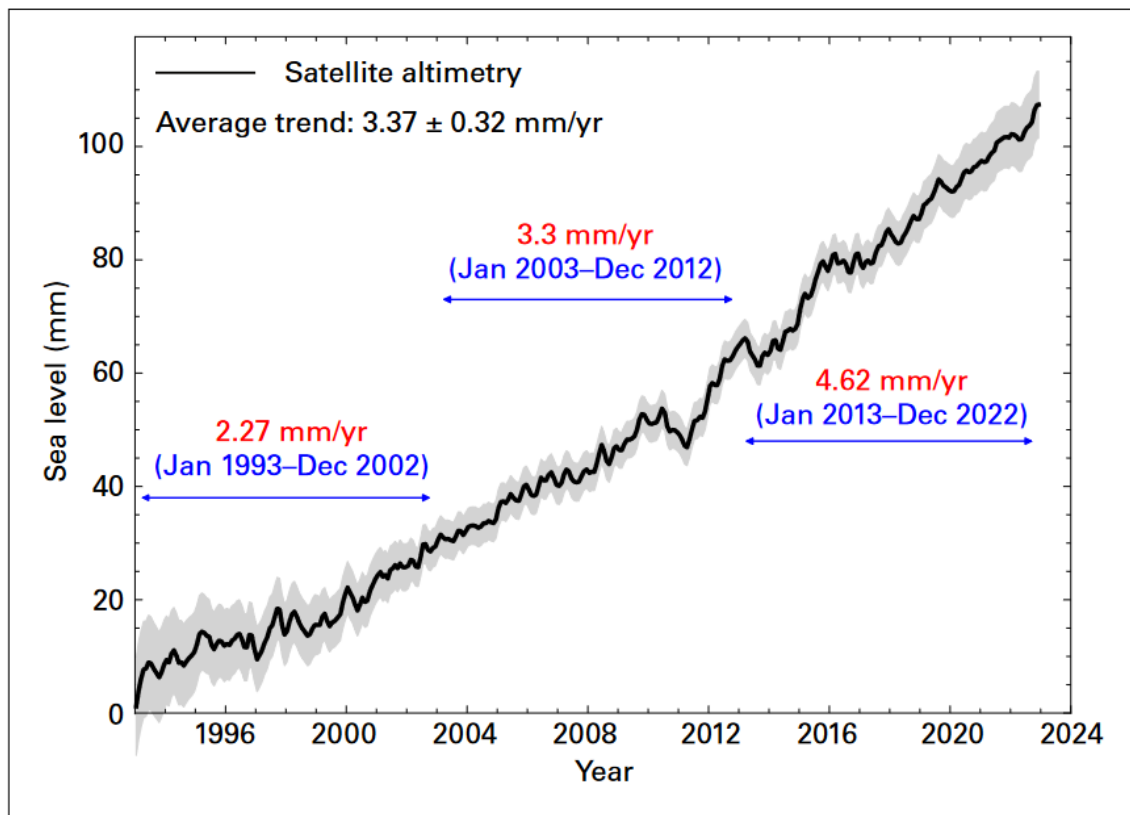
- Temperatura media mundial en 2022 fue de 1,15 °C por encima de la de 1850–1900 promedio.
- Los años 2015 a 2022 fueron los ocho más cálidos en los 173 años instrumentales de registro.
- El año 2022 fue el quinto o sexto año más cálido registrado, a pesar de las condiciones de La Niña.
- Concentraciones de los tres principales gases de efecto invernadero: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, alcanzaron niveles récord en 2021. El aumento en la concentración de CH<sub>4</sub> de 2020 a 2021 fue el más alto registrado.
- El nivel medio global del mar siguió aumentando en 2022, alcanzando un nuevo récord (1993-2022).



**Fuente: Satélites Europeos Programa Copernicus**

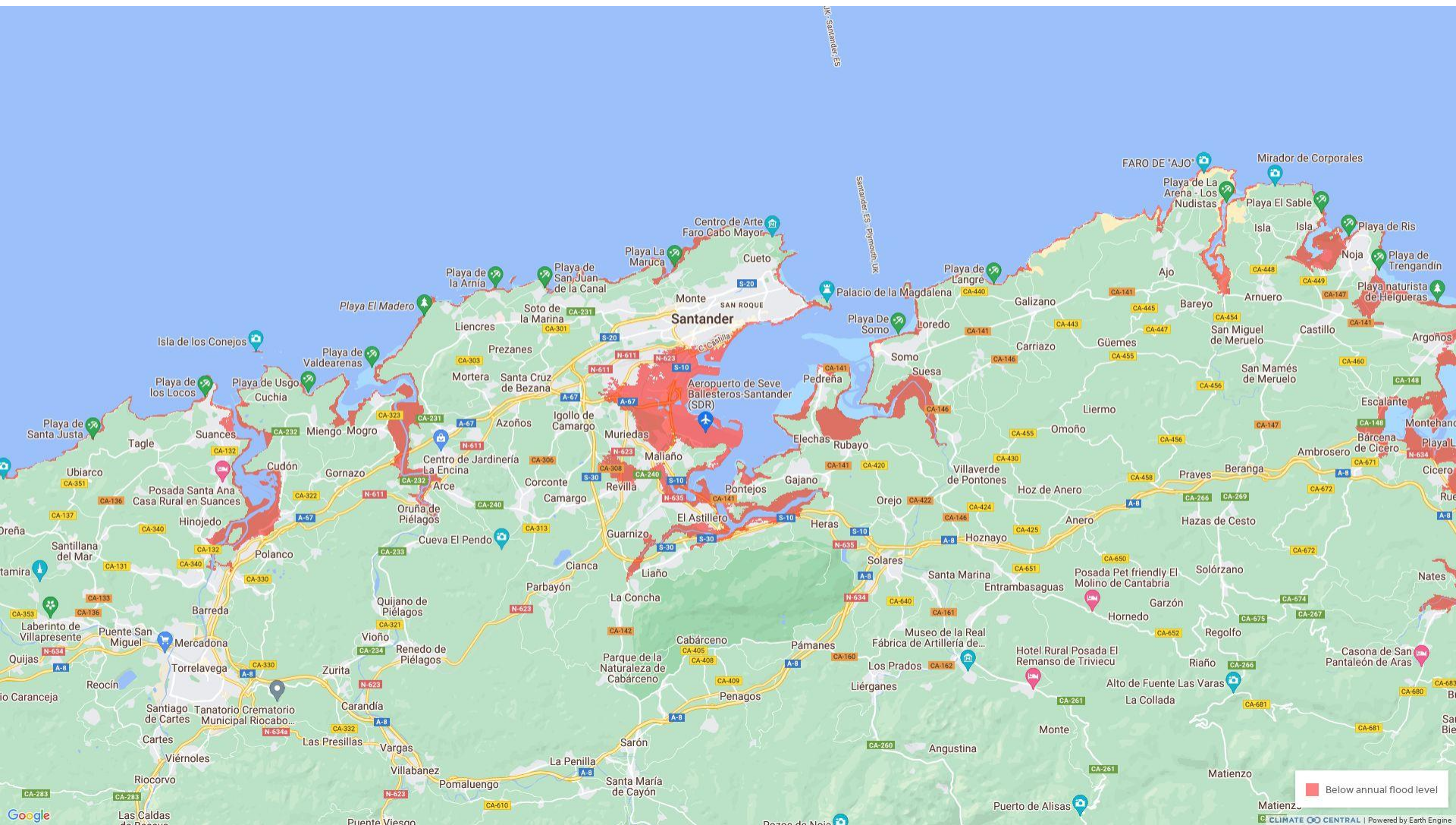
## Evolución del nivel medio global del mar desde Enero de 1993 a Diciembre de 2022

- El nivel medio global del mar siguió aumentando en 2022, alcanzando un nuevo récord (1993-2022).
- Temperatura media mundial en 2022 fue de 1,15 °C por encima de la de 1850–1900 promedio.
- Los años 2015 a 2022 fueron los ocho más cálidos en los 173 años instrumentales de registro.
- El año 2022 fue el quinto o sexto año más cálido registrado, a pesar de las condiciones de La Niña.
- Concentraciones de los tres principales gases de efecto invernadero: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, alcanzaron niveles récord en 2021. El aumento en la concentración de CH<sub>4</sub> de 2020 a 2021 fue el más alto registrado.



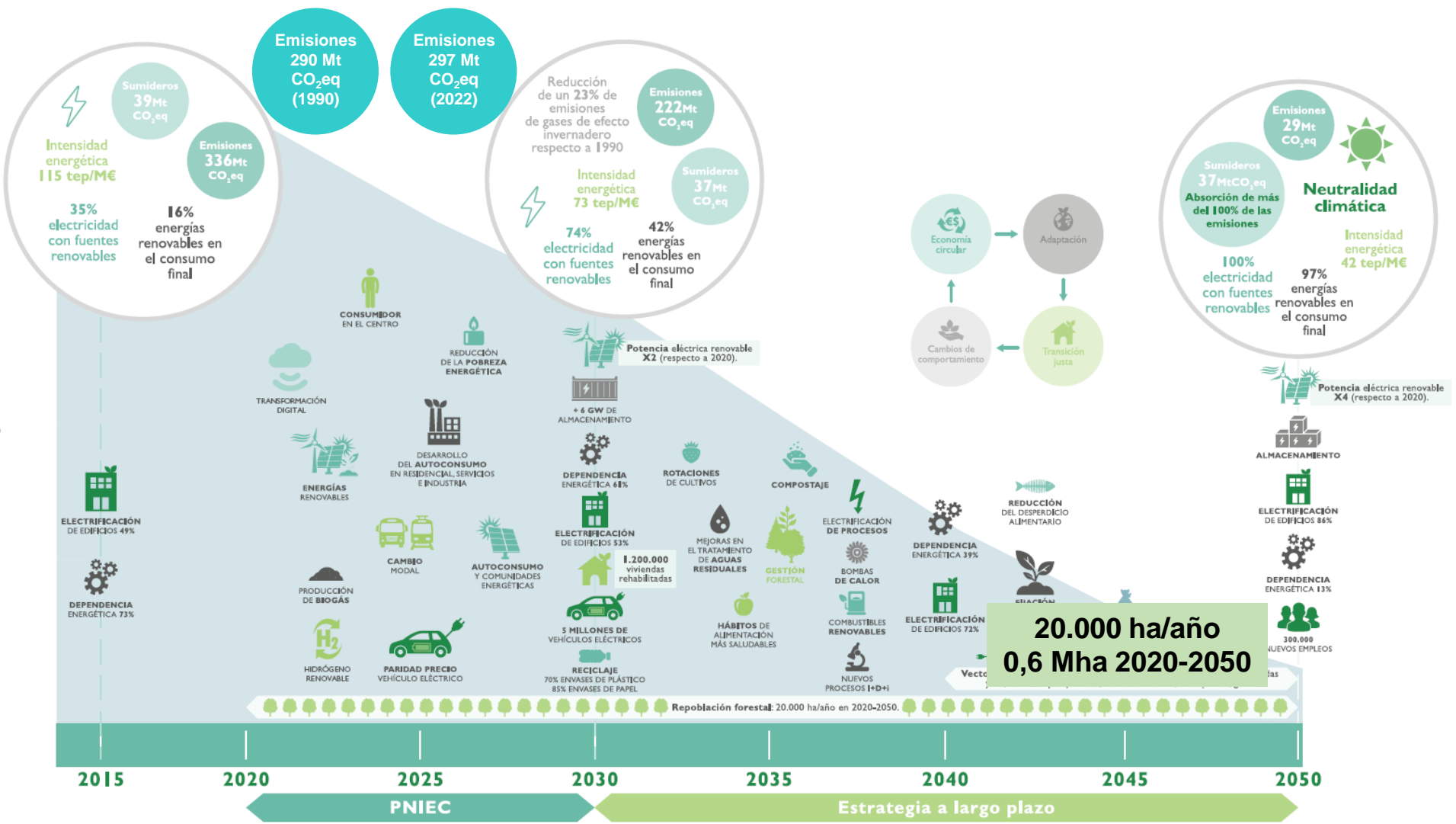
**Fuente: World Meteorological Organization, 2023. State of the Global Climate 2022. April 2023**  
<https://public.wmo.int/en>

# Proyecciones a 2050



Fuente: Climate Central: <https://bit.ly/2Jxy8Rl>

# Objetivos del PNIEC a 2030 y la ELP a 2050

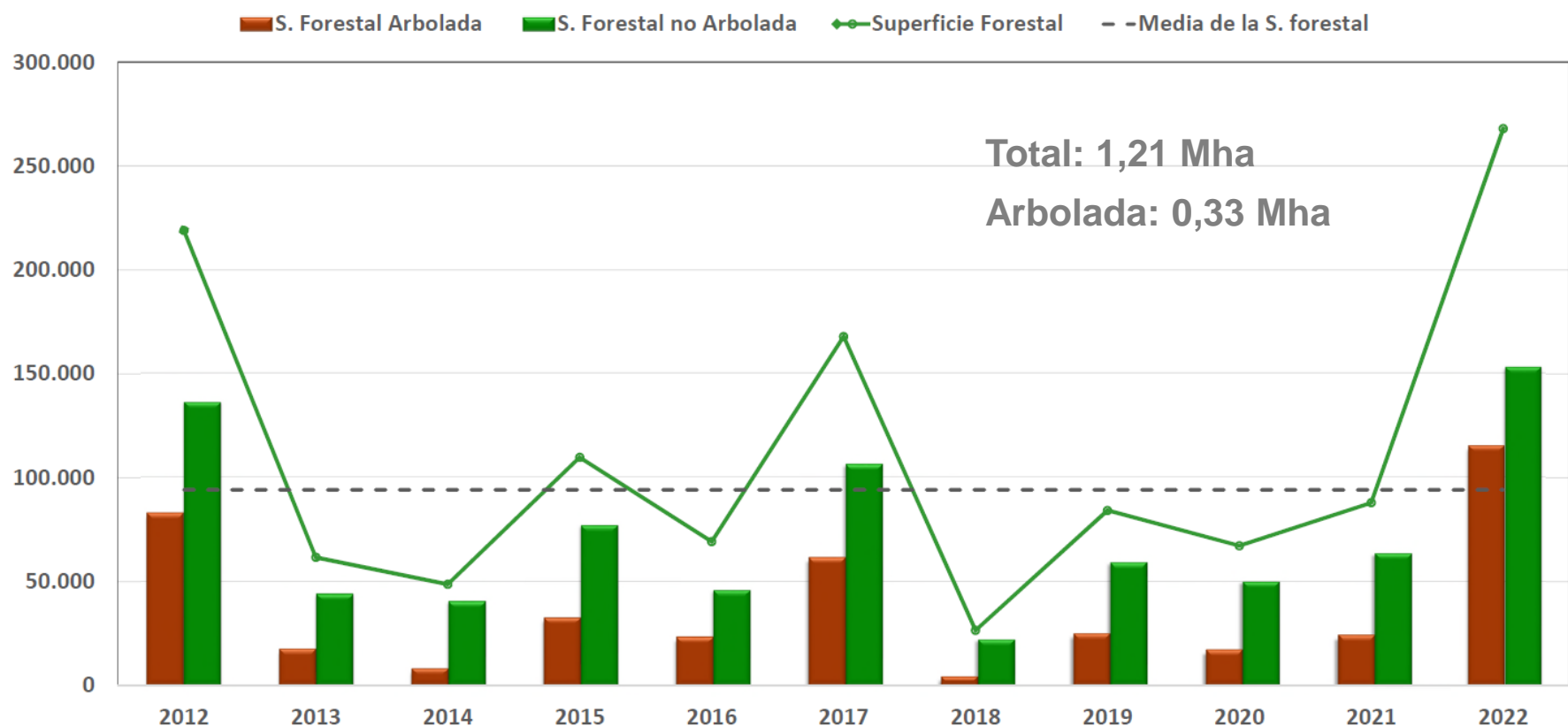


Fuente: Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo, ELP, MITECO, noviembre 2020

## AVANCE INFORMATIVO DE INCENDIOS FORESTALES DEL 1 DE ENERO AL 31 DE DICIEMBRE DE 2022\*

\*DATOS PROVISIONALES PROPORCIONADOS POR LAS COMUNIDADES AUTÓNOMAS

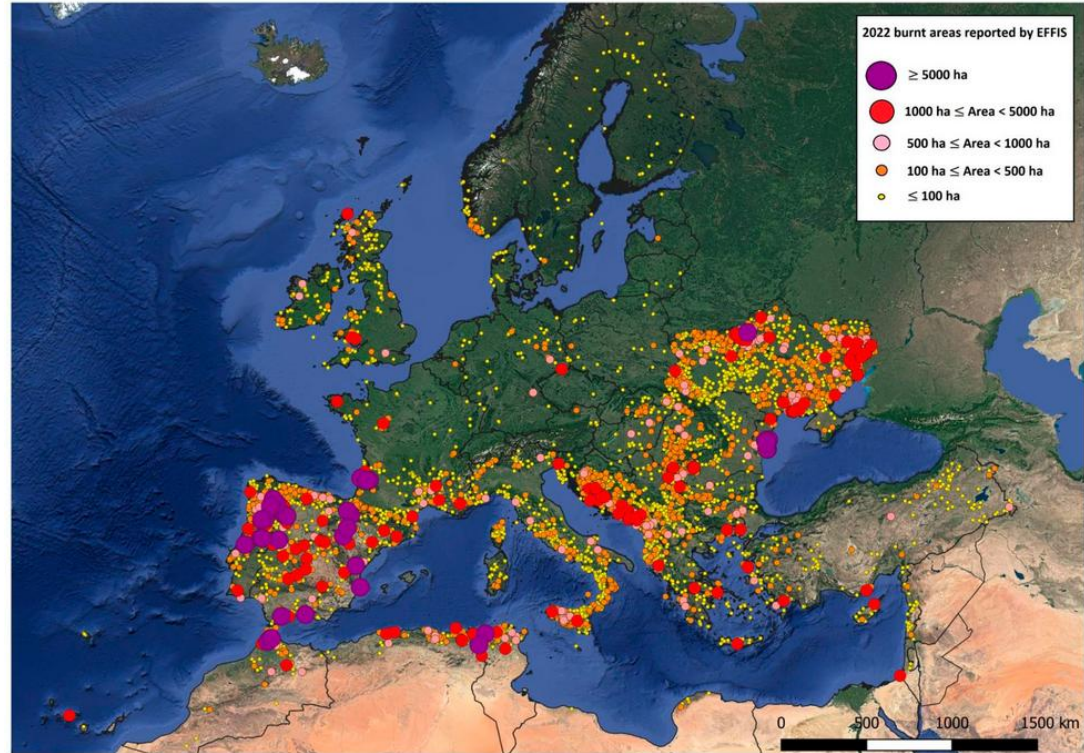
### EVOLUCIÓN DE SUPERFICIES FORESTALES AFECTADAS (ha)



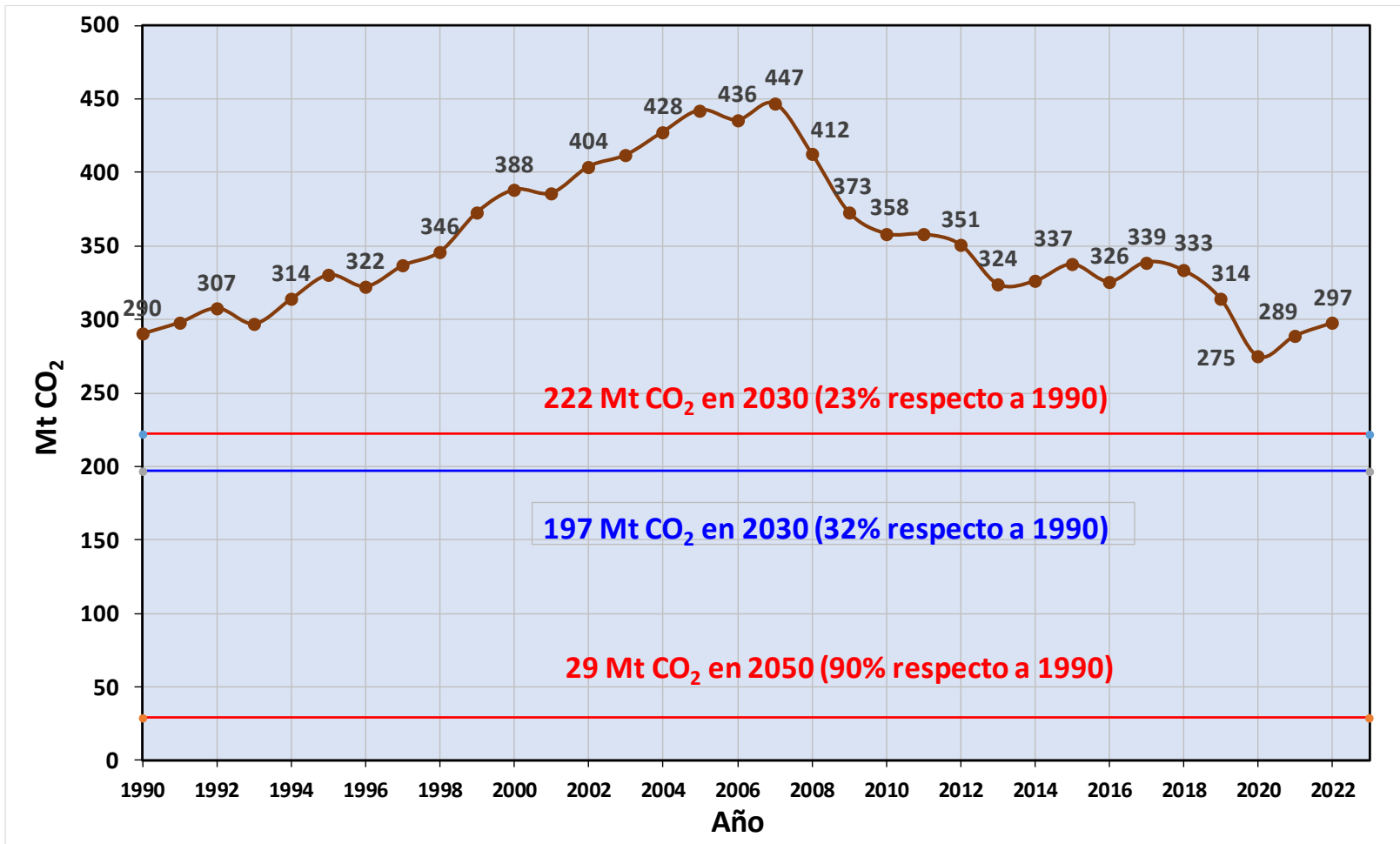
## Distribución y extensión de las áreas quemadas en Europa y el Mediterráneo en 2022

Mensaje del Secretario General de las Naciones Unidas, Antonio Guterres, con ocasión del Día de la Tierra:

- Tenemos los instrumentos, los conocimientos y las soluciones necesarios.
- Pero debemos actuar con mayor premura. Necesitamos acelerar la acción climática con reducciones más fuertes y rápidas de las emisiones a fin de limitar a 1,5 °C el aumento de la temperatura mundial.
- También debemos aumentar radicalmente las inversiones en adaptación y resiliencia, en particular para los países y las comunidades más vulnerables, que son los que menos han contribuido a la crisis.



# Histórico Emisiones de CO<sub>2</sub>eq en España



**Fuente: MITECO. Informe de inventario nacional de gases de efecto invernadero. Comunicación a la Comisión Europea. Edición 2023 (1990-2021). Marzo 2023.**

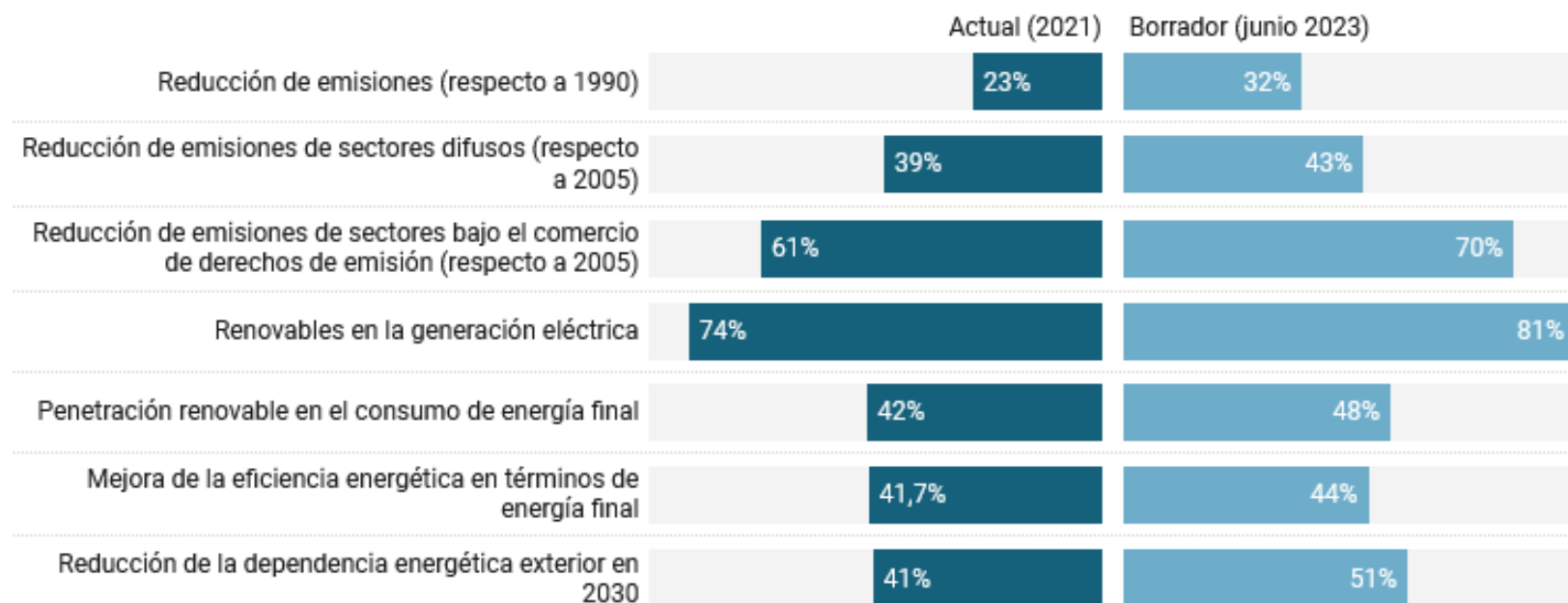
## Mayor ambición en energías renovables



Datos en Gigavatios (GW)



## El Gobierno de España aumenta su ambición climática en el nuevo borrador del PNIEC



PNIEC: Plan Nacional Integrado de Energía y Clima

Gráfico: climatica.lamarea.com • Fuente: MITECO. • [Descargar los datos](#) • Creado con [Datawrapper](#)

## Necesidad (urgente) de procesos CAUC

- **IPCC:** Las emisiones globales de GEI en 2030 asociadas con la implementación de las contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC) anunciadas antes de la COP26 harían probable que el calentamiento global supere los 1,5 °C durante el siglo XXI. Probablemente, limitar el calentamiento a menos de 2 °C dependería de una rápida aceleración de los esfuerzos de mitigación después de 2030.
- **IEA:** Los compromisos de los gobiernos hasta la fecha, incluso si se cumplen por completo, están muy por debajo de lo que se requiere para reducir las emisiones globales de CO<sub>2</sub> relacionadas con la energía a cero neto para 2050 y dar al mundo una oportunidad equitativa de limitar el aumento de la temperatura global a 1,5 °C.
- **IRENA:** Las políticas vigentes en la actualidad, denominadas en el informe Escenario Energético Planificado, simplemente estabilizarían las emisiones globales, con una ligera caída hacia 2050.
- **EC:** CCUS tiene un potencial increíble en nuestra carrera para alcanzar la neutralidad climática. Y sin CCS y CCU, será prácticamente imposible limitar el calentamiento global al objetivo de 1,5 grados centígrados. El informe del IPCC es claro al respecto. Y el modelo de la Comisión también muestra **que la UE necesitará capturar y utilizar o almacenar entre 300 y 640 Mt CO<sub>2</sub>/año para 2050** para cumplir sus objetivos climáticos.

**Fuentes:** <sup>1</sup> IPCC, Working Group III. *Mitigation of Climate Change*.

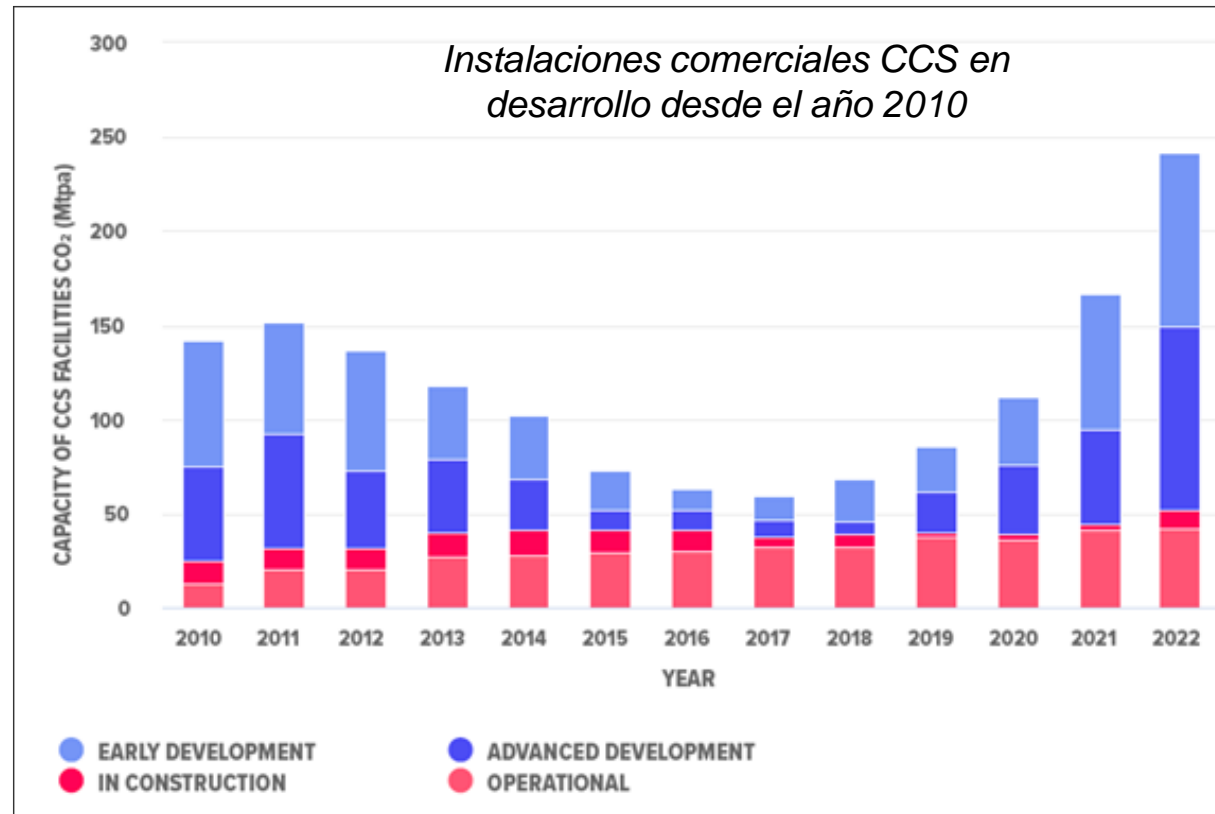
<sup>2</sup> IEA, *Capacity of large-scale CO<sub>2</sub> capture projects, current and planned vs. the Net Zero Scenario, 2020-2030*.

<sup>3</sup> IRENA. *World Energy Transitions Outlook. 1.5 °C pathway*.

<sup>4</sup> Kadri Simson. *Commissioner for Energy. Carbon Capture, Use and Storage Forum. Oslo, 27 October 2022*.

# Captura de CO<sub>2</sub>

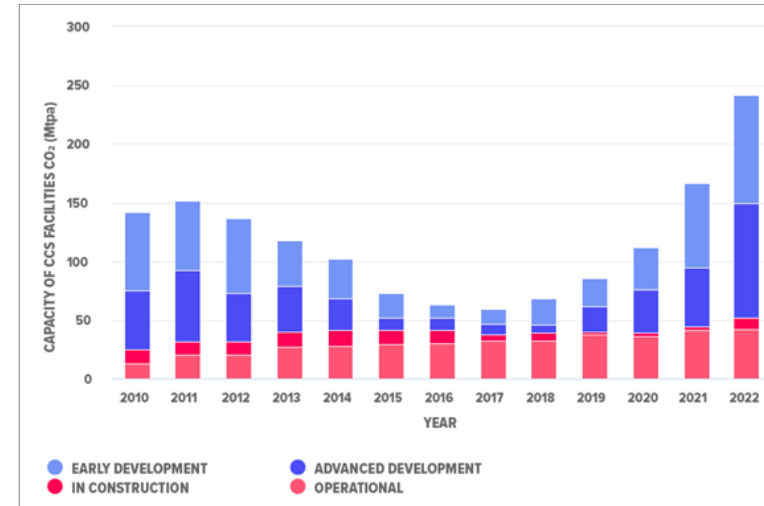
- Auge tecnologías CAC década 2000-2010. Programa NER300 de UE, incluía financiación de 12 proyectos de demostración CAC. En España se seleccionó el proyecto OXYCFB300.
- Declive de los proyectos CAC: ausencia de proyectos de demostración CAC optando al NER300. Igual a nivel mundial.
- Desde 2017 crecimiento significativo proyectos CAC. 196 proyectos en distintas etapas. Gran crecimiento en 2021-2022. Capacidad 244 Mtpa CO<sub>2</sub>.



## Causas declive

- Sector energético se gira a las renovables.
- El coste de los derechos de CO<sub>2</sub> fue muy inferior al previsto durante un largo período: 5-10 €/t.
- Los proyectos demostrativos y precomerciales exigen inversiones de decenas/centenas de millones de euros.
- Crisis económica.
- Usos limitados del CO<sub>2</sub> que no viabilizaban la inversión. Sólo almacenamiento.

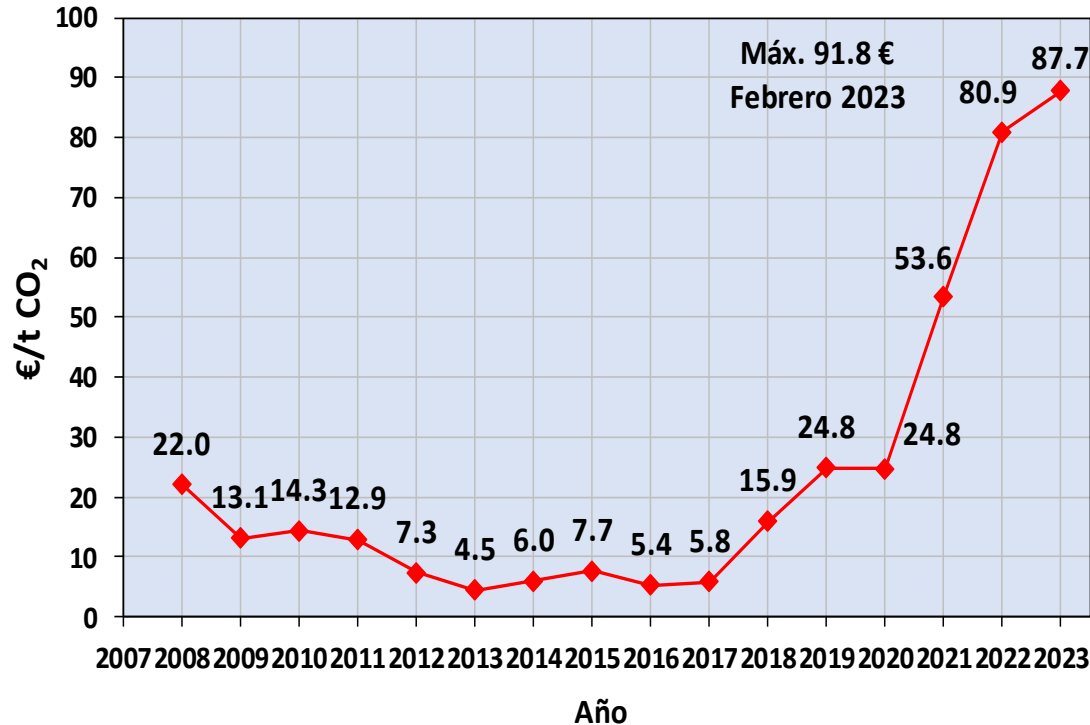
*Instalaciones comerciales CCS en desarrollo desde el año 2010*



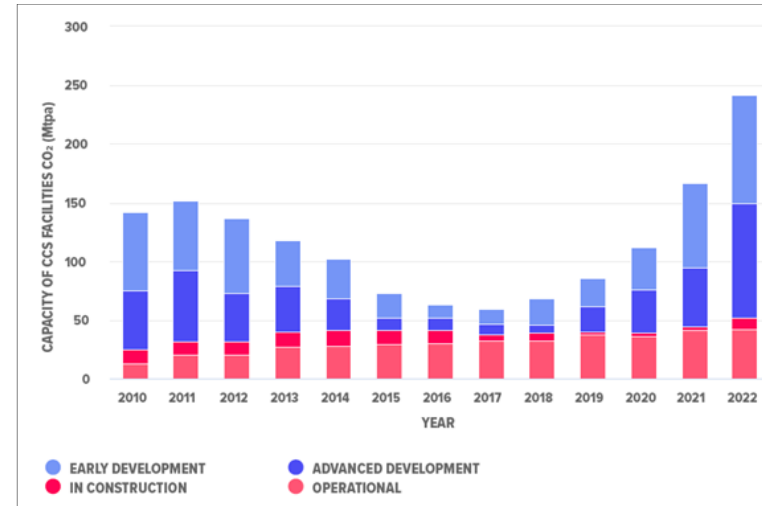
**Fuente: José Luis García Valdeolivas, Naturgy. Tecnologías CCUS en el proceso de descarbonización de la economía.**  
**En: Jornada sobre Cambio climático y oportunidades de negocio: Descarbonización industrial y tecnologías de captura, almacenamiento y usos del CO<sub>2</sub>. Zaragoza. 20 mayo 2021.**  
<https://catedrasamcadt.unizar.es/foro-tecnologico-y-empresarial/>

## Causas resurgimiento

- Aumento significativo del precio de CO<sub>2</sub>: 45-50 €/t



Instalaciones comerciales CCS en desarrollo desde el año 2010



**Fuente:** José Luis García Valdeolivas, Naturgy. *Tecnologías CCUS en el proceso de descarbonización de la economía.*  
**En:** Jornada sobre Cambio climático y oportunidades de negocio: Descarbonización industrial y tecnologías de captura, almacenamiento y usos del CO<sub>2</sub>. Zaragoza. 20 mayo 2021.  
<https://catedrasamcadt.unizar.es/foro-tecnologico-y-empresarial/>

Table 1 - Simplified definitions of Technology Readiness Level (TRL) (IEAGHG 2014) for CCS technologies.

CATEGORY	TRL	DESCRIPTION
Demonstration	9	Normal commercial service
	8	Commercial demonstration, full-scale deployment in final form
	7	Sub-scale demonstration, fully functional prototype
Development	6	Fully integrated pilot tested in a relevant environment
	5	Sub-system validation in a relevant environment
	4	System validation in a laboratory environment
Research	3	Proof-of-concept tests, component level
	2	Formulation of the application
	1	Basic principles, observed, initial concept

# Captura de CO<sub>2</sub>

TECHNOLOGY		KEY VENDORS	TRL 2020	PROJECTS
Liquid Solvent	Traditional amine solvents	Fluor, Shell, Dow, Kerr-McGee, Aker Solutions, etc	9	Widely used in fertilizer, soda ash, natural gas processing plants, e.g. Sleipner, Snøhvit, and used in Boundary Dam since 2014
	Physical solvent (Selexol, Rectisol)	UOP, Linde and Air Liquide	9	Widely used in natural gas processing, coal gasification plants, e.g. Val Verde, Shute Creek, Century Plant, Coffeyville Gasification, Great Plains Synfuels Plant, Lost Cabin Gas plant
	Benfield process and variants*	UOP	9	Fertiliser plants, e.g. Enid Fertiliser
	Sterically hindered amine	MHI, Toshiba, CSIRO, etc	6-9	Demonstration to commercial plants depending on technology providers, e.g. Petra Nova carbon capture
	Chilled ammonia process*	GE	6-7	Pilot tests to demonstration plant feasibility studies
Solid adsorbent	Pressure Swing Adsorption/Vacuum Swing Adsorption	Air Liquide, Air Products, UOP	9	Air Products Port Arthur SMR CCS
	Temperature Swing Adsorption (TSA)	Svante	5-7	Large pilot tests to FEED studies for commercial plants
	Enzyme Catalysed Adsorption	CO <sub>2</sub> solutions	6	Pilot demonstrations
	Sorbent-Enhanced Water Gas Shift (SEWGS)	ECN	5	Pilot tests, e.g. STEPWISE

**Fuente: Global CCS Institute, Technology Readiness and Costs of CCS. March 2021**

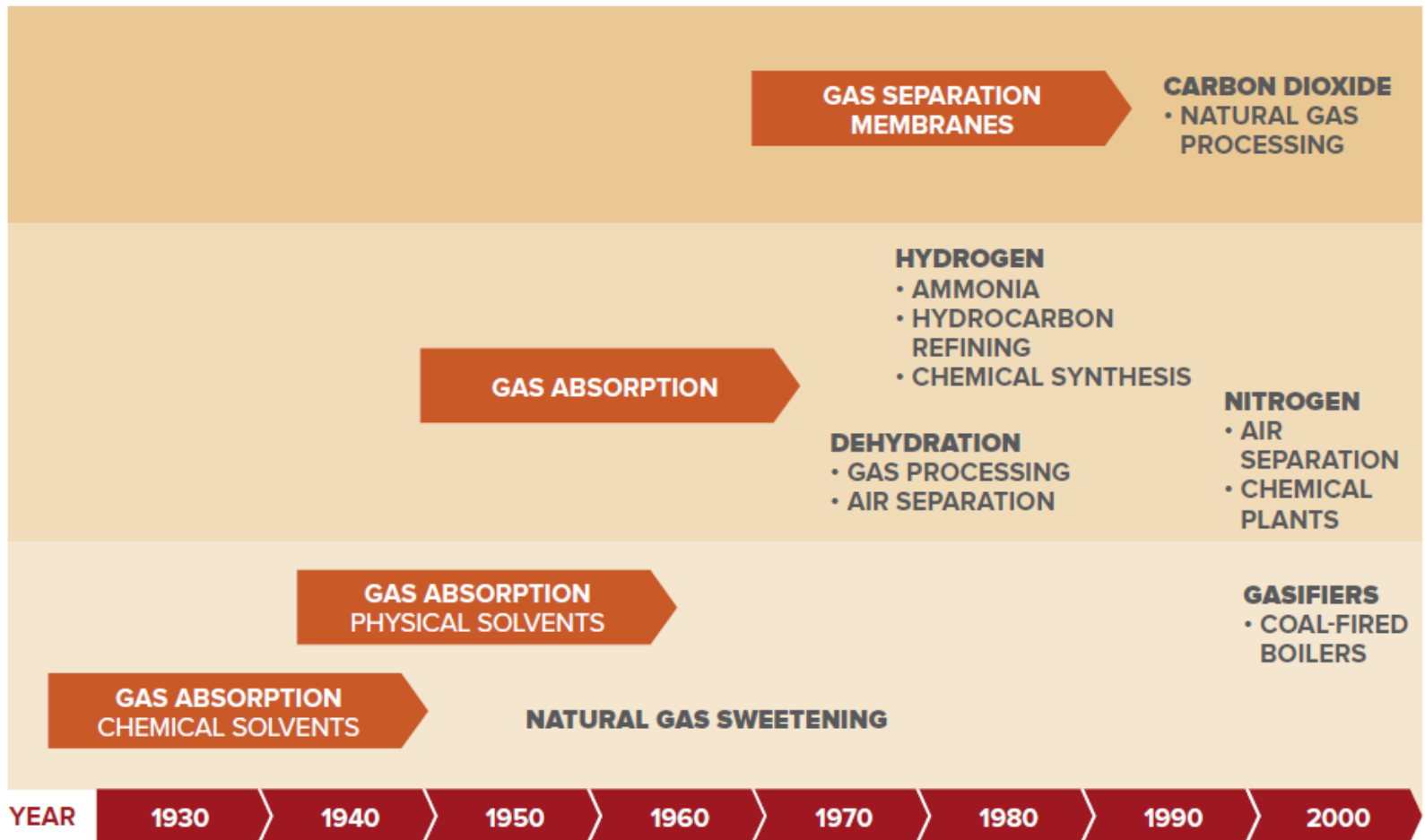
# Captura de CO<sub>2</sub>

TECHNOLOGY		KEY VENDORS	TRL 2020	PROJECTS
Membrane	Gas separation membranes for natural gas processing	UOP, Air Liquide	9	Petrobras Santos Basin Pre-Salt OIL Field CCS
	Polymeric Membranes	MTR	7	FEED studies for large pilots
	Electrochemical membrane integrated with MCFCs	FuelCell Energy	7	Large pilots at Plant Barry
	Polymeric Membranes / Cryogenic Separation Hybrid	Air Liquide, Linde Engineering, MTR	6	Pilot studies
	Polymeric Membranes/ Solvent Hybrid	MTR/ University of Texas	4	Conceptual studies
	Room Temperature Ionic Liquid (RTIL) Membranes	R&D only	2	Lab tests
Solid-looping	Calcium Looping (CaL)	Carbon Engineering	6-7	Feasibility/cost studies for commercial scale
	Chemical Looping Combustion	Alstom	5-6	Pilot tests
Inherent CO <sub>2</sub> capture	Allam-Fetvedt Cycle	8 Rivers Capital	6-7	50 MW Demonstration Plant in La Porte
	Calix Advanced Calciner*	Calix	5-6	Large pilot LEILAC

**Fuente: Global CCS Institute, Technology Readiness and Costs of CCS. March 2021**

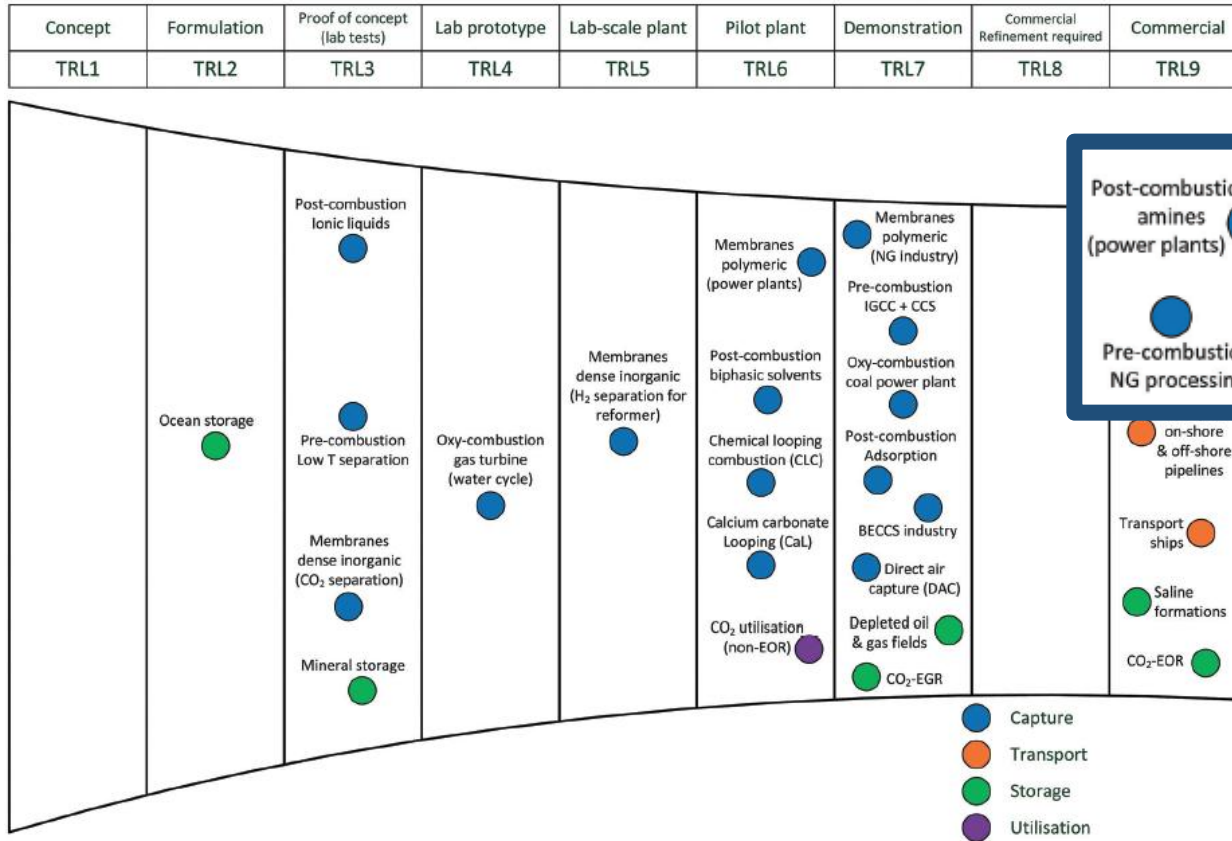


# Captura de CO<sub>2</sub>



# Captura de CO<sub>2</sub>

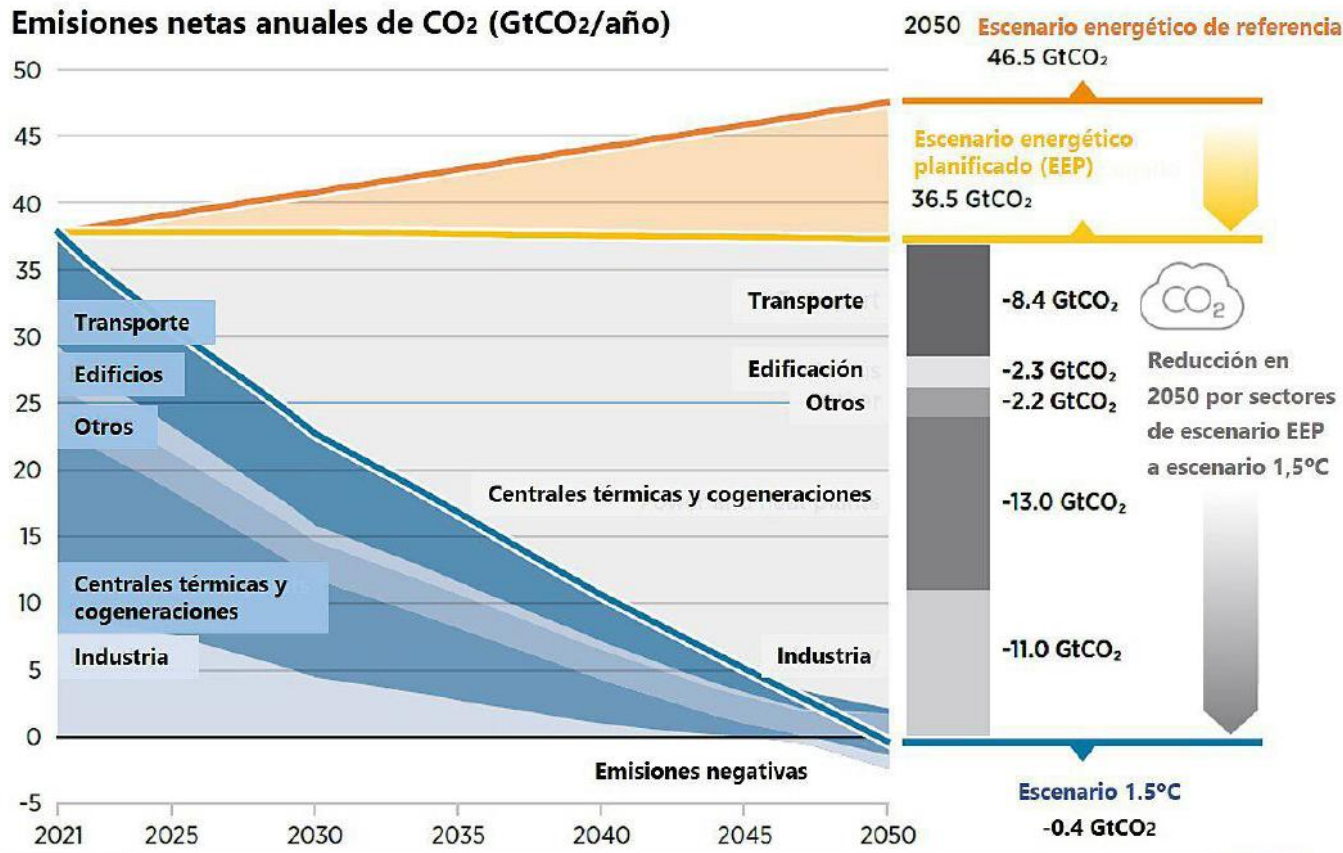
## Estado Actual



En 2022: 30 plantas CAC en operación + 11 en construcción

Fuente: 30 autores. Carbon capture and storage (CCS): The way forward. Energy Env. Sci., 5, 1062-1176 (2018)

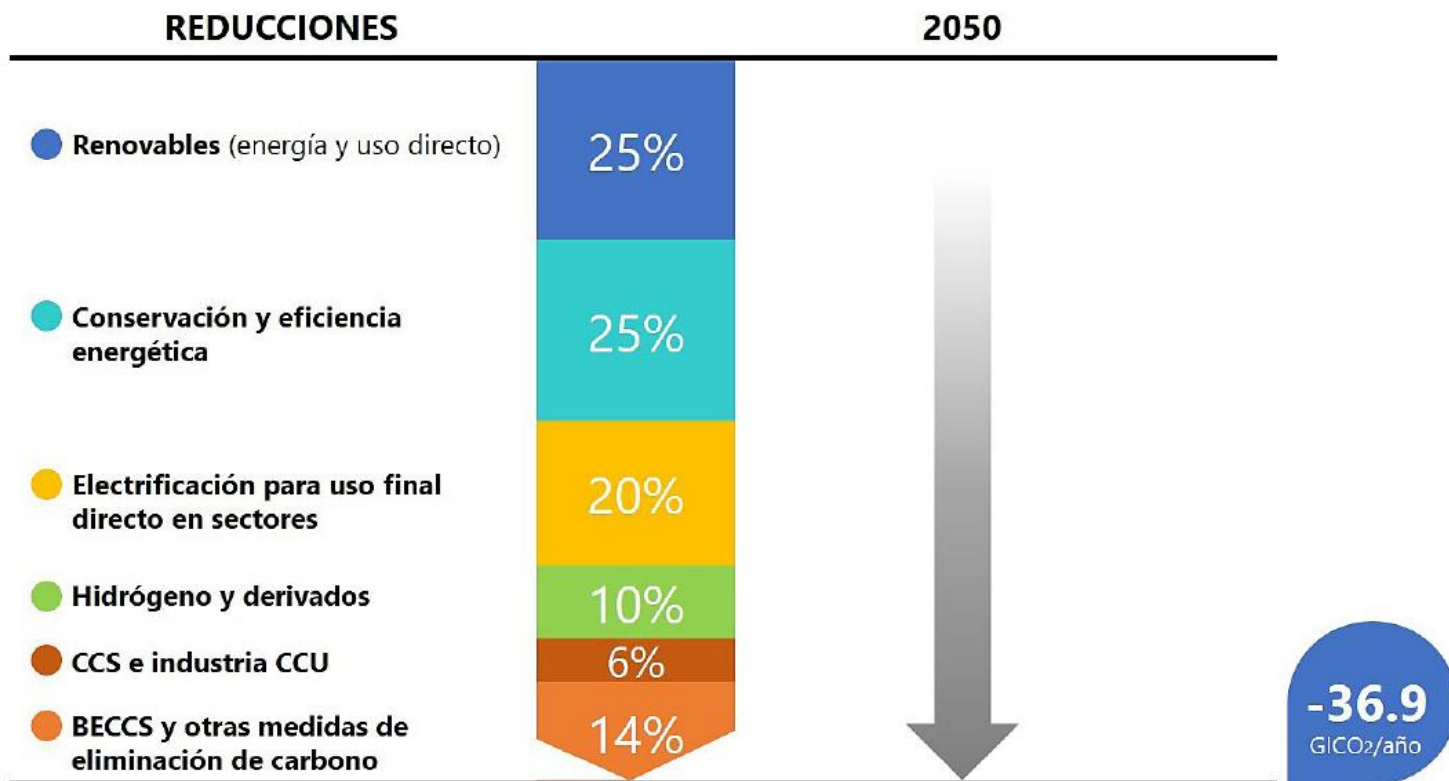
# Captura de CO<sub>2</sub>



El Escenario Energético Planificado (EEP) es el caso de referencia principal para el informe de IRENA. Proporciona una perspectiva de la trayectoria de emisiones de CO<sub>2</sub> en base a las planificaciones energéticas de los Gobiernos incluyendo las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDCs) del Acuerdo de París.

**Fuentes:**

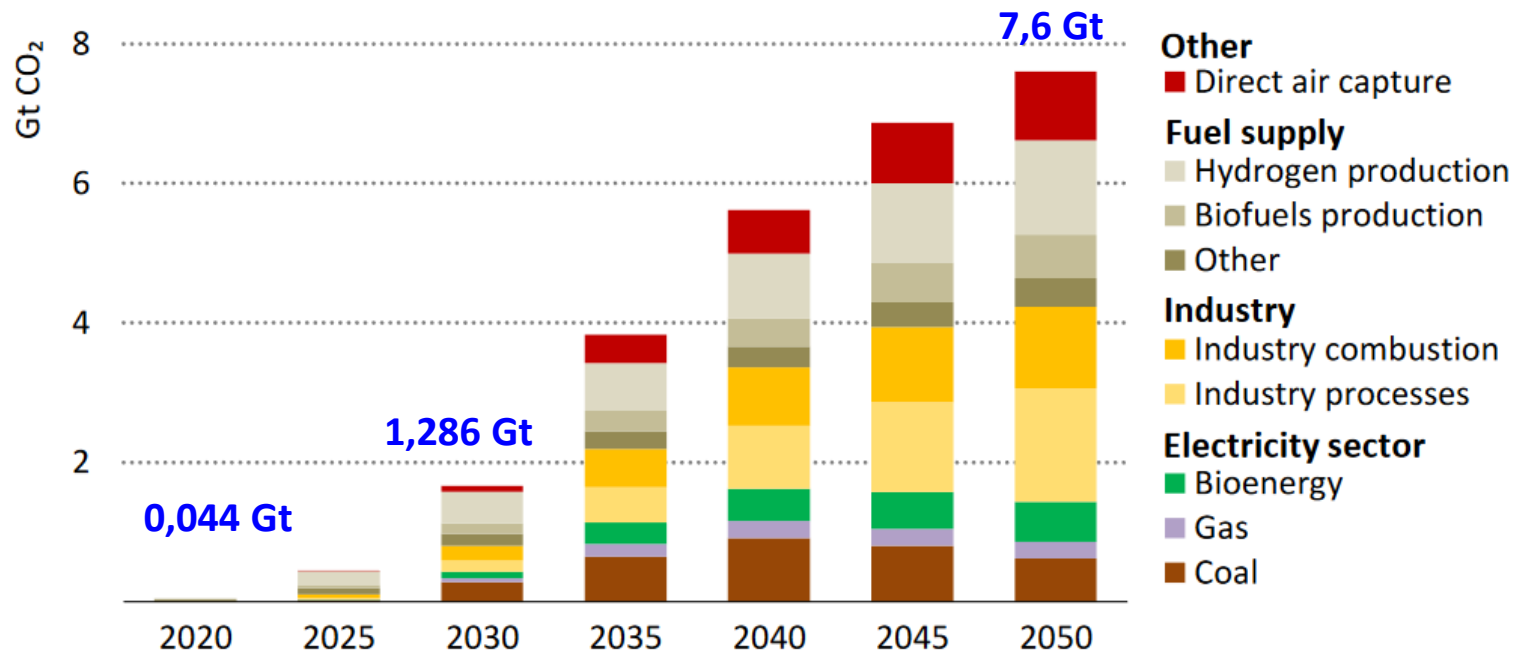
- IRENA. *International Renewable Energy Agency. World Energy Transitions Outlook: 1,5 °C Pathway (2021)*
- *Energía y Geoestrategia 2022. Ministerio de Defensa. V. Cortés y B. Navarrete. Capítulo 4. La captura de CO<sub>2</sub>. Un pilar indispensable de la descarbonización. [https://www.ieee.es/Galerias/fichero/cuadernos/Energia\\_y\\_Geoestrategia\\_2022.pdf](https://www.ieee.es/Galerias/fichero/cuadernos/Energia_y_Geoestrategia_2022.pdf)*



**Fuentes:**

- IRENA. *International Renewable Energy Agency. World Energy Transitions Outlook: 1,5 °C Pathway (2021)*
- *Energía y Geoestrategia 2022. Ministerio de Defensa. V. Cortés y B. Navarrete. Capítulo 4. La captura de CO<sub>2</sub>. Un pilar indispensable de la descarbonización. [https://www.ieee.es/Galerias/fichero/cuadernos/Energia\\_y\\_Geoestrategia\\_2022.pdf](https://www.ieee.es/Galerias/fichero/cuadernos/Energia_y_Geoestrategia_2022.pdf)*

**Figure 2.21** ▶ Global CO<sub>2</sub> capture by source in the NZE

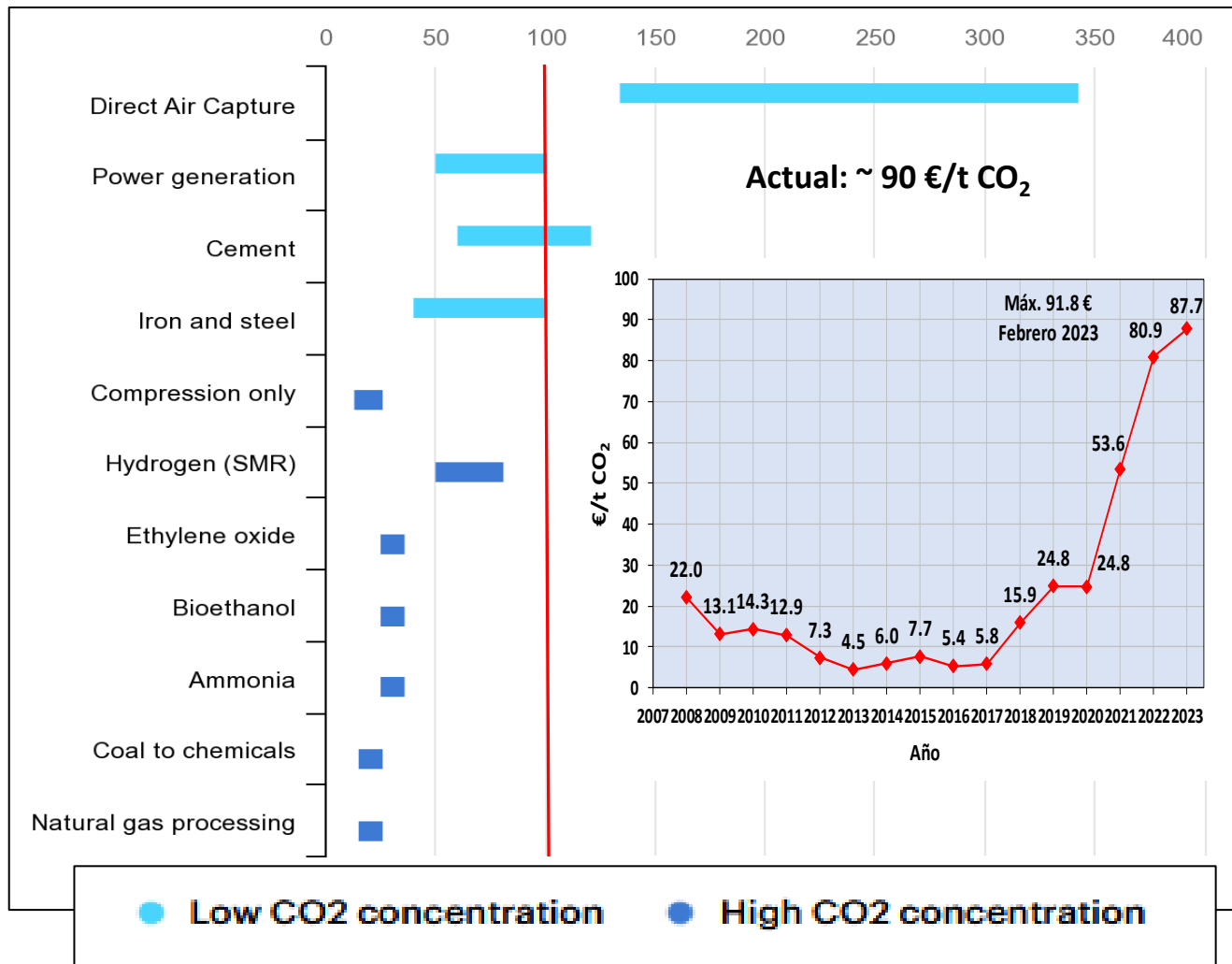


IEA. All rights reserved.

*By 2050, 7.6 Gt of CO<sub>2</sub> is captured per year from a diverse range of sources. A total of 2.4 Gt CO<sub>2</sub> is captured from bioenergy use and DAC, of which 1.9 Gt CO<sub>2</sub> is permanently stored.*

# Captura de CO<sub>2</sub>

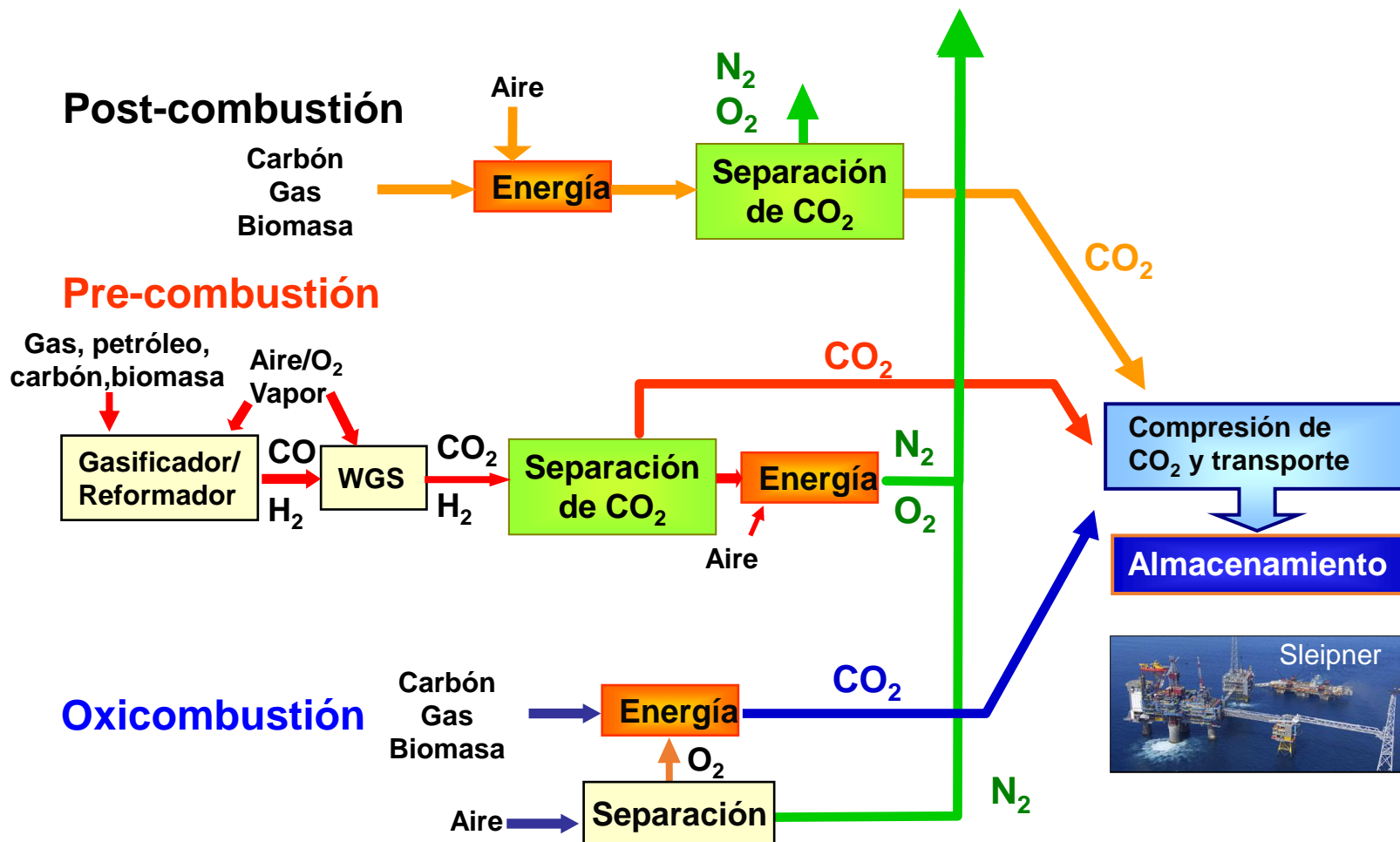
## Coste normalizado USD/t CO<sub>2</sub> por sector



Fuente: International Energy Agency, Levelised cost of CO<sub>2</sub> capture by sector and initial CO<sub>2</sub> concentration, 2019

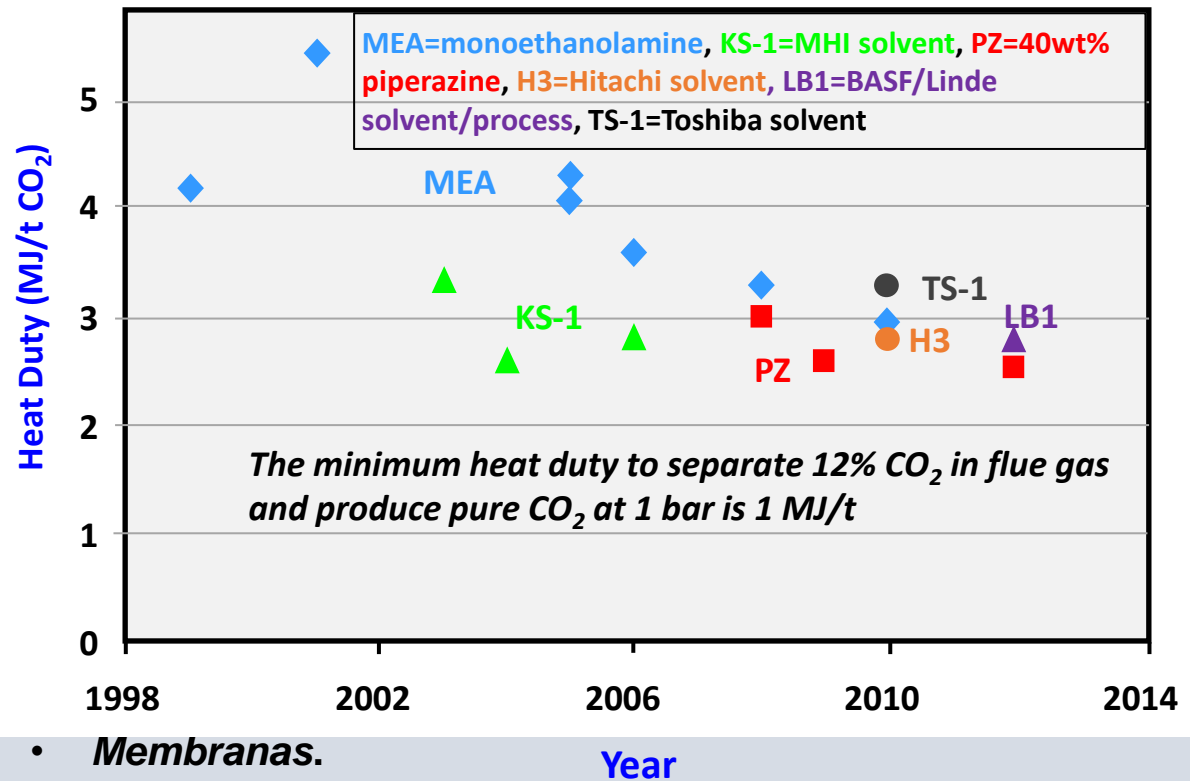
## Sistemas de captura de CO<sub>2</sub>

- Se suelen clasificar en función del lugar donde se sitúa la gran etapa de separación de gases en el sistema y del tipo de gas que se separa en los mismos: **post-combustión**, **pre-combustión**, **oxicombustión**



➤ **Grandes fuentes estacionarias (> 0,1 Mt CO<sub>2</sub>/año) :**

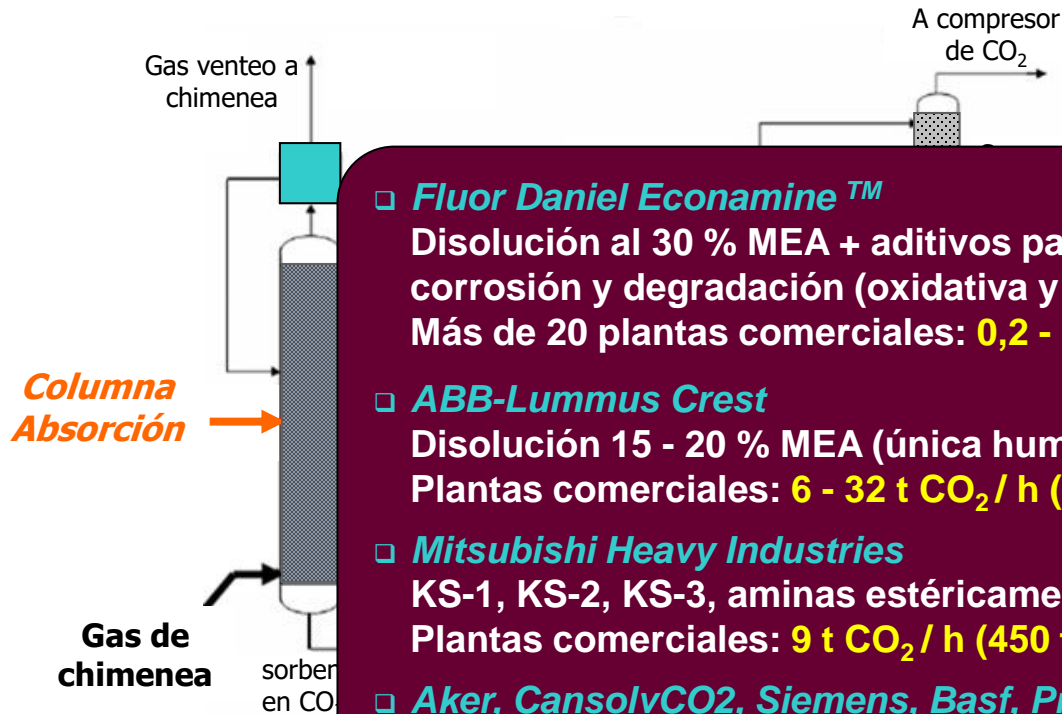
- Centrales térmicas.
- Cementeras.
- Refinerías.



- Membranas.
- Adsorción.



## Post-combustión: Absorción química



**Columna Absorción**

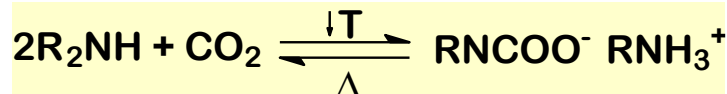
Gas de chimenea

**Etapa I: Absorción**

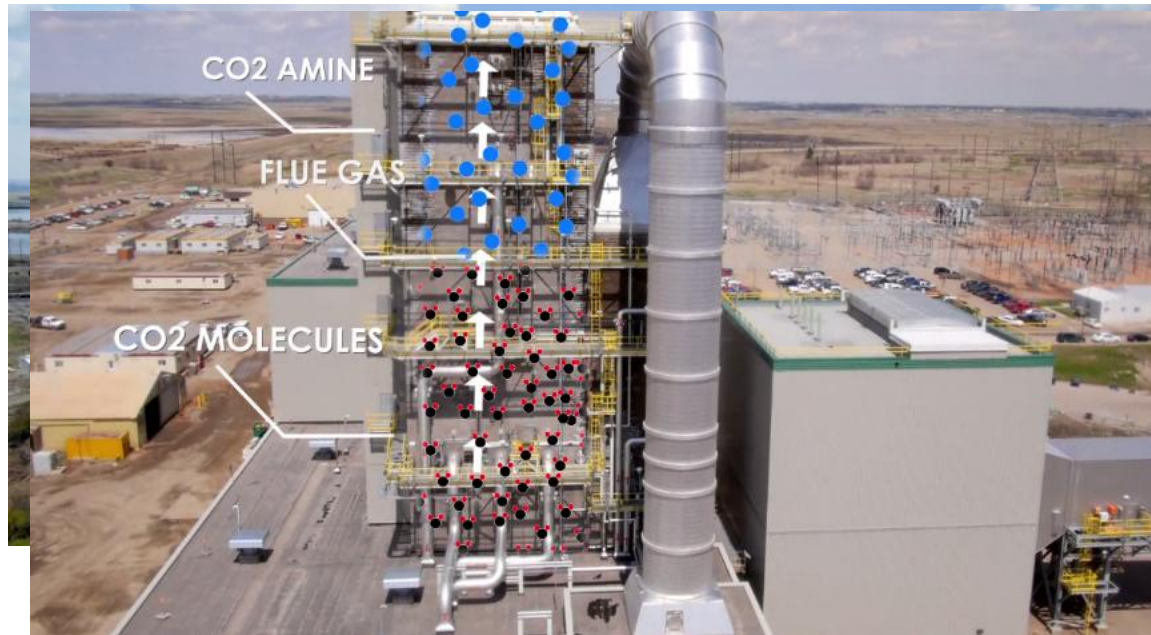
**Etapa II: Regeneración con vapor**

- ❑ **Fluor Daniel Econamine™**  
 Disolución al 30 % MEA + aditivos para control de corrosión y degradación (oxidativa y térmica)  
 Más de 20 plantas comerciales: **0,2 - 15 t CO<sub>2</sub> / h (330 t/d)**
- ❑ **ABB-Lummus Crest**  
 Disolución 15 - 20 % MEA (única humos CT carbón)  
 Plantas comerciales: **6 - 32 t CO<sub>2</sub> / h (400-800 t/d)**
- ❑ **Mitsubishi Heavy Industries**  
 KS-1, KS-2, KS-3, aminas estéricamente impedidas  
 Plantas comerciales: **9 t CO<sub>2</sub> / h (450 t/d)**
- ❑ **Aker, CansolvCO2, Siemens, Basf, Praxair**

**Una CT de carbón de 750 MWe genera más de 500 t/h CO<sub>2</sub>**

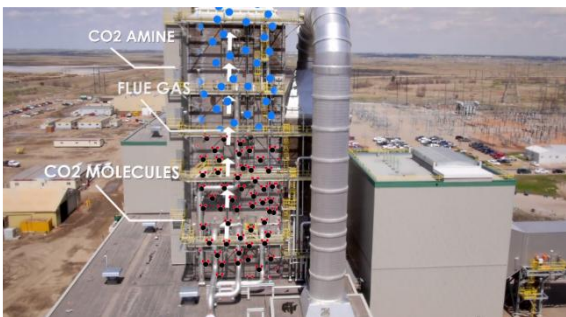


## Primera Planta Comercial de Captura de CO<sub>2</sub> en una Central Térmica de Carbón



- ✓ **Boundary Dam Power Station (Canadá): 4 Grupos, 750 MWe**
- ✓ **Grupo 3: 115 MWe, incorpora absorción con aminas. Diseño captura 1 Mt CO<sub>2</sub>/año.**
- ✓ **Comienzo operación: 2 octubre 2014 (hasta junio 2023 ha capturado ~ 5,4 Mt CO<sub>2</sub>).**
- ✓ **Para EOR (Weyburn, 66 km) o almacenamiento en acuífero salino (3,4 km profundidad, 2 km distancia).**
- ✓ **Reducción 90% CO<sub>2</sub>, 100% SO<sub>2</sub> (producción de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)**

## Boundary Dam The first coal power station in the world to successfully use CCS



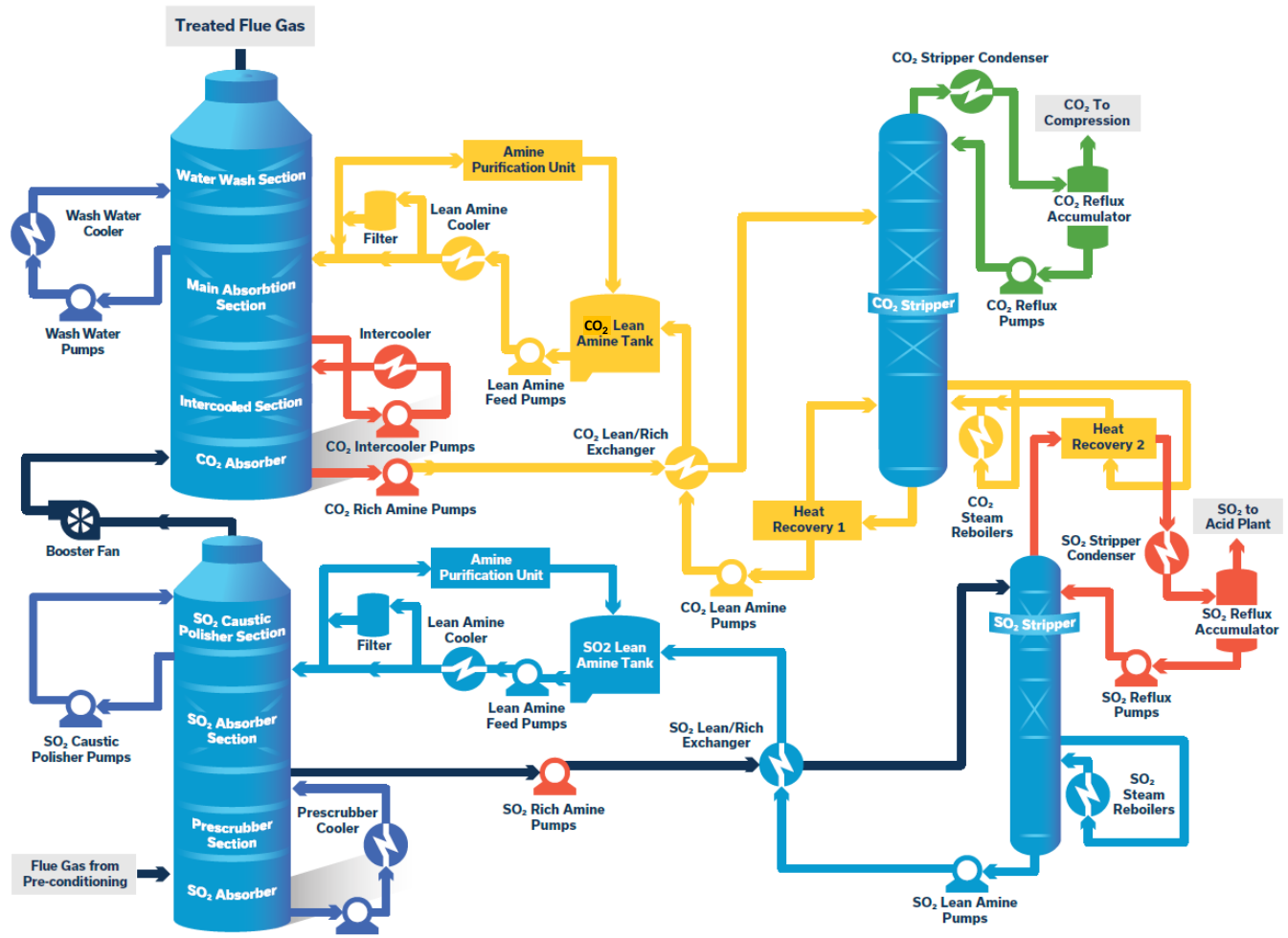
### RISKS

- No experience in the industry with respect to similar sizes CO<sub>2</sub> capture process from flue gas: scale-up.
- CO<sub>2</sub> capture efficiency and energy consumption.
- Contaminants handling and influence on degradation (oxidation, SO<sub>2</sub>, particles, etc.), which only apply to coal fired power plant flue gas.
- Environmental concerns (emissions to air).

### ACHIEVEMENTS

- ✓ Saskpower's Boundary Dam power station (Canada), 4 Units 750 Mwe, Unit 3: 115 MWe; 1 Mt CO<sub>2</sub>/year.
- ✓ Start of operation: 2 October 2014
- ✓ Capture of approximately 5.4 Mt CO<sub>2</sub> up to June 2023.
- ✓ EOR (Weyburn, 66 km) or storage in a saline aquifer (3.2 km deep, 2 km distance).

# Post-combustión: Absorción química



Proceso combinado Shell Cansolv de captura de SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>

## Petra Nova

The world's largest post-combustion carbon capture project



The Petra Nova 240 MWe carbon capture project at the WA Parish generating station, NRG Energy, southwest of Houston, Texas (JX Nippon Oil & Gas Exploration Corp., current owner)



Carbon capture facility. Absorber Tower in the foreground. Regenerator Tower next to it . Co-generation system at the top right



The CO<sub>2</sub> is used for EOR. Sent through this pipeline inlet at ~ 130 bar

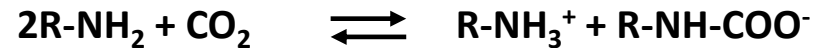
## Post-combustión: Absorción química

### Petra Nova

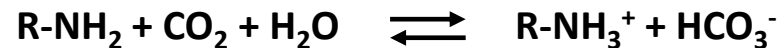
The world's largest post-combustion carbon capture project

- ✓ Petra Nova uses the KM-CDR Process<sup>®</sup>, jointly developed by Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. (MHI) and the Kansai Electric Power Co., Inc., and employs a proprietary KS-1 high-performance solvent for the CO<sub>2</sub> absorption and desorption.

#### Mono-ethanol amine (MEA)



#### Sterically hindered amine (KS-1)



Only 1 mole of KS-1 to react with 1 mole of CO<sub>2</sub>  $\Rightarrow$  less use of solvent

# Post-combustión: Absorción química

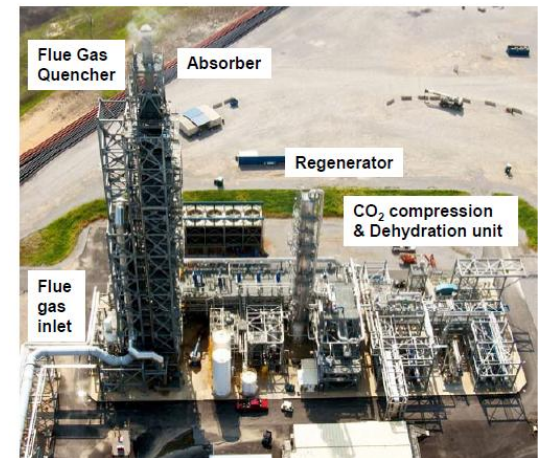
## Petra Nova The world's largest post-combustion carbon capture project



**KM-CDR Process®: 11 commercial plants in operation since 1999, from natural gas fired steam reformer flue gas, and heavy oil fired boiler flue gas.**

### Southern company Plant Barry demonstration plant (Alabama):

- 117,000 Nm<sup>3</sup>/h flue gas , corresponding to 25 MWe
- 10.1 % CO<sub>2</sub> (wet)
- 90% CO<sub>2</sub> capture, 500 tonnes/day, 150,000 tones/year



## Post-combustión: Absorción química

### Petra Nova

The world's largest post-combustion carbon capture project

- ✓ Elimina ~10 % del CO<sub>2</sub> de los cuatro grupos de carbón, capturando más del 90% del CO<sub>2</sub> de una corriente de gas de combustión equivalente a 240 MWe del grupo 8 (650 MWe).
- ✓ Petra Nova puede producir 1.500.000 toneladas de CO<sub>2</sub> al año (1,6 Mt/año).  
 Concentración CO<sub>2</sub>: 15-20%.  
 2016. Petra Nova capta 1.600.000 toneladas de CO<sub>2</sub> al año.

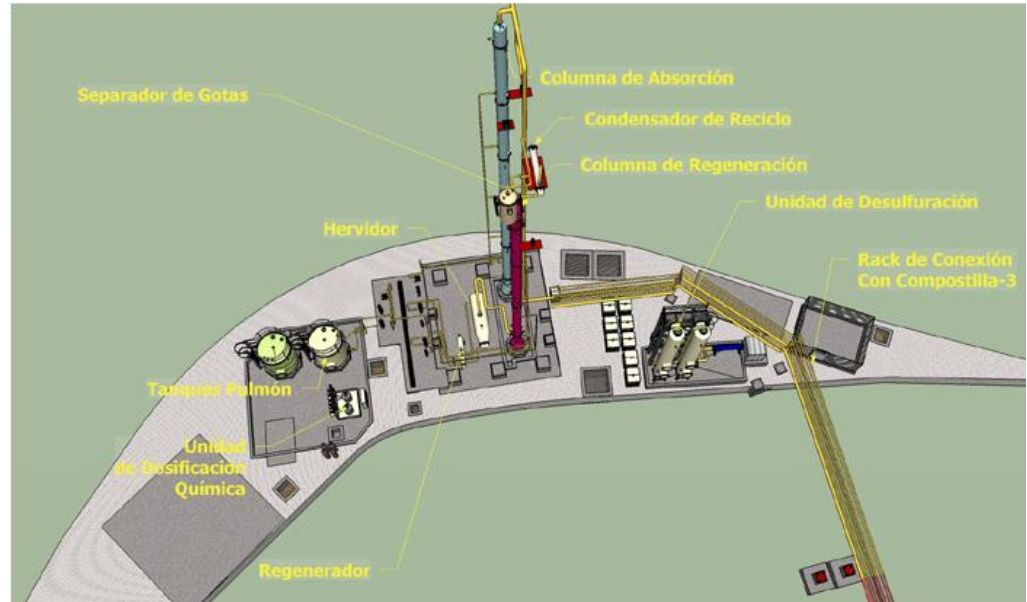


Secretary of Energy, head of DOE, Rick Perry:  
 "Carbon dioxide is not the primary cause of climate change".  
 "Most likely the ocean waters and the environment are the main drivers".

- ✓ Envía el CO<sub>2</sub> a 129 km de distancia a un yacimiento de 1930 y producía 1.500.000 toneladas de CO<sub>2</sub> al año.  
 consume 3.500 toneladas de metano por día y produce menos de 300 bbl/día de gas natural.  
 consume 1.500 toneladas de metano por día y produce menos de 300 bbl/día y recuperar 600 bbl/día de gas natural.
- ✓ Desde la puesta en marcha en 2014, Petra Nova ha producido 1.600.000 toneladas de CO<sub>2</sub> al año.  
 demostración de tecnología de captura de CO<sub>2</sub> en un proceso de combustión procesado. Petra Nova se ha visto afectada por los efectos de la recesión económica mundial. Dado el estado de los mercados petroleros, en mayo de 2020, la instalación de captura de carbono cesó la actividad y se espera que vuelva a estar en funcionamiento cuando mejoren las condiciones económicas.

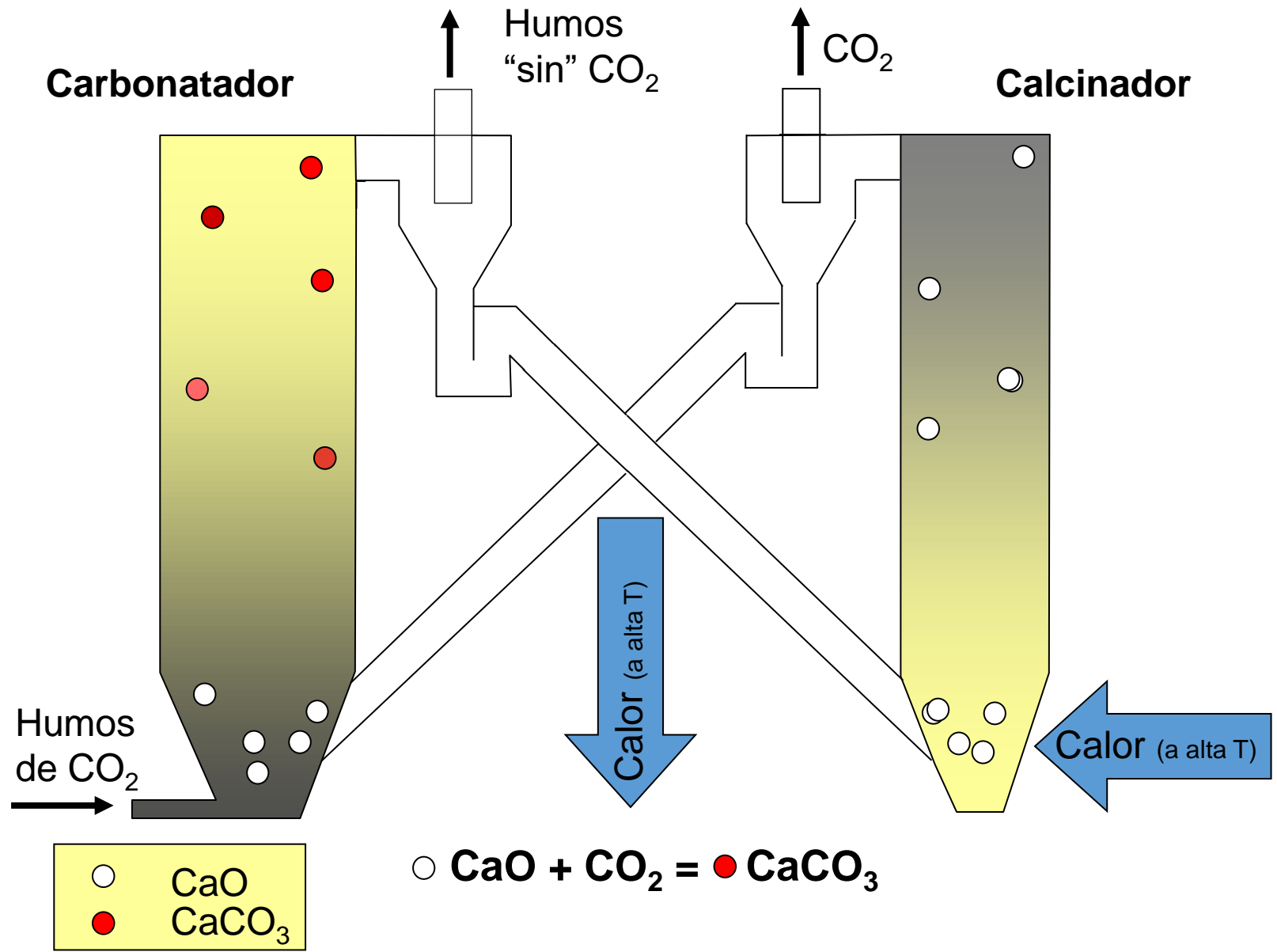


## Post-combustión: Absorción química



- ENDESA, 2009, planta piloto de 300 kWt, en la central térmica de Compostilla (León), 4 grupos, 1,3 GWe.
- Primera planta de captura de CO<sub>2</sub> en entrar en funcionamiento en España integrada en una central térmica.
- Capaz de tratar 800 Nm<sup>3</sup>/h de gases de combustión.
- Diseñada y construida dentro del Proyecto CENIT CO<sub>2</sub>
- Acumuló más de 2500 horas de operación. Ensayadas distintas concentraciones de MEA, y otros absorbentes químicos desarrollados en colaboración con otros centros de investigación nacionales.

# Post-combustión: Carbonatación-Calcinación



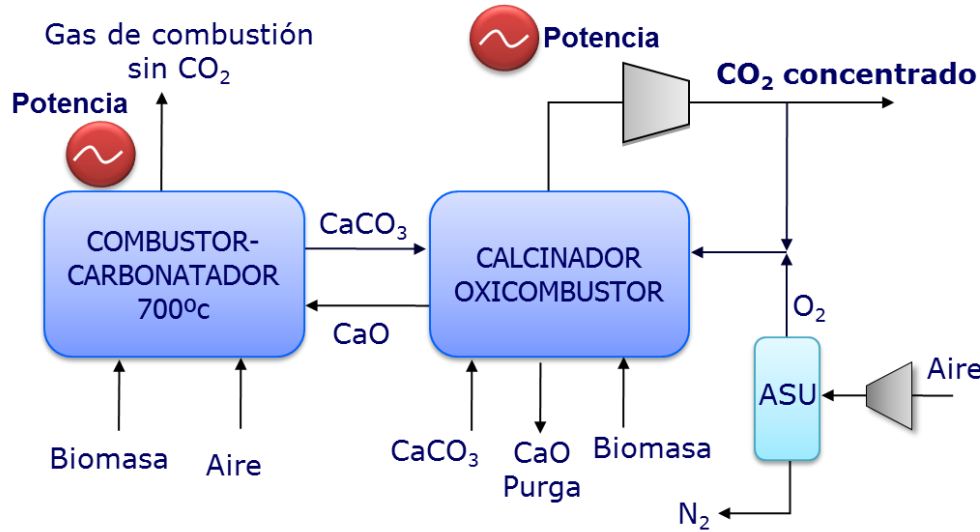
## Planta piloto de 1,7 MWt en la Central de LFC de 50 MWe “La Pereda”



**E**ndesa generación

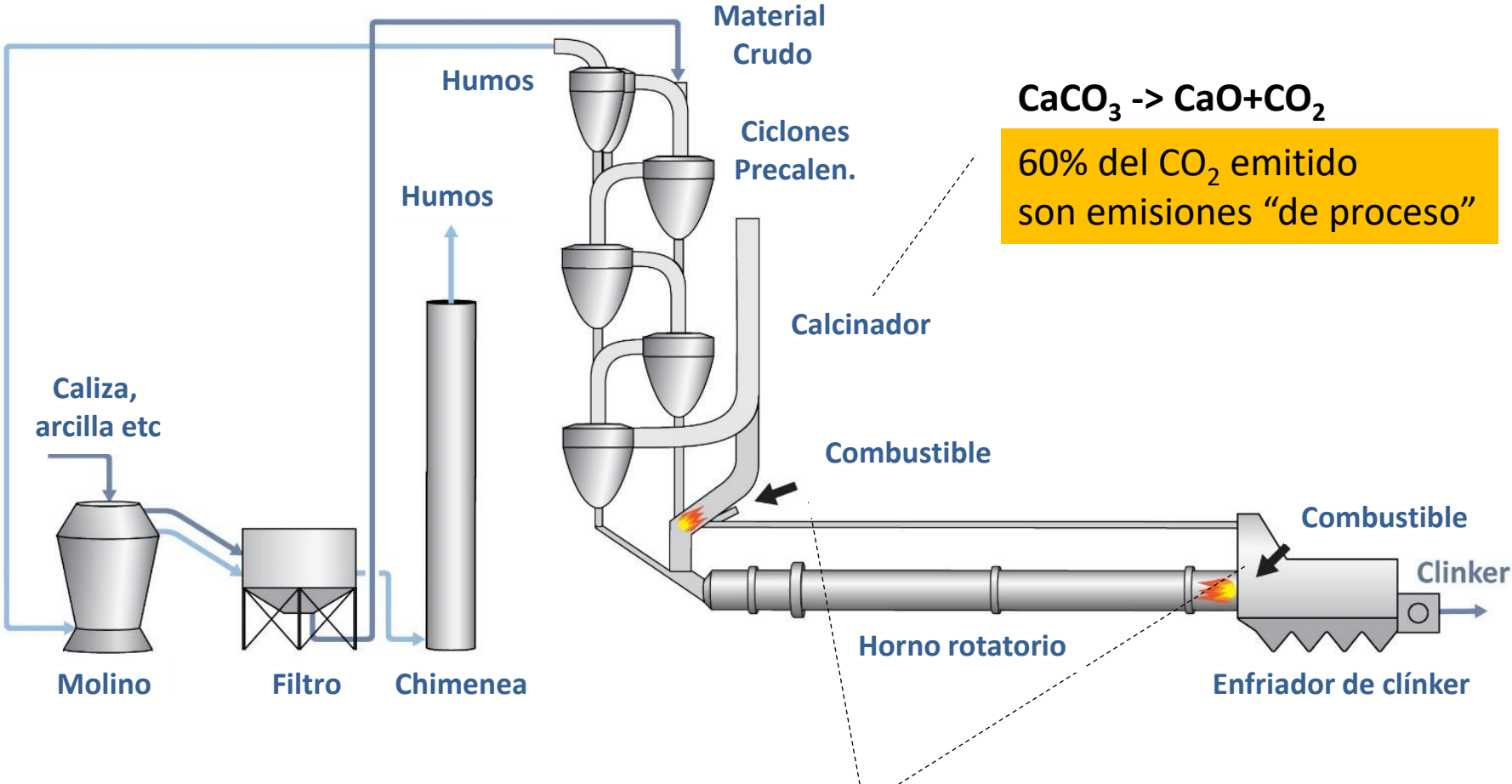
Vista general de la planta piloto y visión en 3D de los reactores de carbonatación y calcinación (15 m de altura y 0.7 m d.i.)

## Planta piloto de 300 kWt en la Robla, León



- Variante del proceso de carbonatación-calcinación, con liderazgo y patentes españolas: planta piloto de la Robla de Gas Natural Fenosa, 2 LFC conectados de 12 m altura.
- Proyecto MENOS CO<sub>2</sub>: combustión de biomasa en aire a una temperatura baja (~ 700 °C) en presencia de CaO, capturando el CO<sub>2</sub> por carbonatación en el mismo lecho de combustión.
- Este concepto implica emisiones negativas cuando se almacena geológicamente el CO<sub>2</sub> generado en el oxicalcinador.

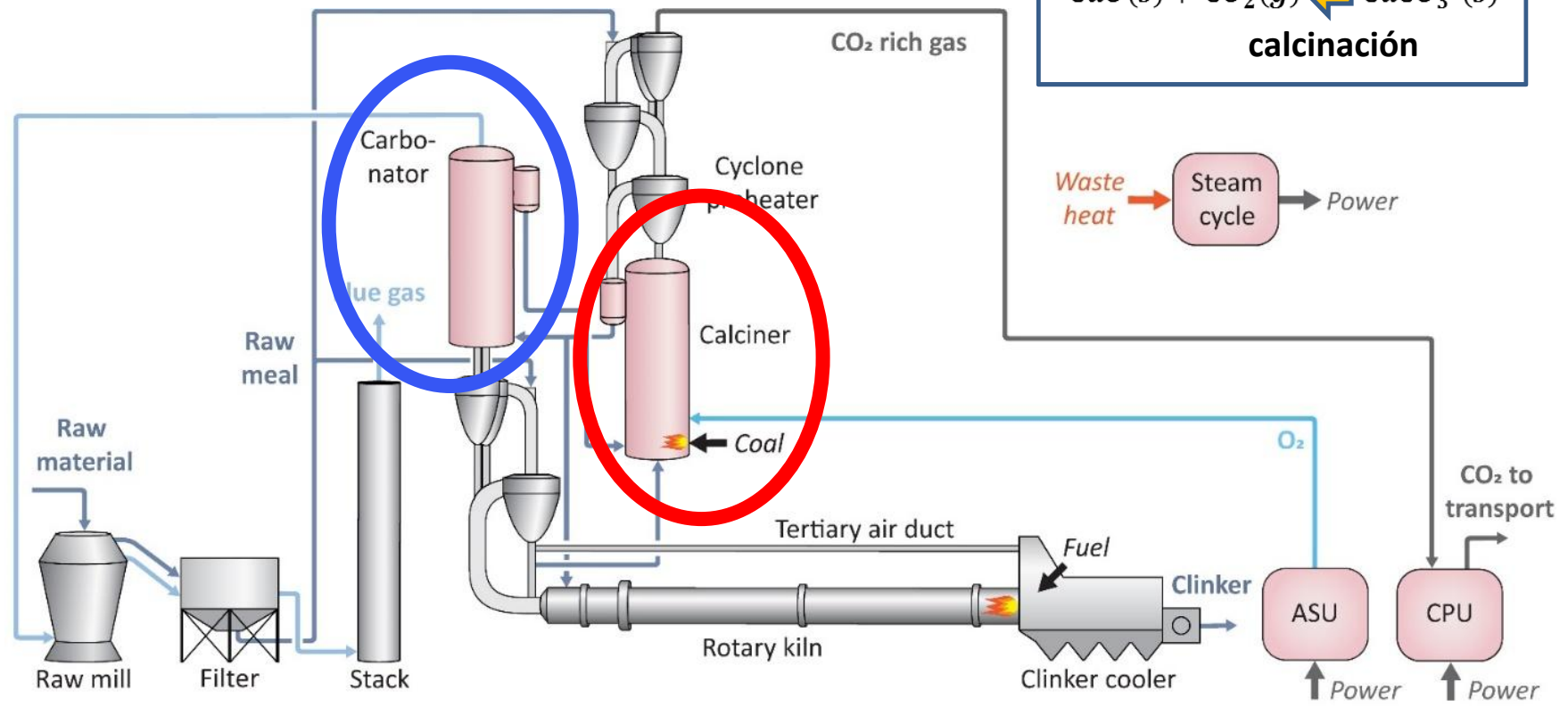
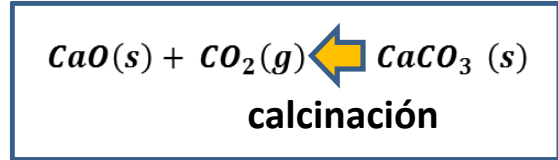
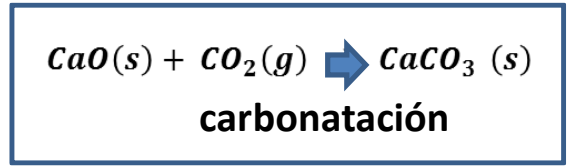
# CaL Cementeras



$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$   
60% del  $\text{CO}_2$  emitido son emisiones "de proceso"

40% del  $\text{CO}_2$  proviene de combustibles fósiles, biomasa y/o residuos

# CaL Cementeras



- **Baja penalización energética**
- **El precursor del sorbente del proceso de captura se utiliza también como materia prima en la producción del cemento**
  - **Reutilización del material purgado**
  - **Mayor integración del proceso de captura**

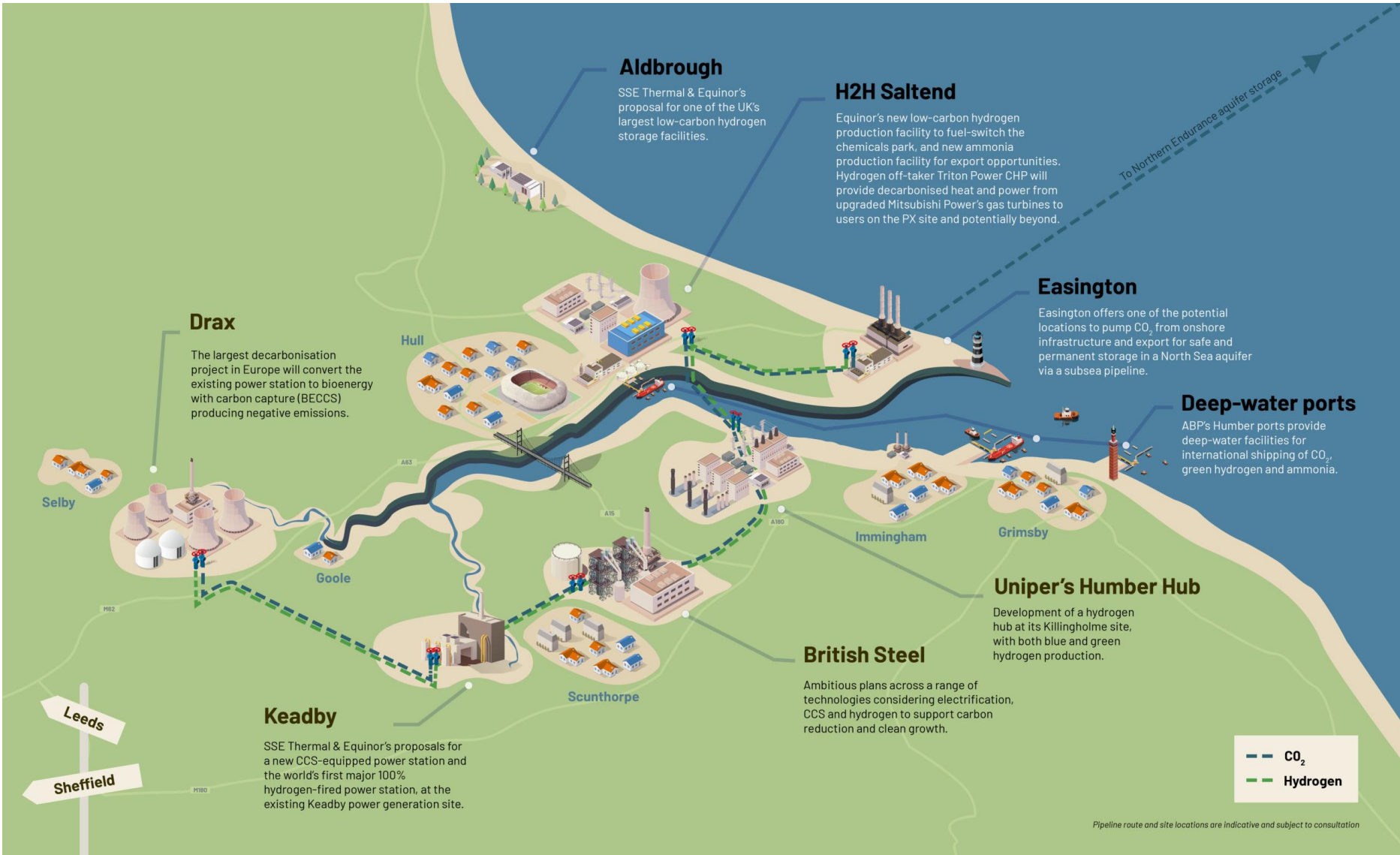
## Bioenergía con Captura y Almacenamiento de CO<sub>2</sub> (BECCS): emisiones negativas



### Central térmica de Drax

- Constaba de 6 Grupos con una capacidad de 4 GWe quemando carbón y coque de petróleo.
- La mayor consumidora de pélets del mundo. Capacidad de las 4 bóvedas: 300 000 toneladas.
- Los primeros ensayos de co-combustión iniciados en 2003 con un 3% de biomasa.
- 2 Grupos cesaron operación. Actualmente 4 Grupos 100% con biomasa, 2,6 GWe (~ 7 Mt/año).
- Biomasa de EE.UU. y Canadá: roble, ciprés, arce, haya, restos aserraderos y restos madera.
- Tiene 2 plantas piloto de captura de CO<sub>2</sub> mediante absorción química: C-Capture (1 t CO<sub>2</sub>/d) y Mitsubishi Heavy Industries (0.3 t CO<sub>2</sub>/d).
- Planes para capturar 100% CO<sub>2</sub> de 2 grupos in 2027 (~ 4 Mt CO<sub>2</sub>/año, con almacenamiento geológico en el Mar del Norte).

# Bioenergía con Captura y Almacenamiento de CO<sub>2</sub> (BECCS): emisiones negativas



**Drax**  
 The largest decarbonisation project in Europe will convert the existing power station to bioenergy with carbon capture (BECCS) producing negative emissions.

**Aldbrough**  
 SSE Thermal & Equinor's proposal for one of the UK's largest low-carbon hydrogen storage facilities.

**H2H Saltend**  
 Equinor's new low-carbon hydrogen production facility to fuel-switch the chemicals park, and new ammonia production facility for export opportunities. Hydrogen off-taker Triton Power CHP will provide decarbonised heat and power from upgraded Mitsubishi Power's gas turbines to users on the PX site and potentially beyond.

**Easington**  
 Easington offers one of the potential locations to pump CO<sub>2</sub> from onshore infrastructure and export for safe and permanent storage in a North Sea aquifer via a subsea pipeline.

**Deep-water ports**  
 ABP's Humber ports provide deep-water facilities for international shipping of CO<sub>2</sub>, green hydrogen and ammonia.

**Uniper's Humber Hub**  
 Development of a hydrogen hub at its Killingholme site, with both blue and green hydrogen production.

**British Steel**  
 Ambitious plans across a range of technologies considering electrification, CCS and hydrogen to support carbon reduction and clean growth.

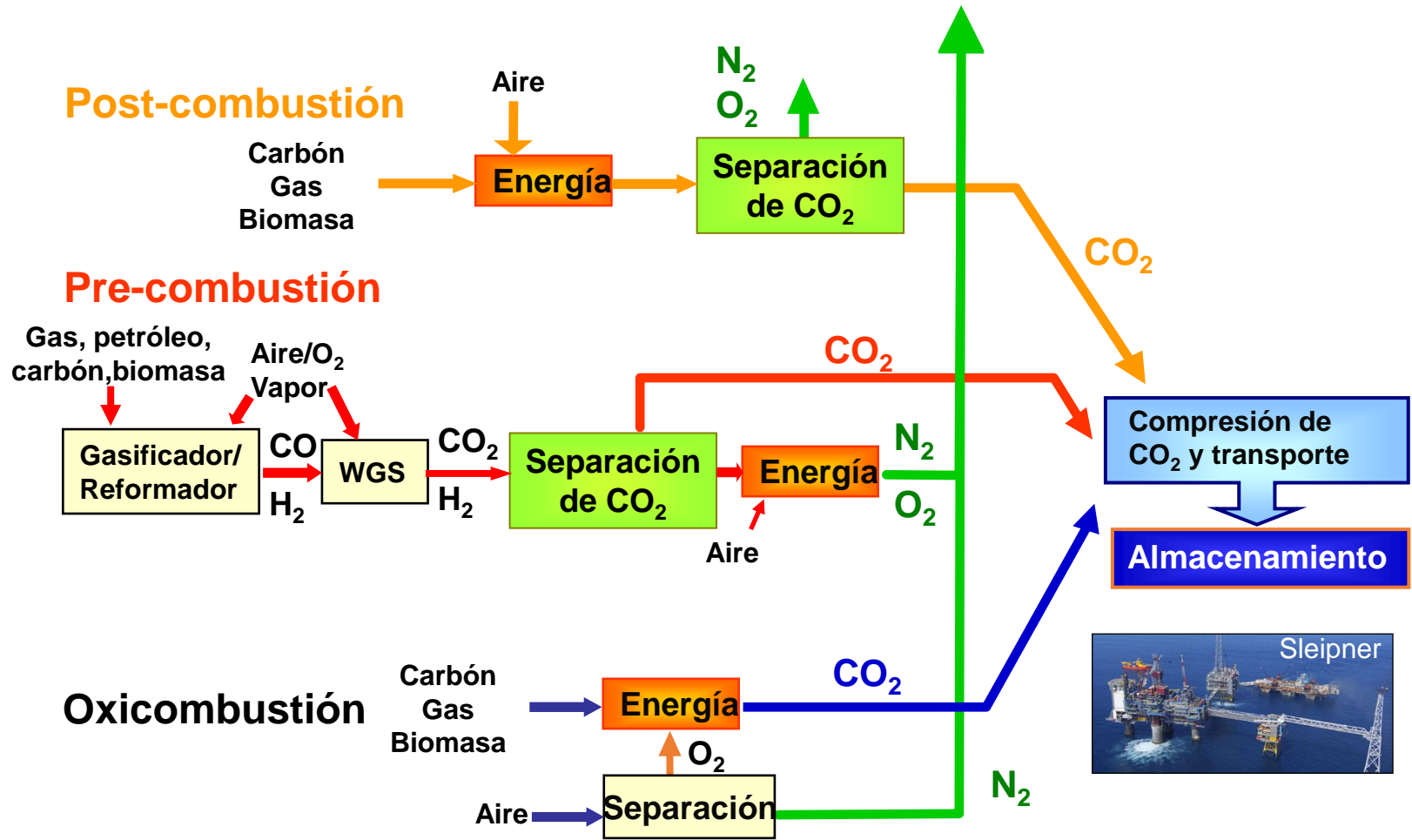
**Keadby**  
 SSE Thermal & Equinor's proposals for a new CCS-equipped power station and the world's first major 100% hydrogen-fired power station, at the existing Keadby power generation site.

- - - CO<sub>2</sub>  
 - - - Hydrogen

*Pipeline route and site locations are indicative and subject to consultation*

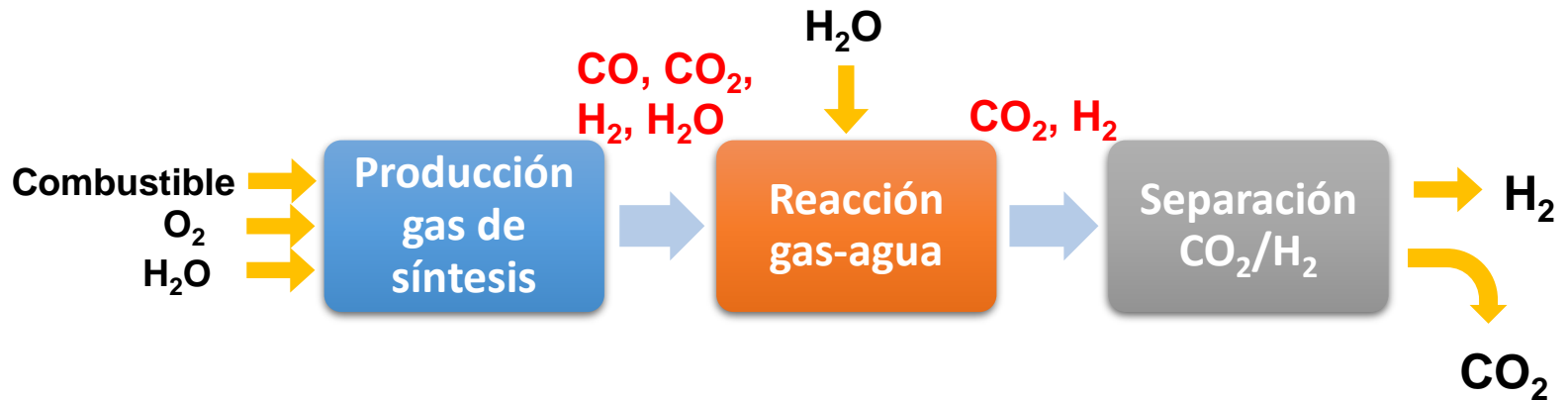


# Sistemas de captura de CO<sub>2</sub>



## Captura de CO<sub>2</sub> antes de la combustión

Los procesos **pre-combustión** transforman un combustible primario en una corriente de gases: principalmente **CO + H<sub>2</sub>** (gas de síntesis o *syngas*), a la que posteriormente se aplican una serie de procesos que permiten capturar el carbono en forma de CO<sub>2</sub>, resultando una **corriente combustible rica en H<sub>2</sub>**.



➤ **Tecnologías existentes:**

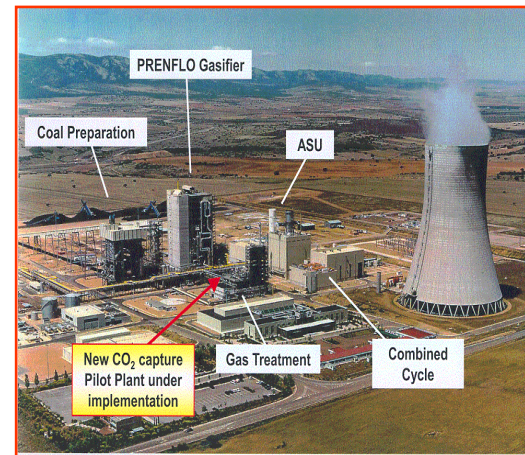
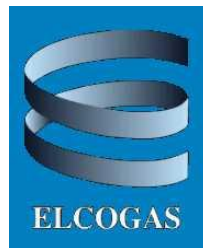
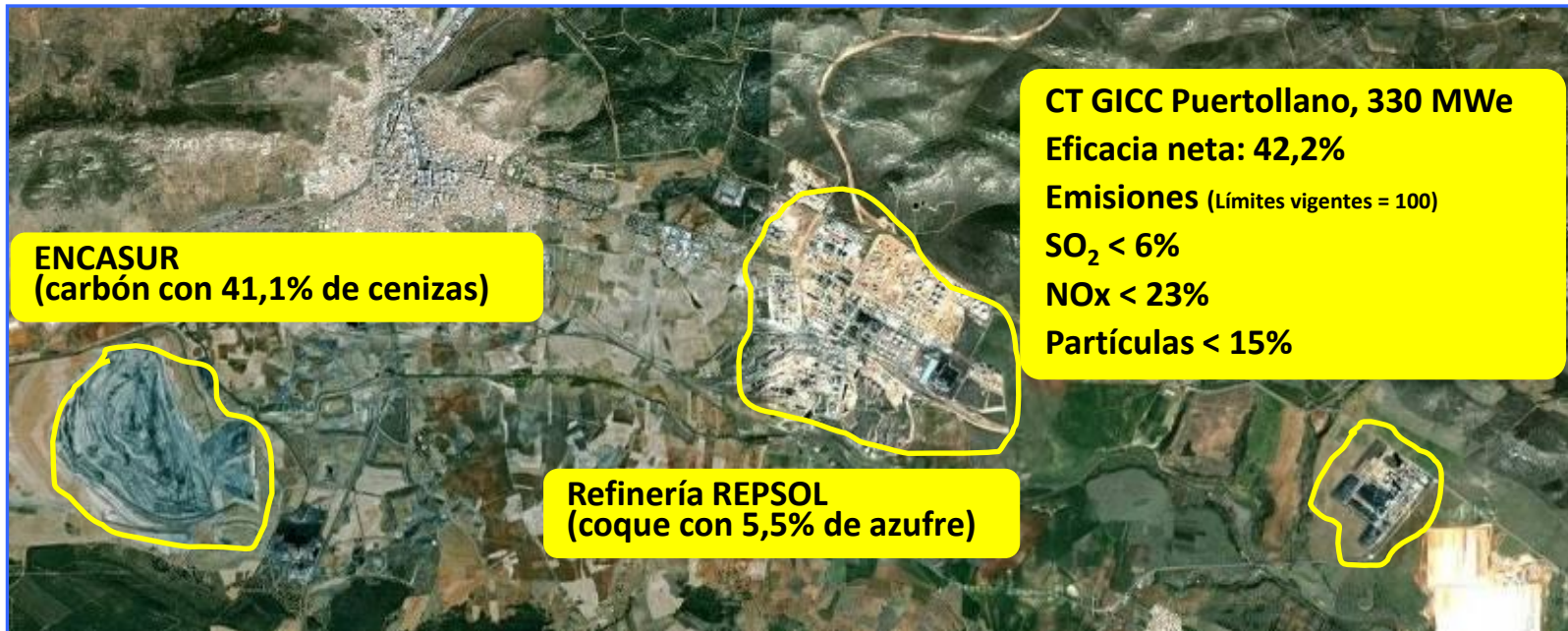
- *Absorción química (aMDEA) y física (Selexol, Rectisol)*

➤ **Tecnologías emergentes:**

- *Membranas*
- *Procesos de adsorción*
- *Reacción mejorada con adsorción (SER, sorption enhanced reaction): SESMR, SEWGS*
- *Reactores de membrana (WGSMR)*

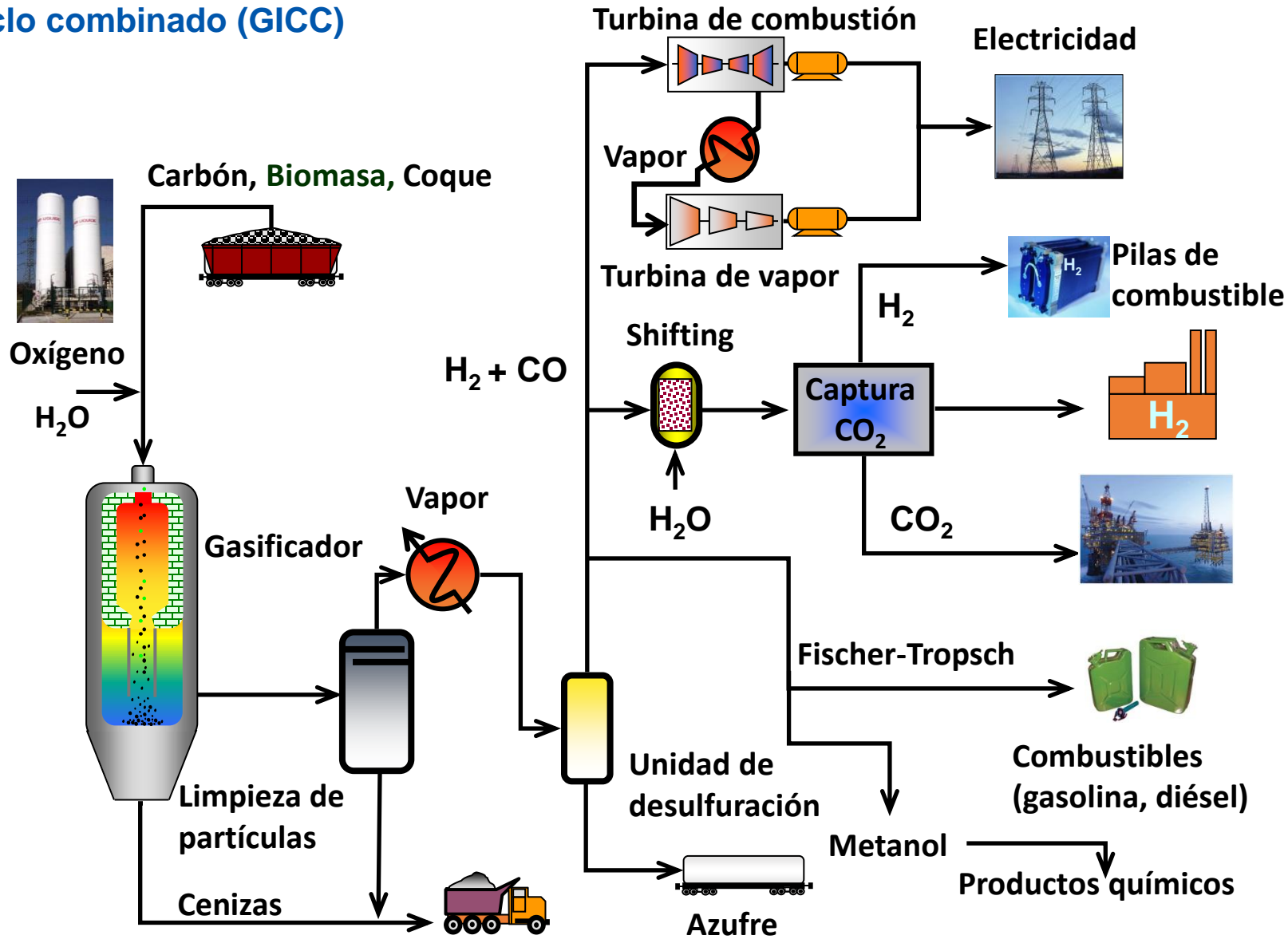
# Pre-combustión: Gasificación

## Planta piloto de captura de CO<sub>2</sub> y producción de H<sub>2</sub> (14 MWt)



# Pre-combustión: Gasificación

## Gasificación integrada con ciclo combinado (GICC)



## Planta GICC de ELCOGAS

Posibles aplicaciones del H<sub>2</sub> producido en la planta piloto de Elcogas, que ilustran su capacidad de 2 t/d.



### *Cohete Ariane 5*

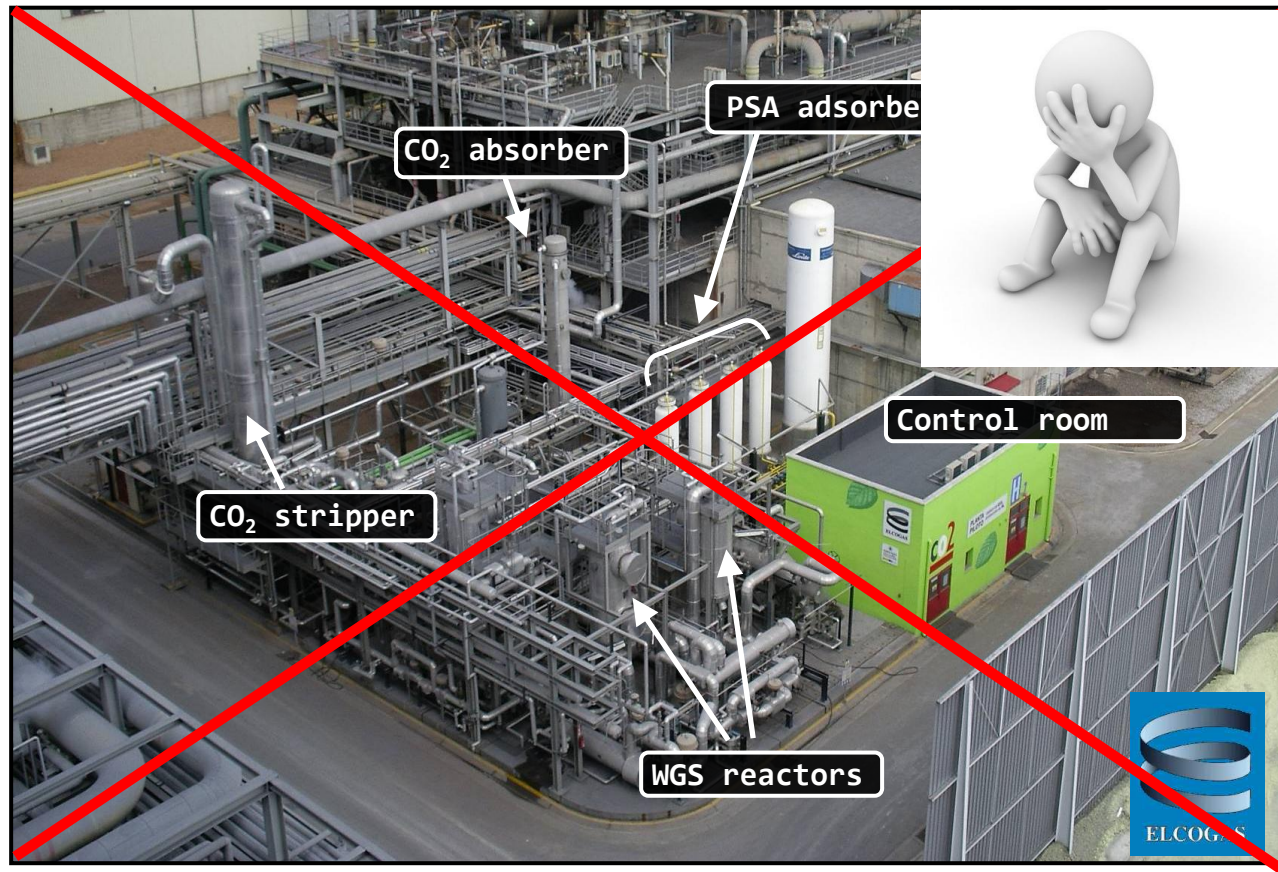
En su lanzamiento consume 24 toneladas de hidrógeno líquido, que son los que produce la planta piloto en 12 días en operación.



### *Toyota Mirai*

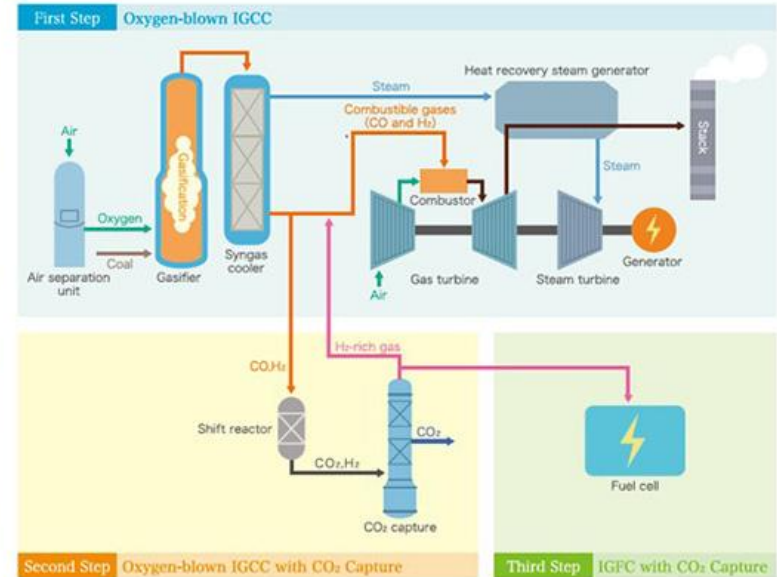
- 180 CV, velocidad máxima 175 km/h
- Depósito de 5,6 kg de H<sub>2</sub> a 700 bar. 3 minutos de recarga.
- Autonomía de 700 km. Un consumo de 0,8 kg H<sub>2</sub> por cada 100 km
- Con la producción de 1 día de la planta piloto se podrían recargar 357 coches como este, o bien recorrer 250.000 km
- Se encuentra a la venta por 75.000 €.

# Pre-combustión: Gasificación



- ✓ Primera tonelada de CO<sub>2</sub> capturada el 13 de septiembre de 2010.
- ✓ 3.500 toneladas de CO<sub>2</sub> capturadas. 1.214 h de operación (octubre 2014).
- ✓ 6 toneladas de H<sub>2</sub> puro producido.

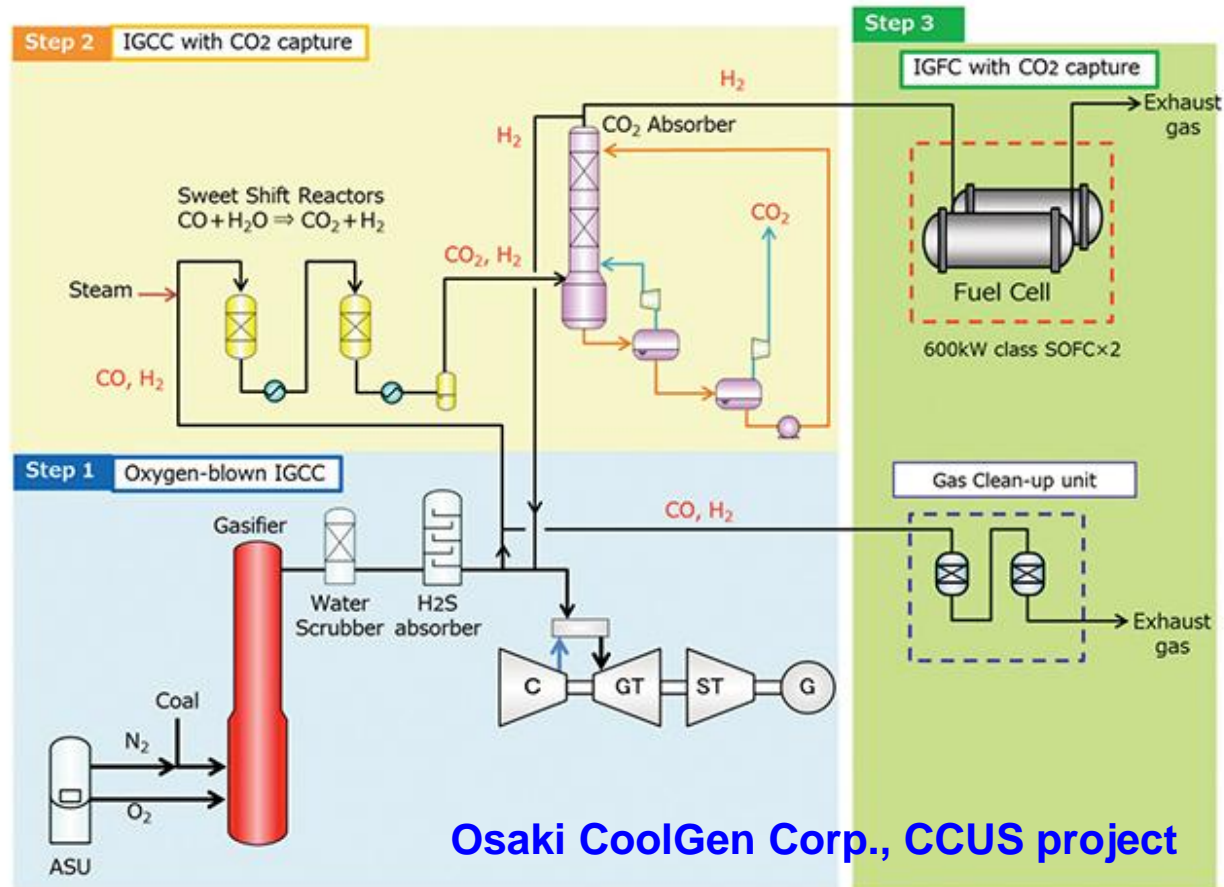
## Osaki CoolGen Corp., Hiroshima, three phase CCUS demo project



Fiscal Year	FY2012	FY2013	FY2014	FY2015	FY2016	FY2017	FY2018	FY2019	FY2020	FY2021	FY2022
<b>First Step</b> Oxygen-blown IGCC	Detailed design and construction					Demonstration					
<b>Second Step</b> Oxygen-blown IGCC with CO <sub>2</sub> Capture				Detailed design and construction			Demonstration				
<b>Third Step</b> IGFC with CO <sub>2</sub> Capture					Detailed design and construction			Demonstration			

Fuente: <https://www.osaki-coolgen.jp/en/project/overview.html>

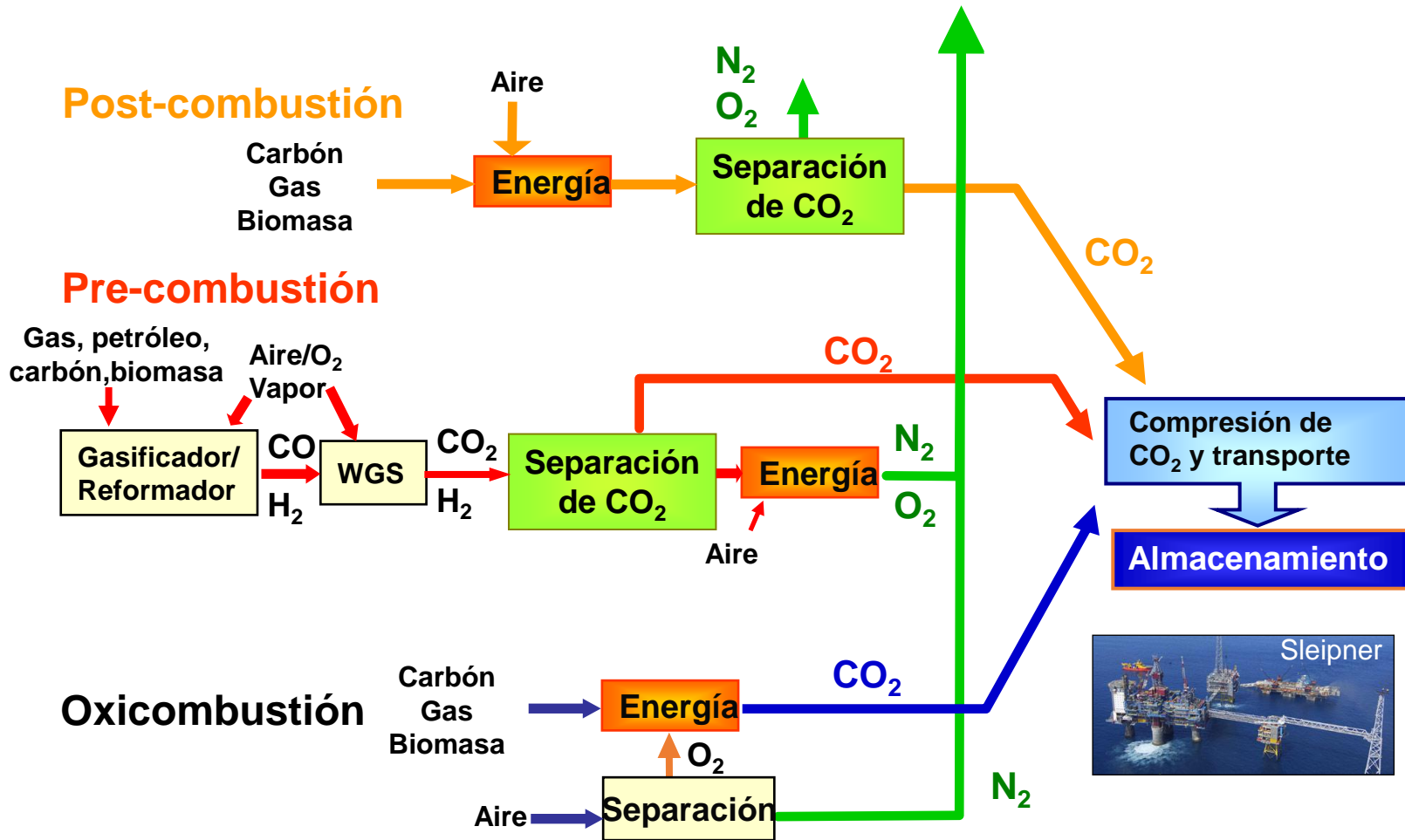
# Pre-combustión: Gasificación



- ✓ Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC, Integrated Gasification Fuel Cell, IGFC, systems).
- ✓ Step 1: 166 MWe, oxygen blow IGCC, completed in march 2017.
- ✓ Step 2: CCS unit, treating 17% syngas (400 t  $CO_2$ /day); 2019-2022.
- ✓ Step 3: Adding a 1.2 MWe solid oxide fuel cell (85%  $H_2$ ), SOFC, since april 2022.
- ✓  $CO_2$ : Chemical products, gas-to-lipids bioprocess, bio-jet fuel made from microalgae.

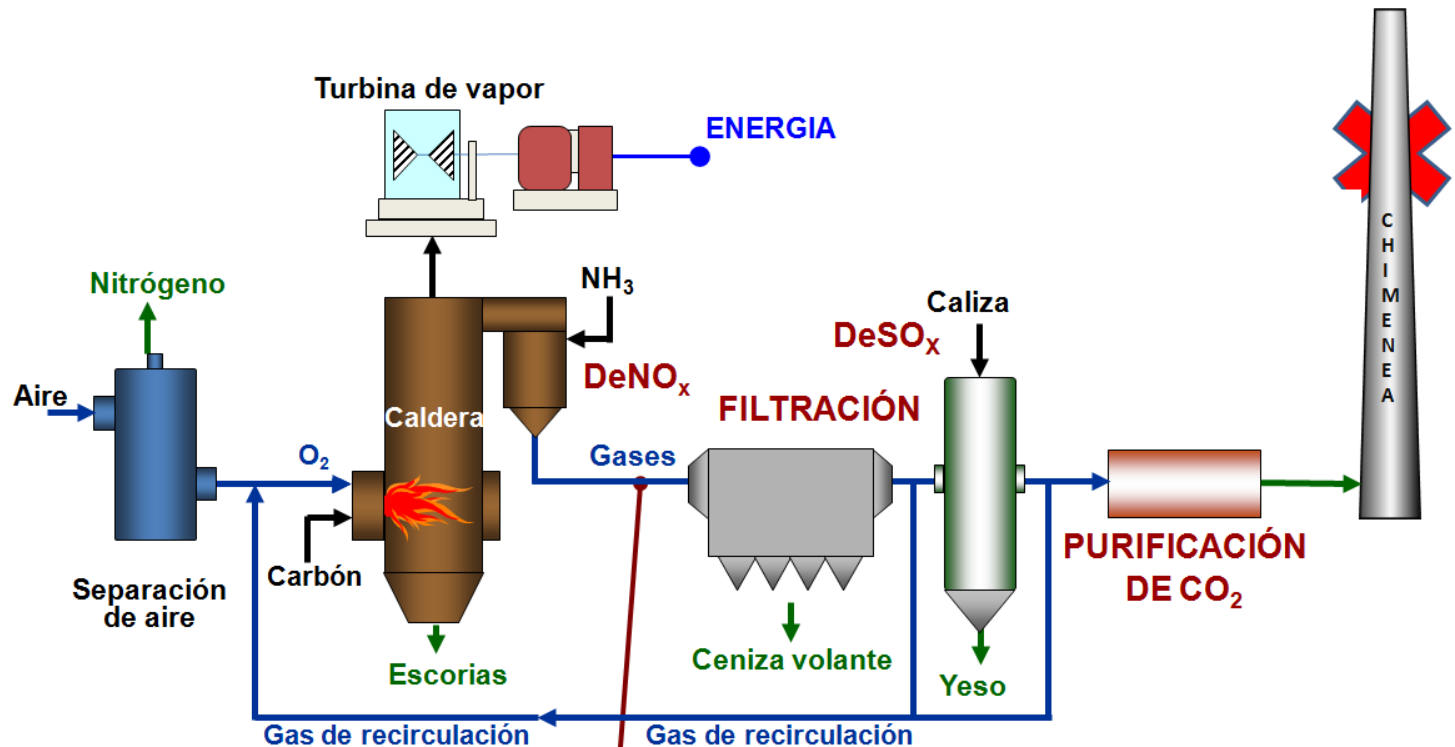


# Sistemas de captura de CO<sub>2</sub>



## Procesos de oxidación

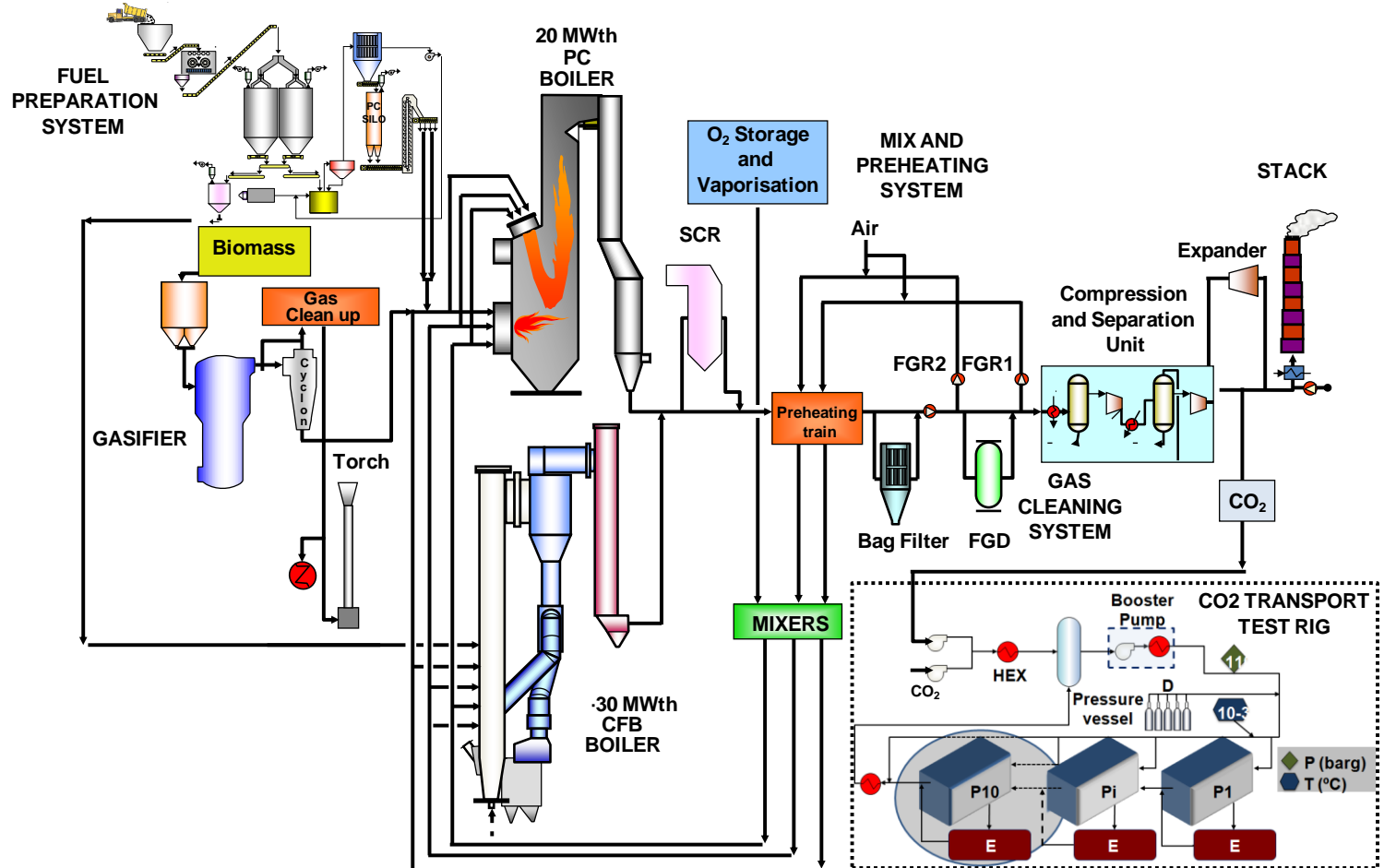
- Oxidación usa  $O_2$  como comburente de la combustión en lugar de aire, aumentando así el contenido de  $CO_2$  en los gases de salida.
- Elevados porcentajes de  $O_2$  implican elevado contenido de  $CO_2$  en los gases de combustión, pudiendo alcanzar valores del 95% en base seca.



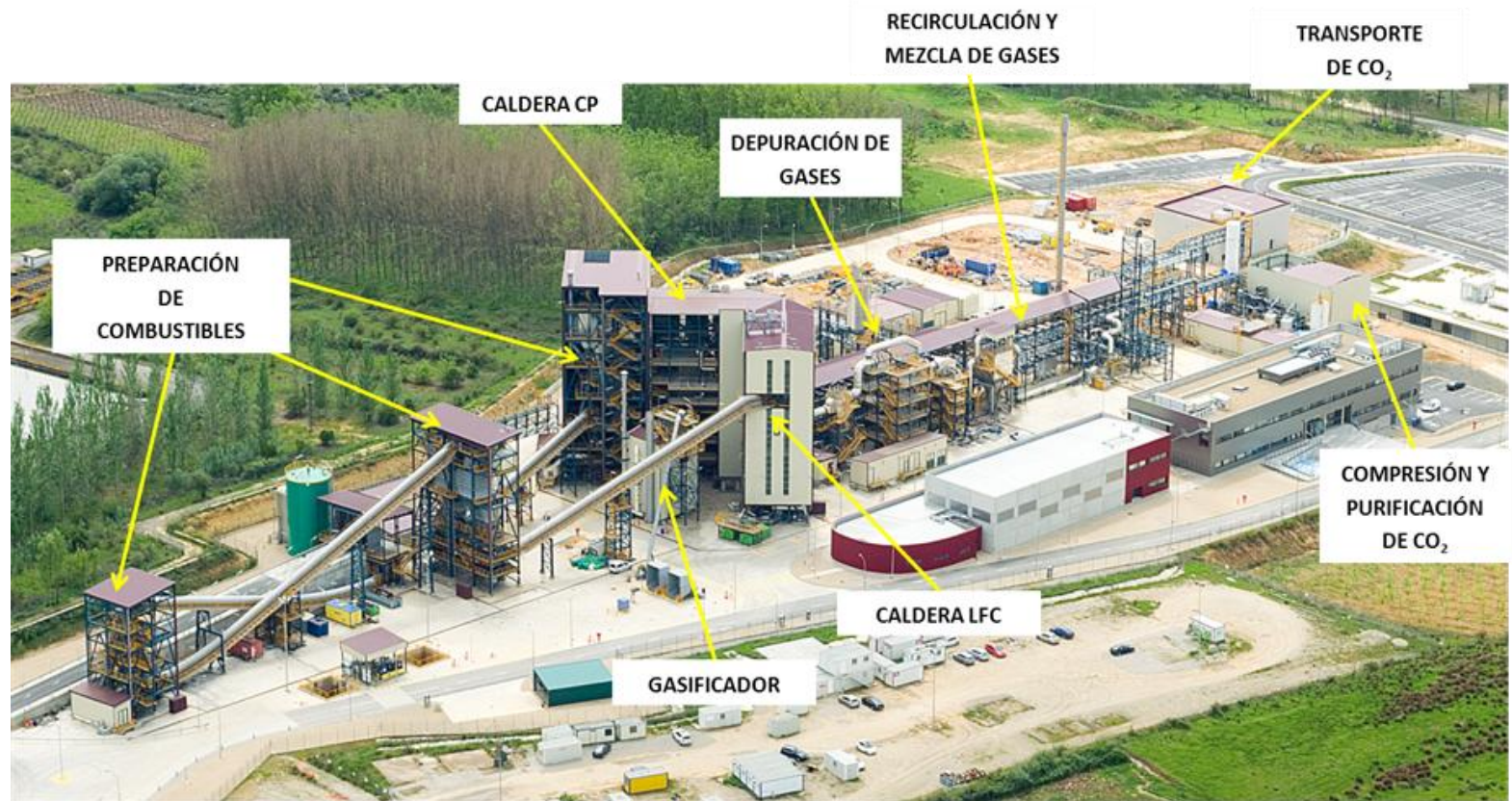
% vol	$N_2$	$CO_2$	$H_2O$	$O_2$	VOL REL	IMPUREZAS
COMBUSTIBLE + $O_2$ (30%) + $CO_2$	6	83,5	7	3,5	65	$SO_x$ $NO_x$ PARTÍCULAS

# Procesos de oxidación

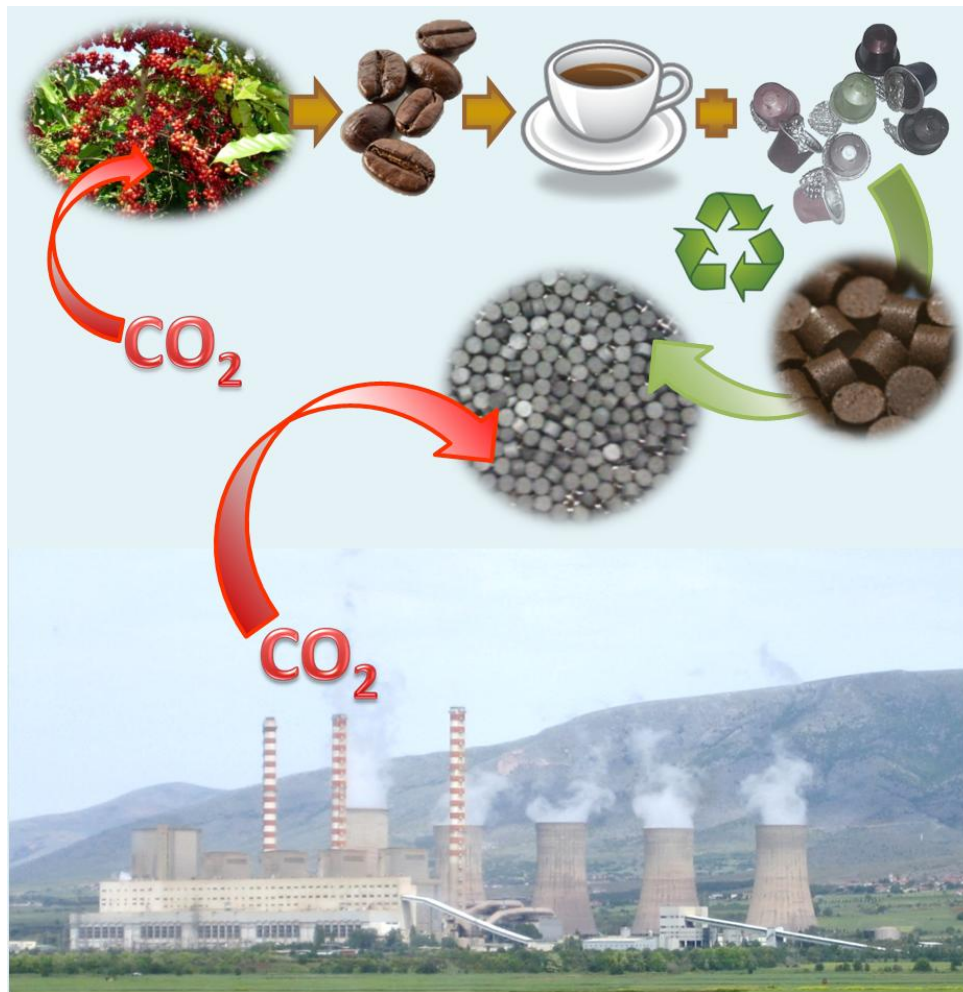
## Diagrama simplificado de las instalaciones de CIUDEN



# Procesos de oxidación



Centro de Desarrollo de Tecnologías de Captura de CO<sub>2</sub> de la Fundación Ciudad de la Energía, situado en Cubillos del Sil (León)



### Biomass

- ⊕  $CO_2$  sink
- ⊕ Globally available
- ⊕ Cheap
- ⊕ Renewable source of carbon

### Coffee-based carbon pellets

- ⊕ High stability
- ⊕ Low cost
- ⊕ Ease of regeneration
- ⊕ Tailored particle size
- ⊕ Tailored pore size
- ⊕ Tailored surface chemistry

**Patent filed <sup>[1]</sup> :**

**A.S. González, M.G. Plaza, C. Pevida, F. Rubiera. Procedure to obtain a  $CO_2$  adsorbent from spent coffee grounds, P201331003. CSIC, 2013**

## The Wind Scrubber

- $2 \text{ NaOH} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3$
- $3 \text{ kg CO}_2/\text{s}$  ;  $90\,000 \text{ t CO}_2/\text{año}$
- 250 000 unidades para acabar con las emisiones mundiales de combustibles fósiles
- Prototipo:  $100 \text{ kg}/\text{día}$

Otras tecnologías:  
Captura directa del aire

60 m

50 m

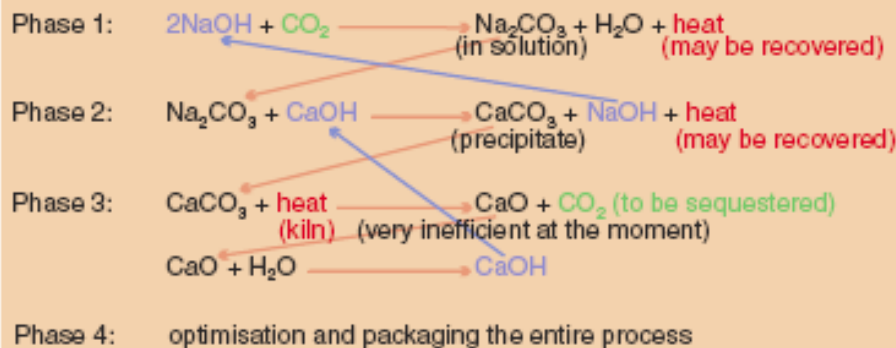


Figure 1: four-stage project



## Captura directa del aire (DAC)

- 18 colectores de CO<sub>2</sub> instalados en el techo de una planta de incineración en las afueras de Zurich.
- Utiliza energía residual de la incineradora para operar los colectores que usan ventiladores para aspirar el aire hacia los filtros.
- La desorción del CO<sub>2</sub> se realiza mediante el suministro de calor.
- El CO<sub>2</sub> se utiliza en un invernadero para el cultivo de plantas, con un consumo estimado de 900 t CO<sub>2</sub> al año.
- Para eliminar el equivalente al 1% de las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> se necesitarían 250.000 plantas DAC.
- El coste sería de unos 400 \$/t CO<sub>2</sub>.

## ¿Por qué tecnologías CAUC en España?

- **Única alternativa tecnológica para los sectores industriales con emisiones de CO<sub>2</sub> difíciles de abatir** (ej. cemento, cal, acero, química). En 2019: 21,3 Mt CO<sub>2</sub>, 33% emisiones de la industria.
- Documento orientación CE (29/12/2022) a EEMM para actualización PNIECs 2021-2030: **alienta específicamente a EEMM incluir en sus planes actualizados, medidas** para que sus industrias puedan capturar y almacenar de forma permanente sus **emisiones inherentes de procesos** en emplazamientos de **almacenamiento geológico**.
- Países Norte de Europa: apostando netamente tecnologías CAUC. **En marcha proyectos CAC a nivel país, con financiación EEMM, y Fondo de Innovación**. CAC y redes transfronterizas transporte y almacenamiento geológico CO<sub>2</sub> en Noruega, Dinamarca, Bélgica, Países Bajos, Francia, Suecia, Polonia, Bulgaria, Italia, Islandia, Finlandia. Incluido uso CO<sub>2</sub>: gases combustibles sintéticos.
- **Ahora es el momento** de establecer las condiciones adecuadas para que las tecnologías CAUC prosperen en España, siguiendo las directrices de la UE, ya que **la implementación de estas tecnologías conlleva una fase de desarrollo del orden de 8-10 años**.
- España no incluyó en el PNIEC 2021-2030 actividades de I+D ni el desarrollo de estrategias y proyectos CAUC a gran escala para 2030
- **Incluidos los procesos CAUC en el PNIEC 2023-2030.**

*Fuente: Informe CSIC-CIEMAT para PTECO2 (Febrero 2023). Objetivo Descarbonización. Necesidad de un Marco Normativo Favorable para las Tecnologías CAUC.*



## Inflation Reduction Act – EE.UU.

### Credits for Carbon Dioxide Sequestration

- El gobierno de EE. UU., en el marco de su Ley de reducción de la inflación, implementó cambios a la sección 45Q del código de rentas (introducido por primera vez en 2008 y que proporciona un crédito fiscal para el almacenamiento de CO<sub>2</sub>), proporcionando hasta **85 \$/t CO<sub>2</sub> almacenada permanentemente y 60 \$/t CO<sub>2</sub> utilizada para la recuperación mejorada de petróleo (EOR) u otros usos industriales de CO<sub>2</sub>**, siempre que las reducciones de emisiones puedan demostrarse claramente. El monto del crédito aumenta significativamente para **proyectos de captura directa de aire (DAC) a 180 \$/t CO<sub>2</sub> almacenado permanentemente y 130 \$/t CO<sub>2</sub> destinado a usos**.
- Además, los cambios de 2022 reducen los requisitos de capacidad para proyectos elegibles: 18.750 toneladas por año para centrales eléctricas (siempre que se capture al menos el 75 % del CO<sub>2</sub>), 12.000 toneladas por año para otras instalaciones y 1.000 toneladas por año para instalaciones DAC .
- Finalmente, los cambios de 2022 incluyen una extensión de siete años para calificar para el crédito fiscal, lo que significa que los proyectos tienen hasta enero de 2033 para comenzar la construcción.



# Tecnologías de Captura de CO<sub>2</sub>

**Fernando Rubiera González**

*fernando.rubiera@csic.es*



**Curso UIMP: Transformando el CO<sub>2</sub> en Oportunidades: Tecnologías de Captura, Almacenamiento y Usos del CO<sub>2</sub>**



Universidad Internacional Menéndez Pelayo

Cursos de verano Santander



**UIMP**