

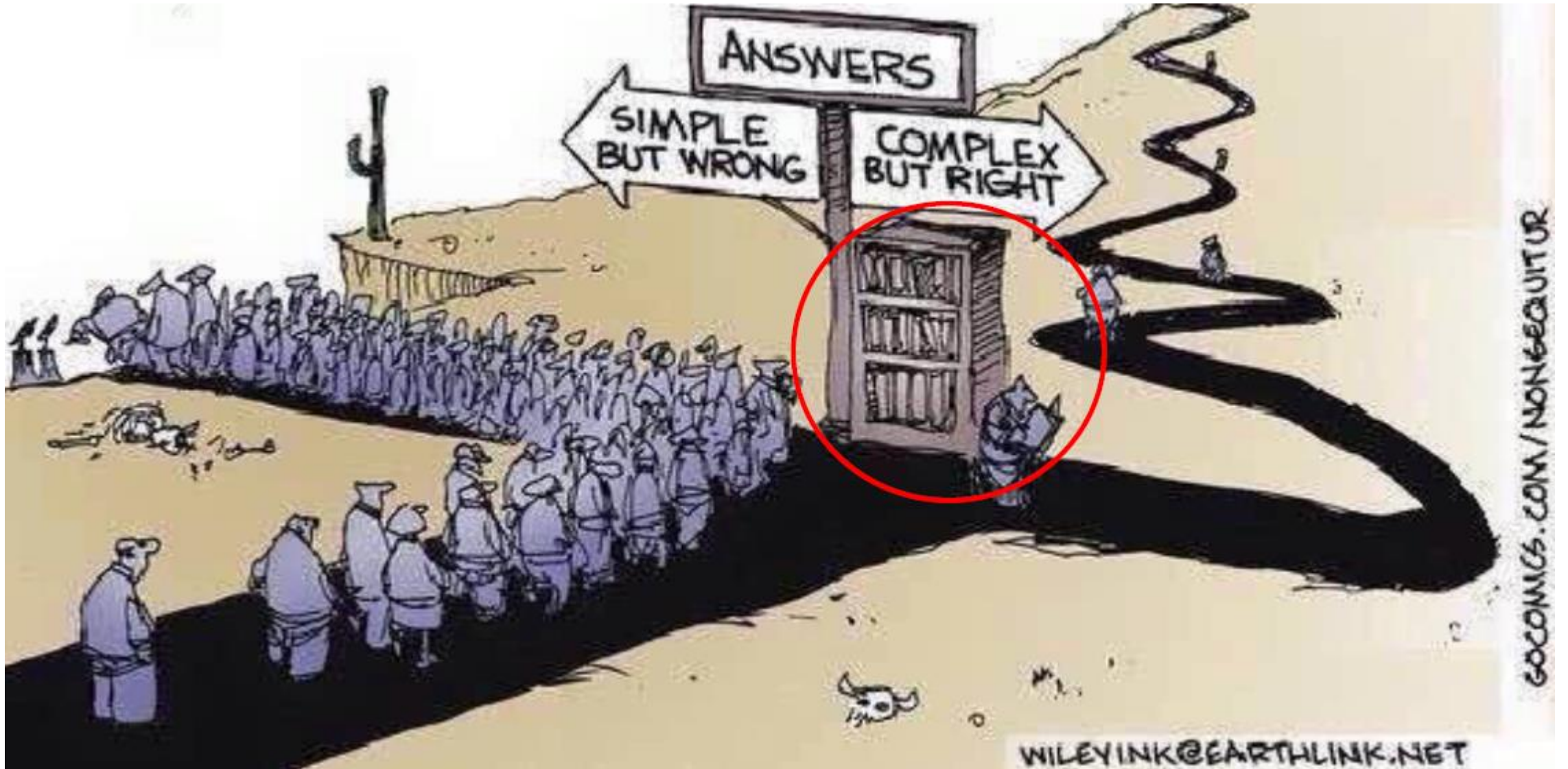
CURSO EJECUTIVO TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN ESPAÑA 2024

TÍTULO: Captura, Uso y Almacenamiento de Carbono

PONENTE: Antonio López Rodríguez
Transición Energética y Cambio Climático, Repsol



Bienvenidos a la complejidad (en tiempos de populismo...)



Consenso científico



El cambio climático se define como las variaciones del clima atribuibles directa o indirectamente a las actividades humanas que modifican la composición de la atmósfera, y que se suman a la variabilidad natural del clima.

Las causas principales se derivan de las emisiones de GEI generadas en la quema de combustibles fósiles, la destrucción de bosques y emisiones de origen natural.

Tras la Revolución Industrial, las emisiones de GEI a la atmósfera han aumentado significativamente debido fundamentalmente a la utilización intensiva de combustibles fósiles para satisfacer una demanda de energía cada vez mayor.

¡Y ahora toca regular el termostato!

El primer paso para resolver un problema es formularlo adecuadamente

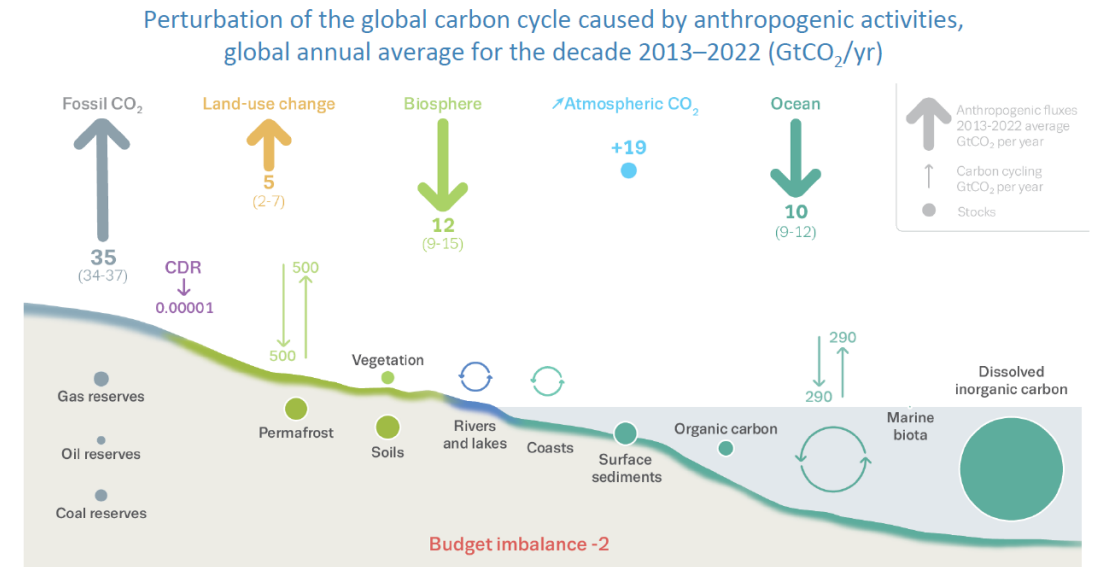
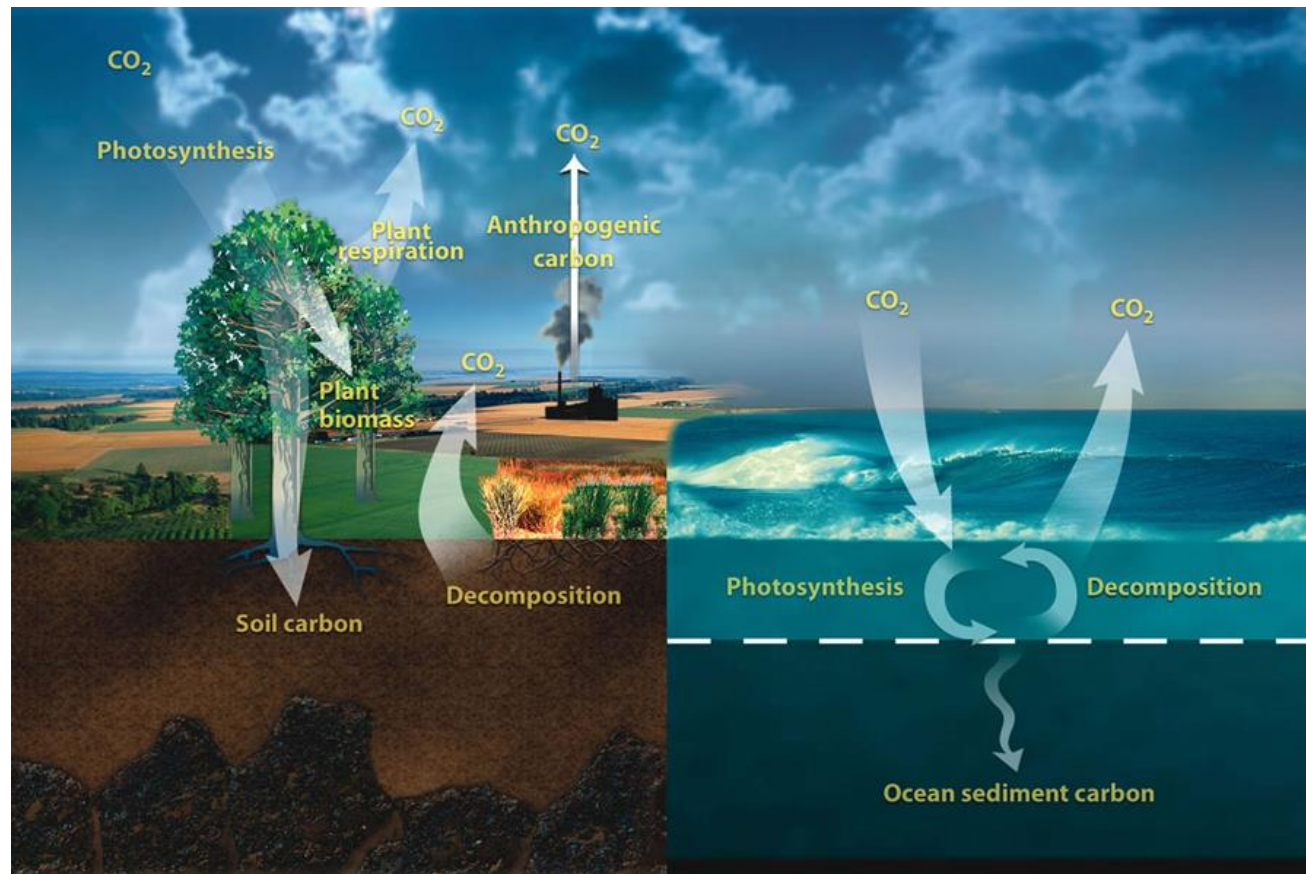
Identidad de Kaya

$$CO_2 \uparrow = \left(\underbrace{P \times \frac{PIB}{P}}_{\text{Demografía} \uparrow \text{ Bienestar} \uparrow} \times \underbrace{\frac{E}{PIB} \times \frac{CO_2}{E}}_{\text{Tecnología} \downarrow \text{ Tecnología} \downarrow} \right) - \underbrace{CO_2 \downarrow}_{\text{Tecnología} \downarrow}$$

La Transición Energética: un desafío sistémico

- Desacoplar crecimiento económico y demográfico del aumento de emisiones
- Reducir emisiones: avanzar urgentemente hacia una economía – forma de vida de baja intensidad energética y descarbonizada
- **Desarrollar e implementar a gran escala sumideros de CO₂**
(NBS-NCS, CCS, CCUS, BECCS, DACs...)

Perturbación antropogénica del ciclo global del carbono

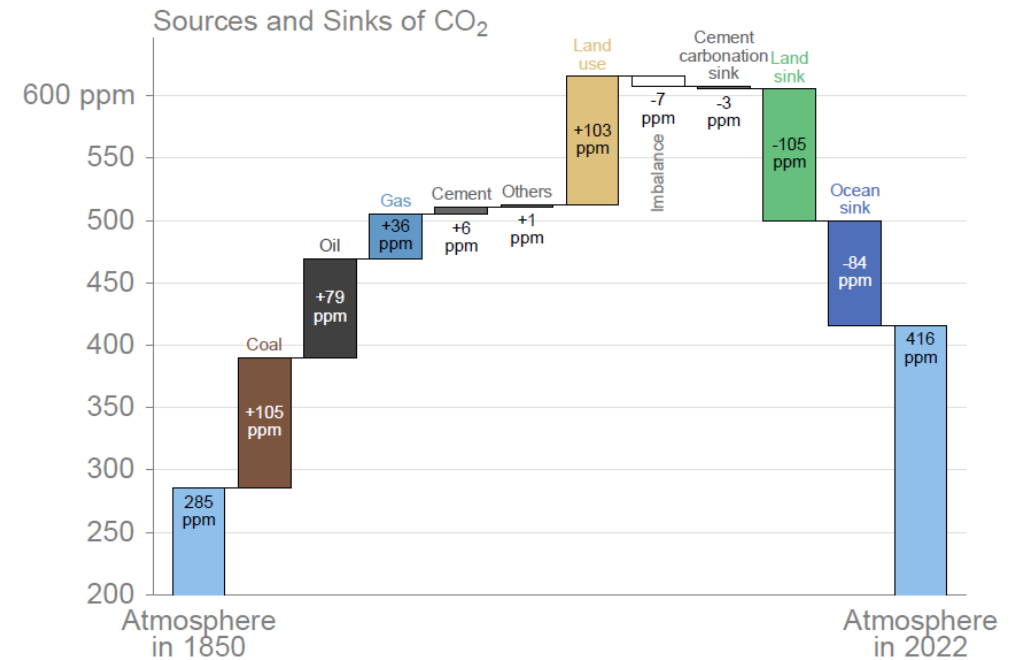
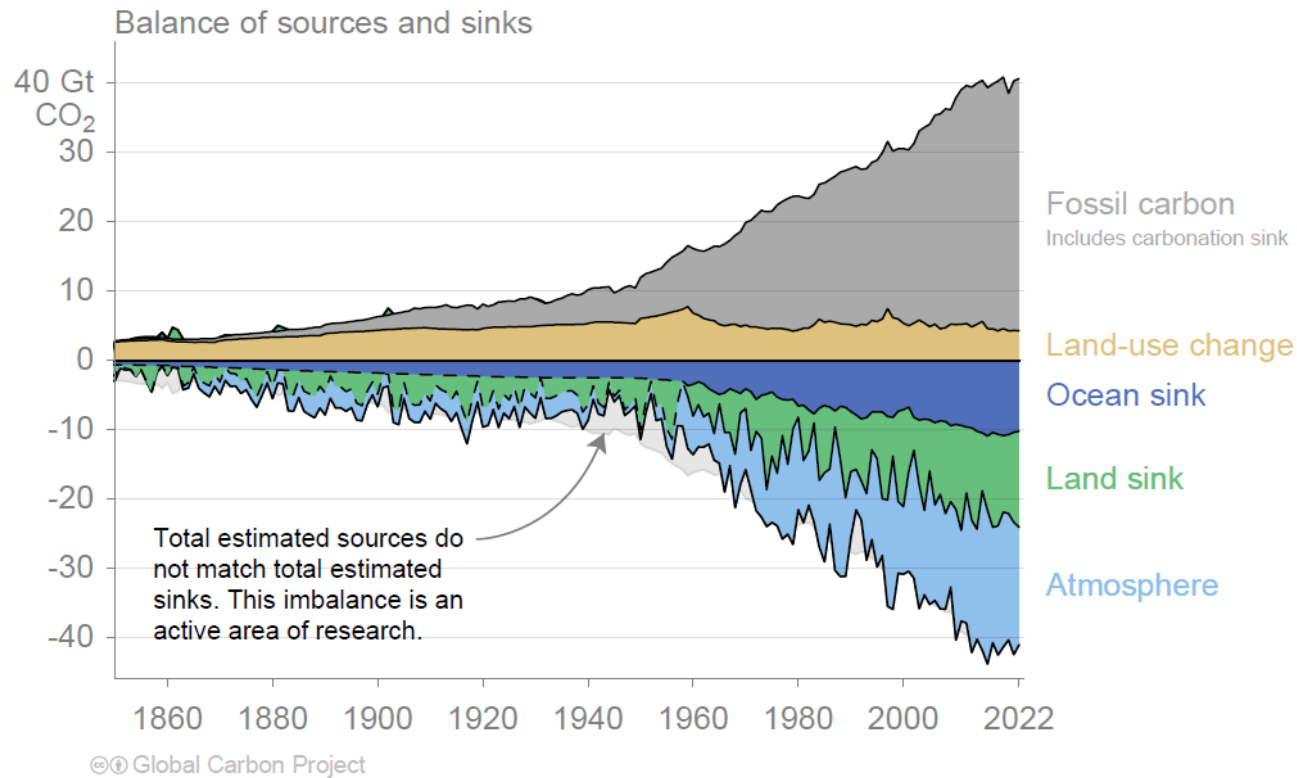


CDR here refers to Carbon Dioxide Removal besides those associated with land-use that are accounted for in the Land-use change estimate. The budget imbalance is the difference between the estimated emissions and sinks.

Source: NOAA-GML; Friedlingstein et al 2023; Canadell et al 2021 (IPCC AR6 WG1 Chapter 5); Global Carbon Project 2023

“Global Carbon Budget” 1850-2022

Carbon emissions are partitioned among the atmosphere and carbon sinks on land and in the ocean
 The “imbalance” between total emissions and total sinks is an active area of research



¡¡¡Y en 2023 ya con datos por encima de 420 ppm, eso sí, solo en el observatorio de Mauna Loa!!!

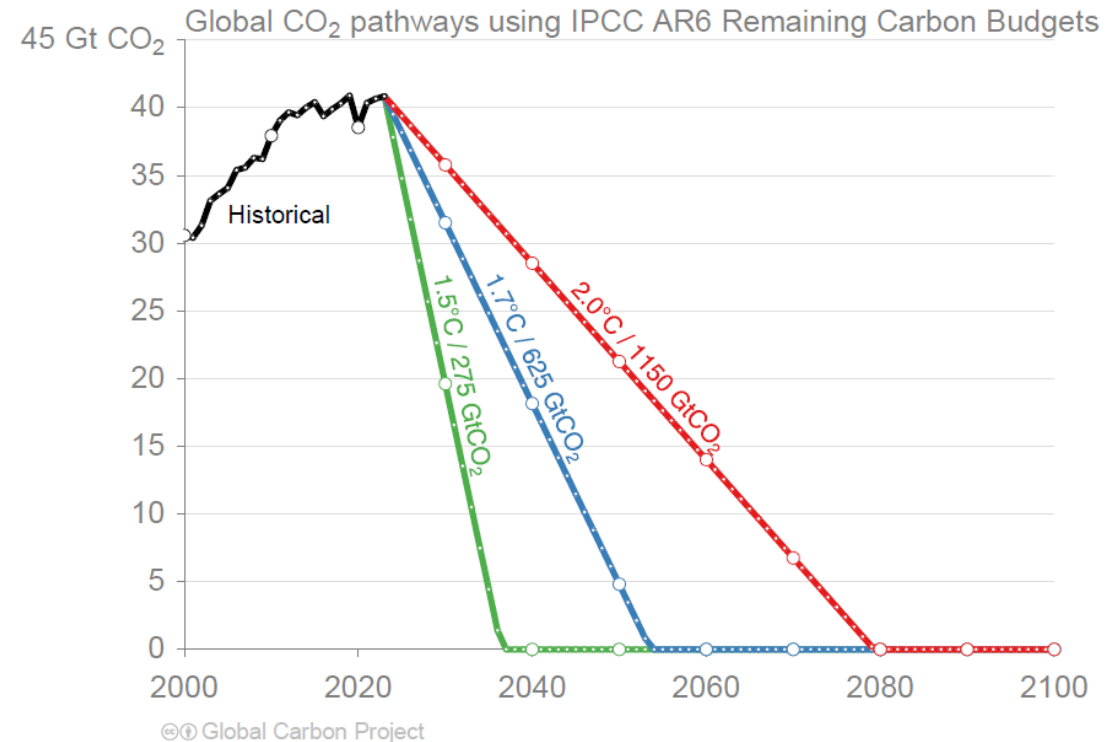
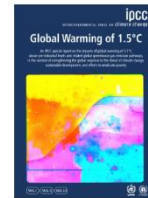
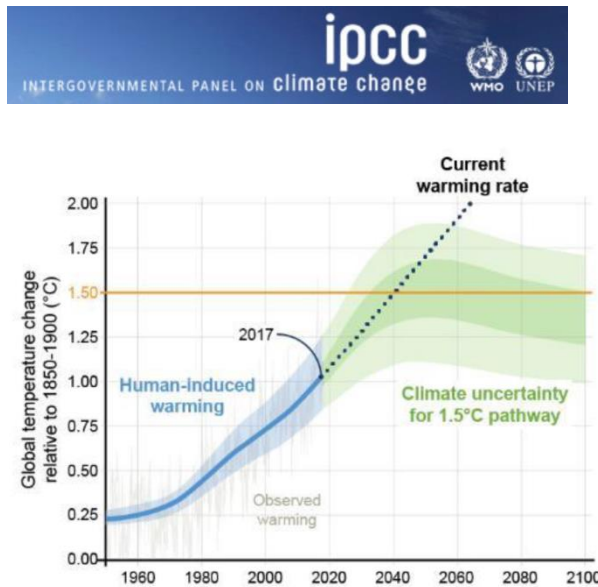
Source: [Friedlingstein et al 2023](#); [Global Carbon Project 2023](#)

Pero la concentración de CO₂ en la atmosfera se traduce en grados...

Acuerdo de París

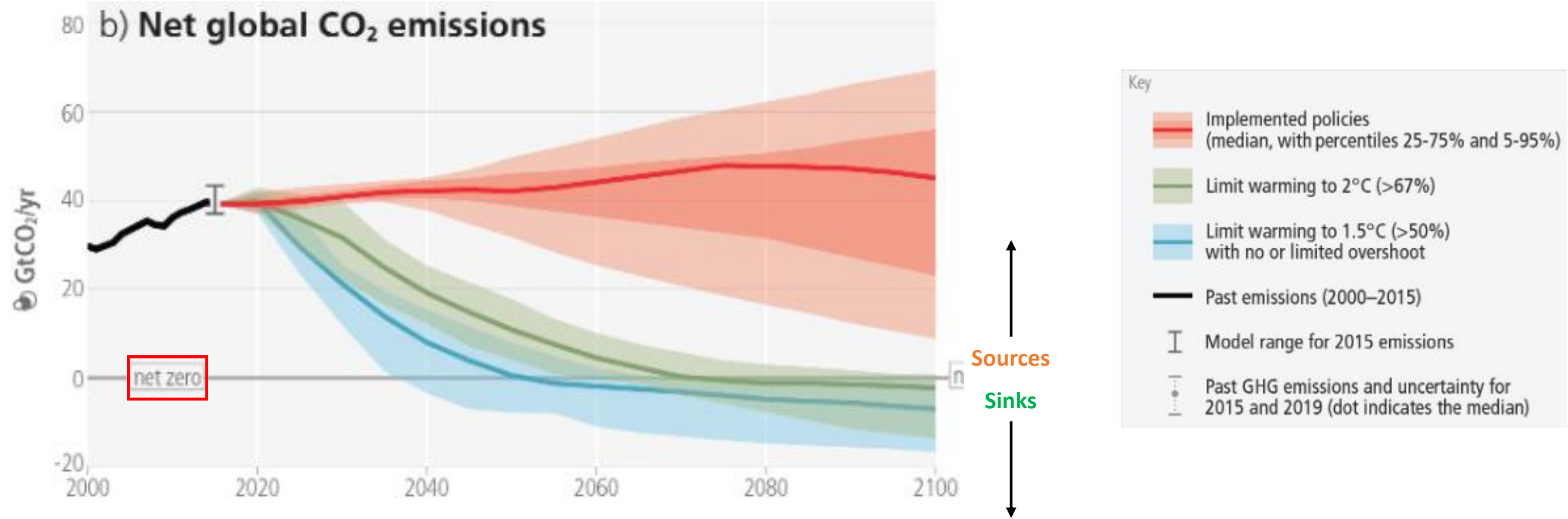
Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático

Global CO₂ emissions must reach zero to limit global warming



1.5°C (2°C), se prevé que las emisiones de CO₂ disminuyan en aproximadamente un 45% (20%) en 2030 en la mayoría de las rutas y alcancen el cero neto alrededor de 2050 (2075).

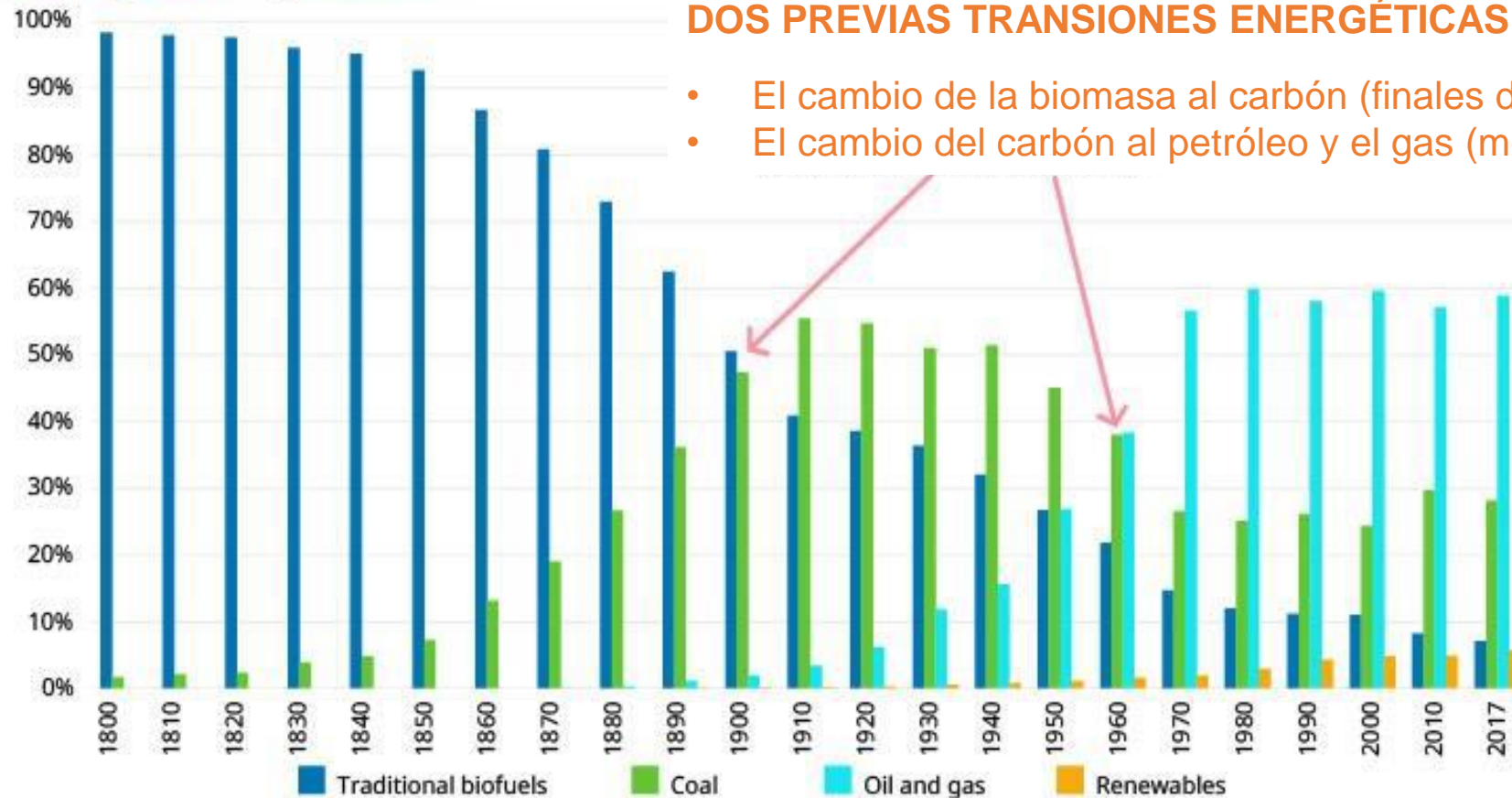
Posibles futuros según el IPCC



Source: IPCC AR6 (2023)

Y aunque no estamos en la primera transición energética...

Change in global primary energy consumption
Share of global energy consumed



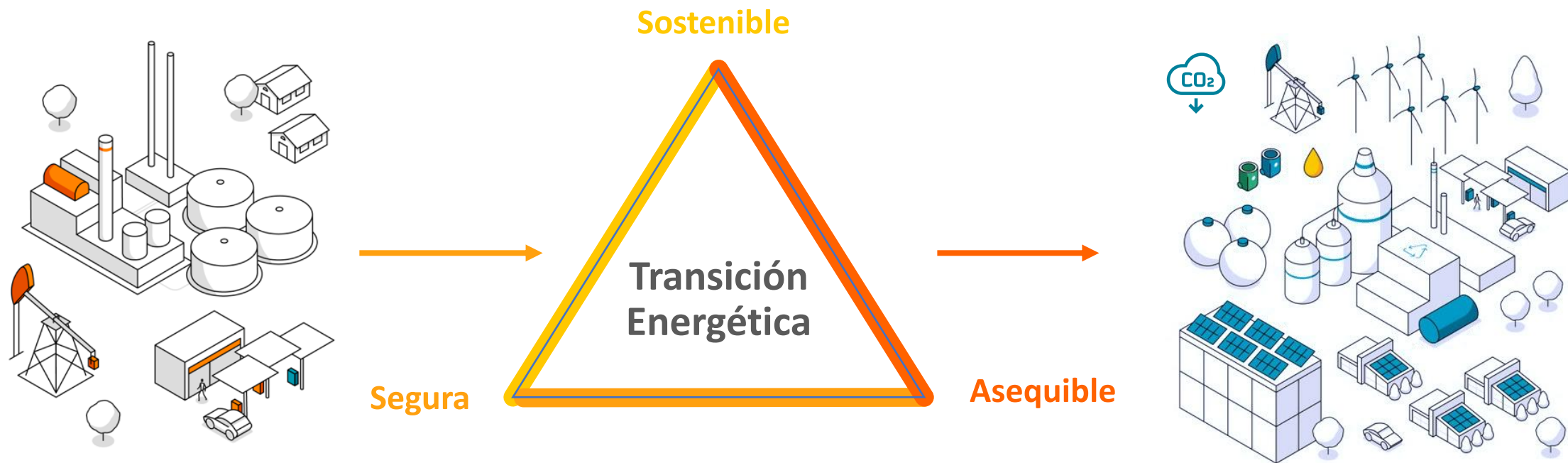
DOS PREVIAS TRANSIONES ENERGÉTICAS:

- El cambio de la biomasa al carbón (finales del siglo XIX) seguido de
- El cambio del carbón al petróleo y el gas (mediados del siglo XX)

Source: BP, Our World in Data, Schrodgers, as of January 2019.

283180

... ¿estamos en una transición o una disrupción?



Hoy ● ————— ● 2050

¿La sabremos gobernar?

- Impactos sobre la estabilidad social, económica, financiera y geopolítica
- ¿Múltiples velocidades?
- ¿Habrá perdedores y ganadores?

Necesitamos todas las soluciones tecnológicas...

¿Cuánto gas de efecto invernadero emitimos con cada cosa que hacemos?

Fabricar (cemento, acero, plástico) **31 %**

Consumir energía (electricidad) **27 %**

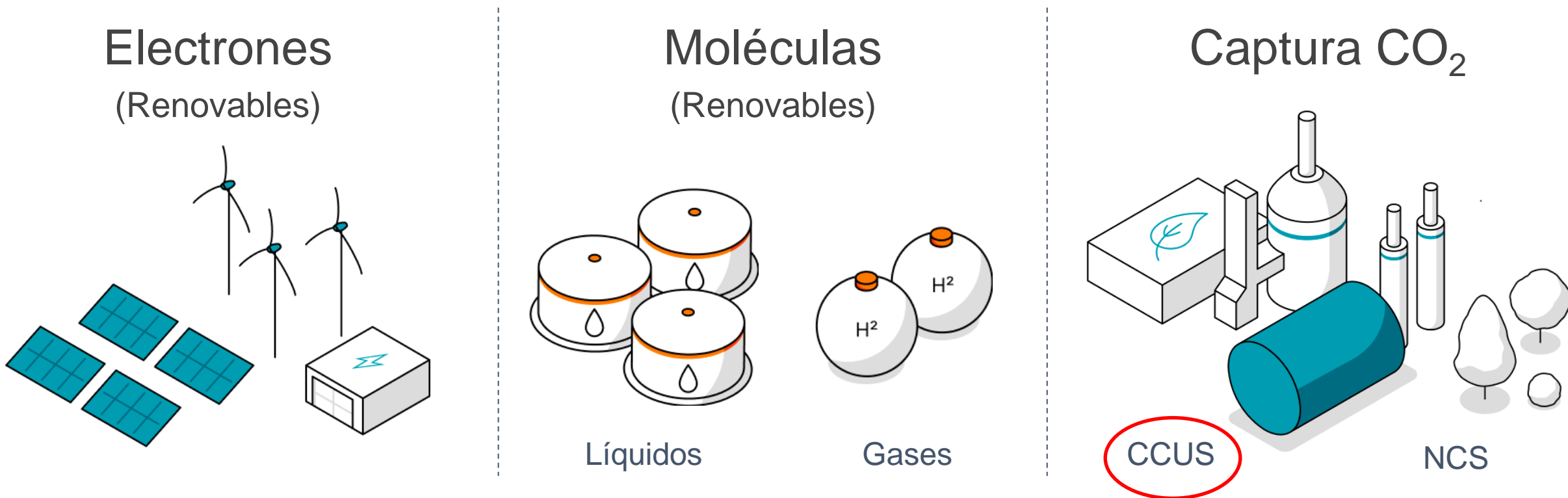
Cultivar y criar (plantas, animales) **19 %**

Desplazarnos (aviones, camiones, cargueros) **16 %**

Calentar o enfriar (calefacción, aire acondicionado, refrigeración) **7 %**

Fuente: Como evitar un desastre climático, Bill Gates (2021); IPCC (2014)

... porque descarbonización no es solo electrificación

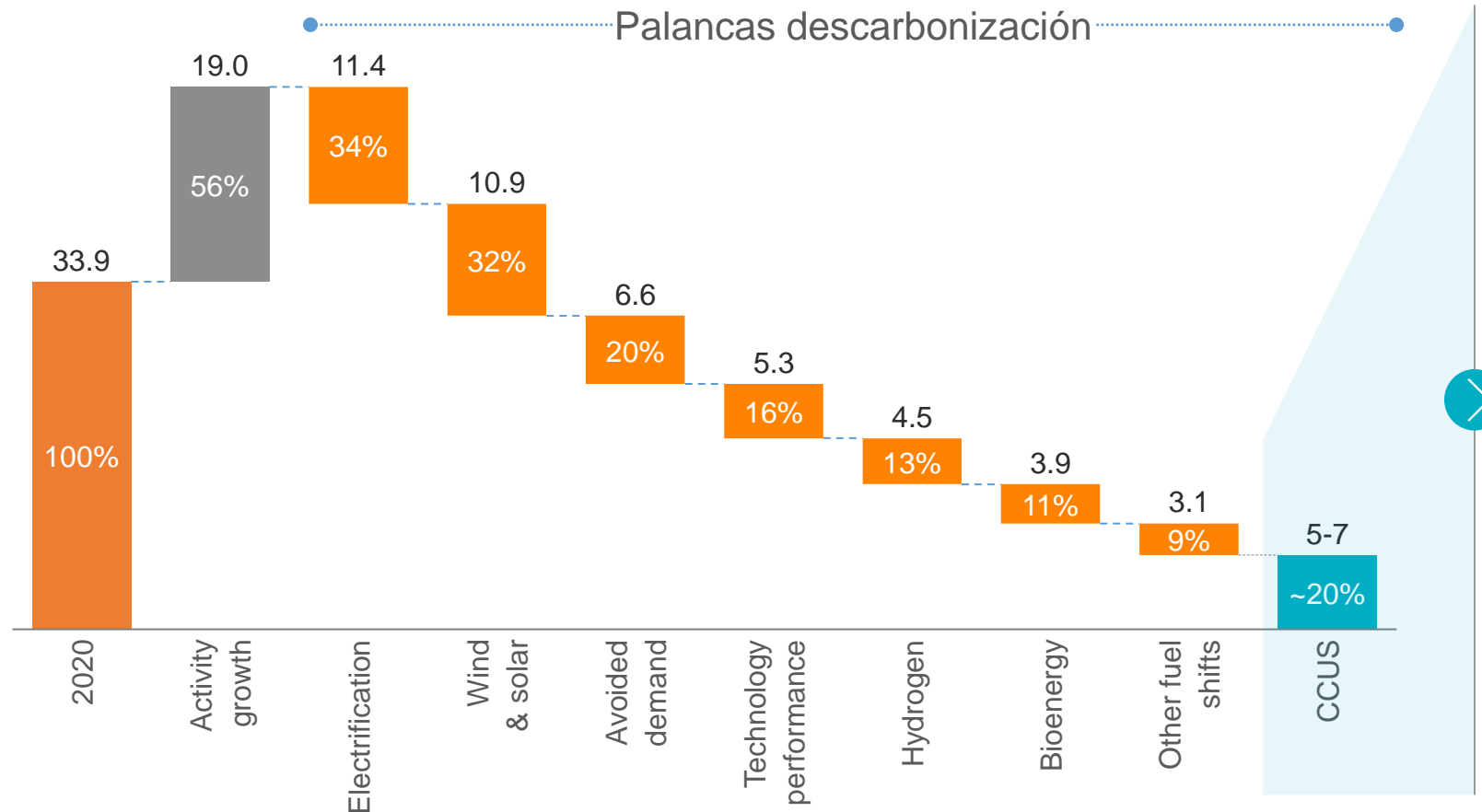


Grandes desafíos científicos y tecnológicos:

- Eficiencia
- Descarbonización (H₂, nuclear fisión y fusión, bioenergía, e-combustibles,...)
- Electrificación y almacenamiento a gran escala
- Economía circular
- Metales críticos y nuevos materiales
- **NBS / NCS, CCS, CCU, BECCS, DACCS... Tecnologías de emisiones negativas**

Papel del CCUS en la transición energética

Reducción de emisiones por palanca de mitigación para cero emisiones netas en 2050 (Gt CO₂ equivalente)



Source: IEA Net Zero Scenario (2021)

Rol ampliamente aceptado del CCUS

ipcc

"CCS has the potential to reduce overall mitigation costs and increase flexibility in achieving greenhouse gas emission reductions"

European Environment Agency

"Carbon capture, use and storage can provide a key contribution to tackling industries like cement, iron and steel, aluminum, pulp and paper, and refineries emissions"

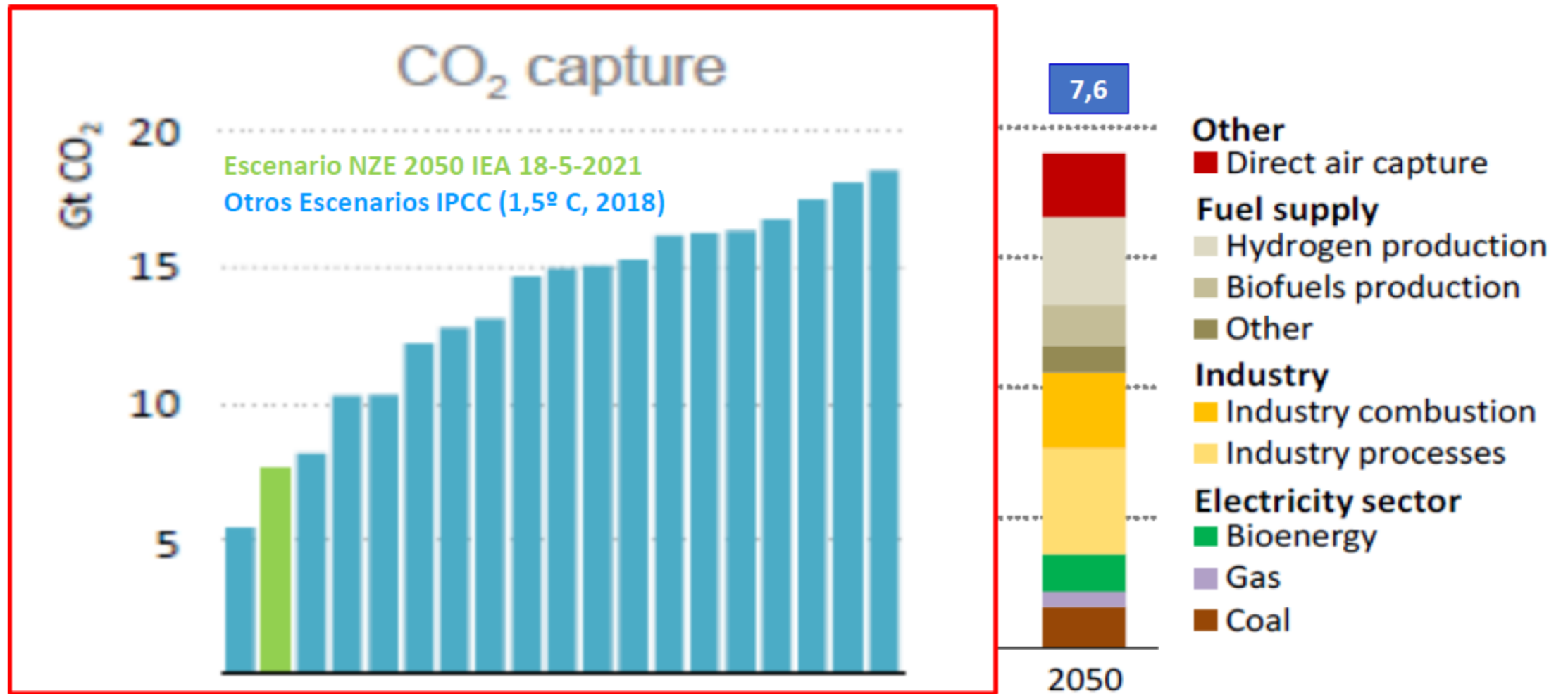
iea

"Carbon capture, utilization and storage, or CCUS, is an important emissions reduction technology that can be applied across the energy system"

eia

"CCUS is often viewed in the context of power production. However, capture and storage of CO₂ from industrial sources is also vitally important to reducing greenhouse gas emissions"

El CCUS es necesario en la transición energética...

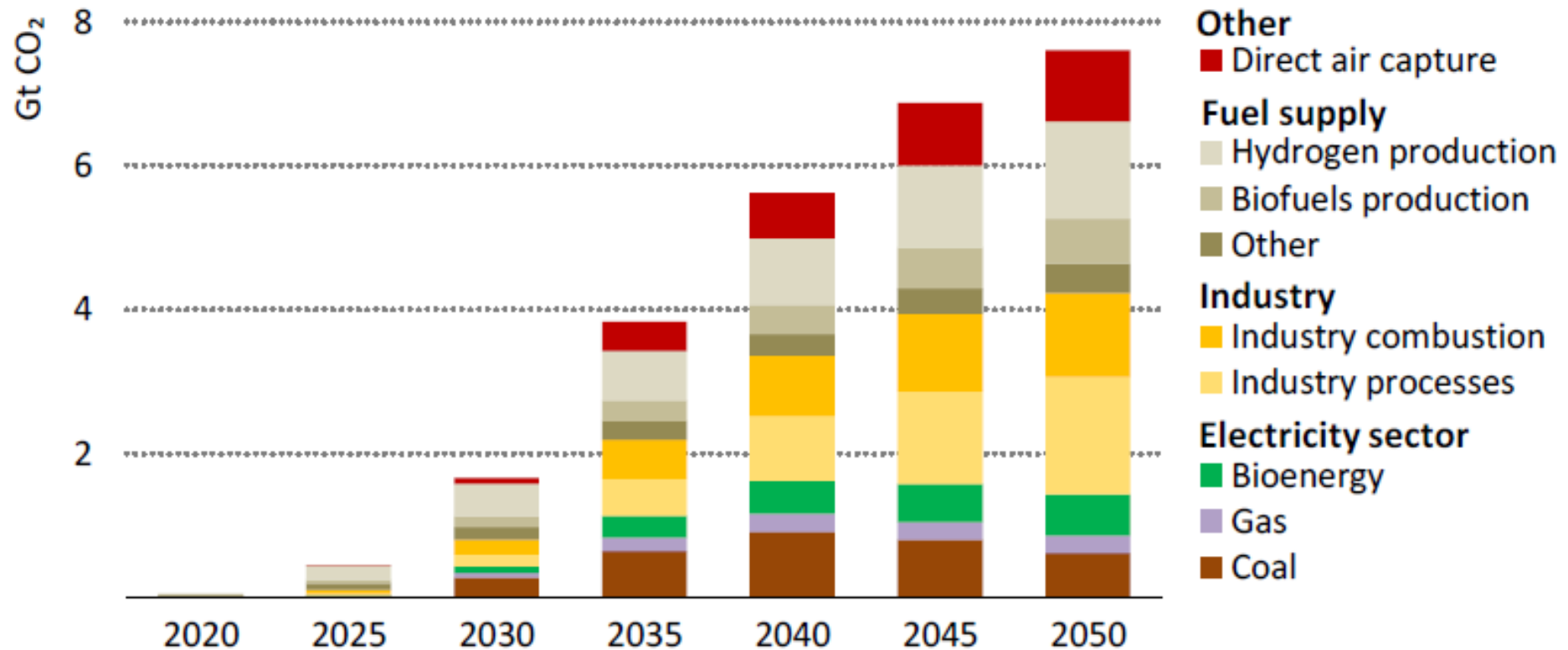


Source: IEA Net Zero Scenario (2021); en la revision de 2023, la IEA reduce su estimación a 6 Gt CO₂ en 2050.

Según la AIE, el 95% del CO₂ capturado en 2050 se almacenará permanentemente y solo el 5% se usará en la producción de combustibles sintéticos.

¡Pero no parece haber un despliegue de proyectos suficiente!

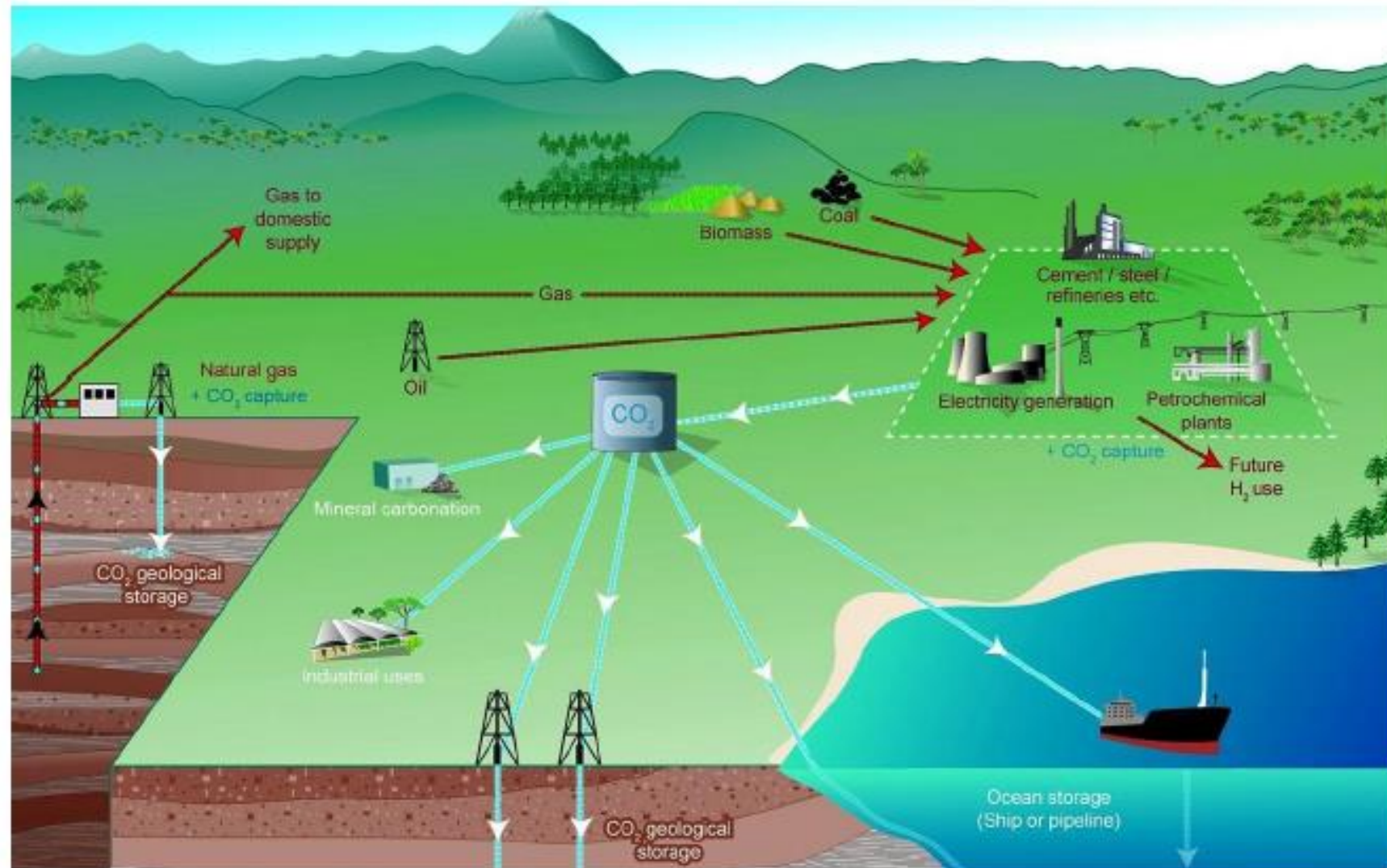
Figure 2.21 ▶ Global CO₂ capture by source in the NZE



Source: IEA Net Zero Scenario (2021); en la revision de 2023, la IEA reduce su estimación a 1 y 6 Gt CO₂ en 2030 y 2050, respectivamente.

En 2020 las instalaciones de captura en operación tienen una capacidad de 40 Mt CO₂ por año. Muy lejos de las necesidades a futuro de un escenario como en NZE

El ecosistema CCUS

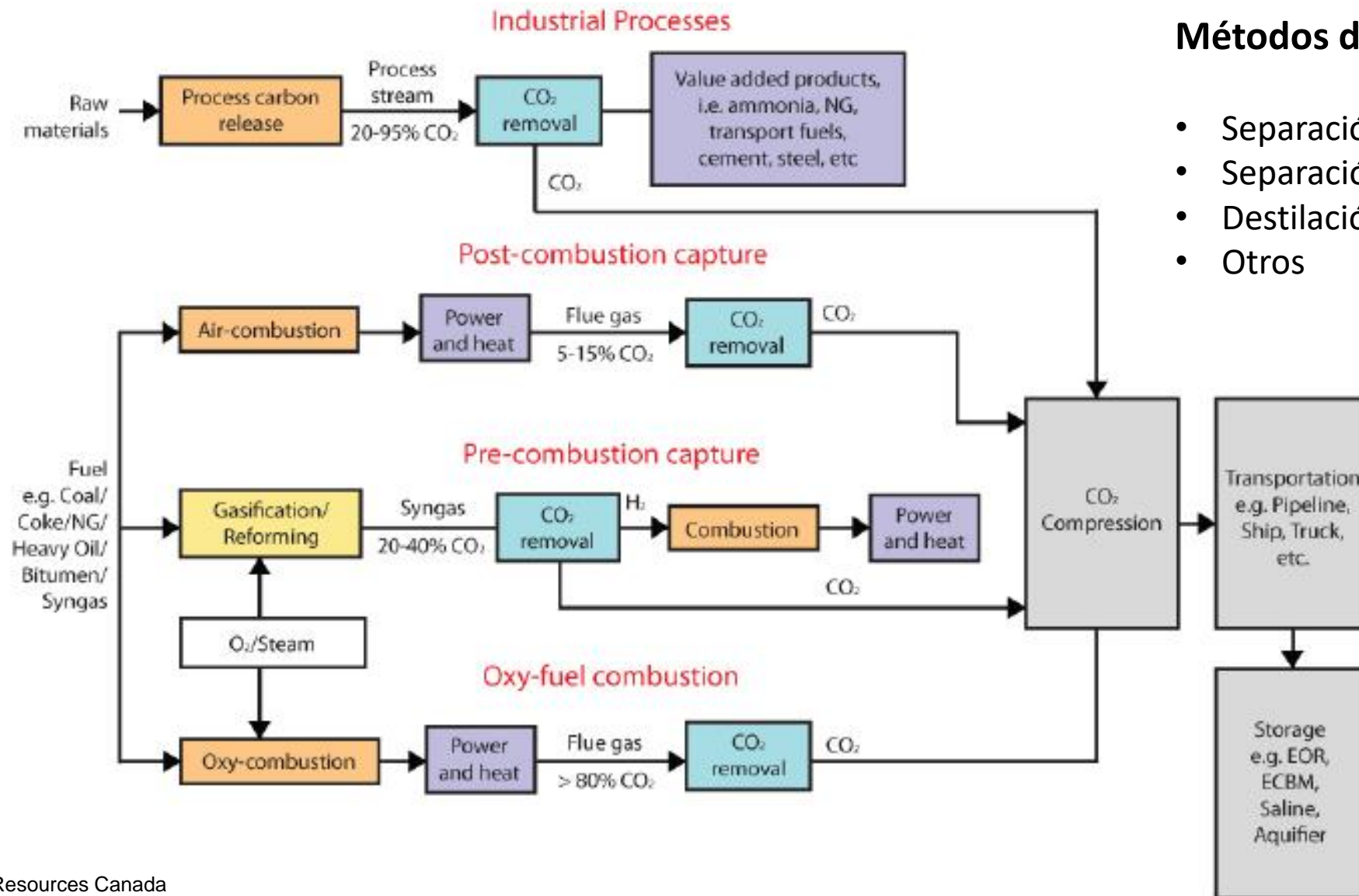


Source: IPCC

Las etapas del CCUS



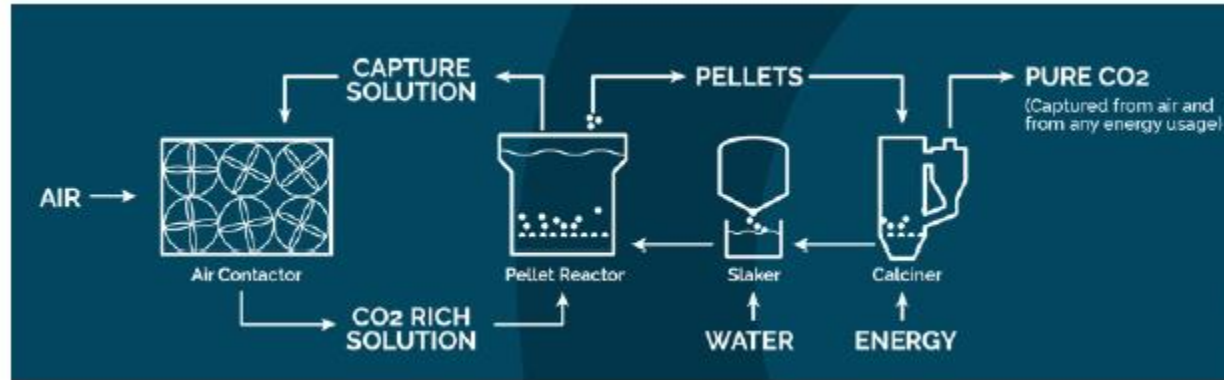
Captura CO₂



Métodos de separación

- Separación con absorbentes
- Separación con membranas
- Destilación criogénica
- Otros

Captura – DAC

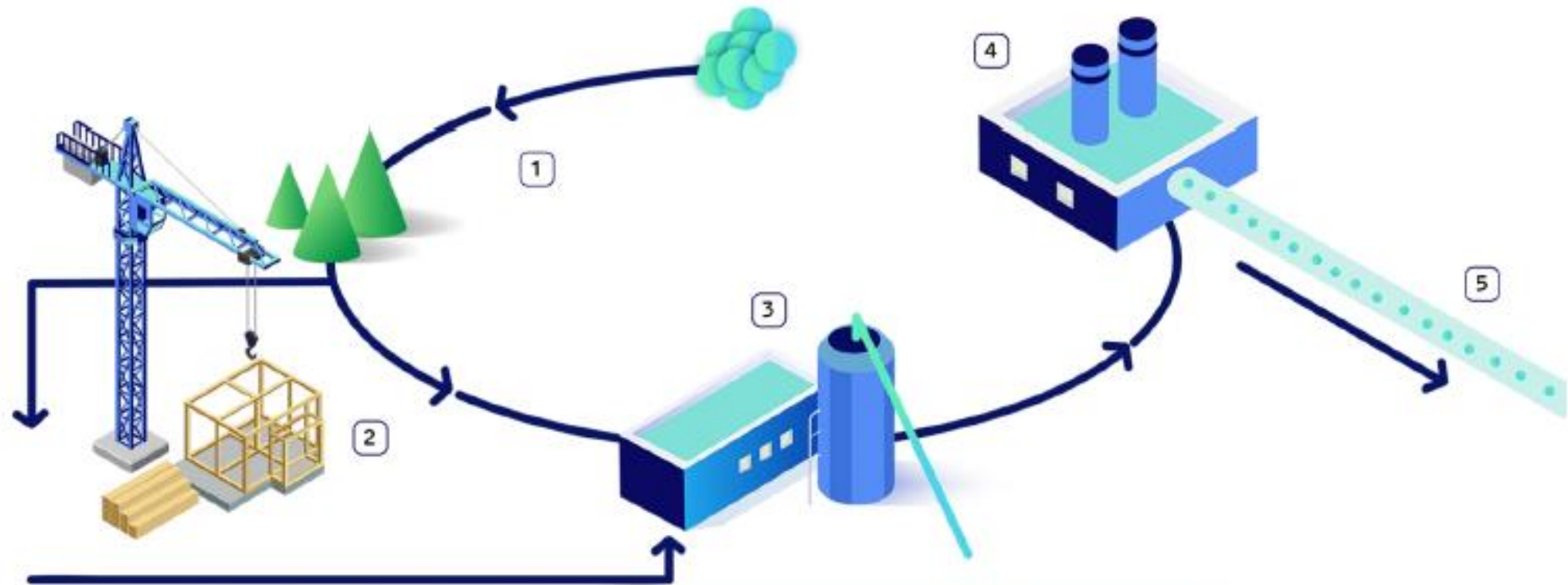


Source: Carbon Engineering



Captura – BECCS

How BECCS removes carbon from the atmosphere



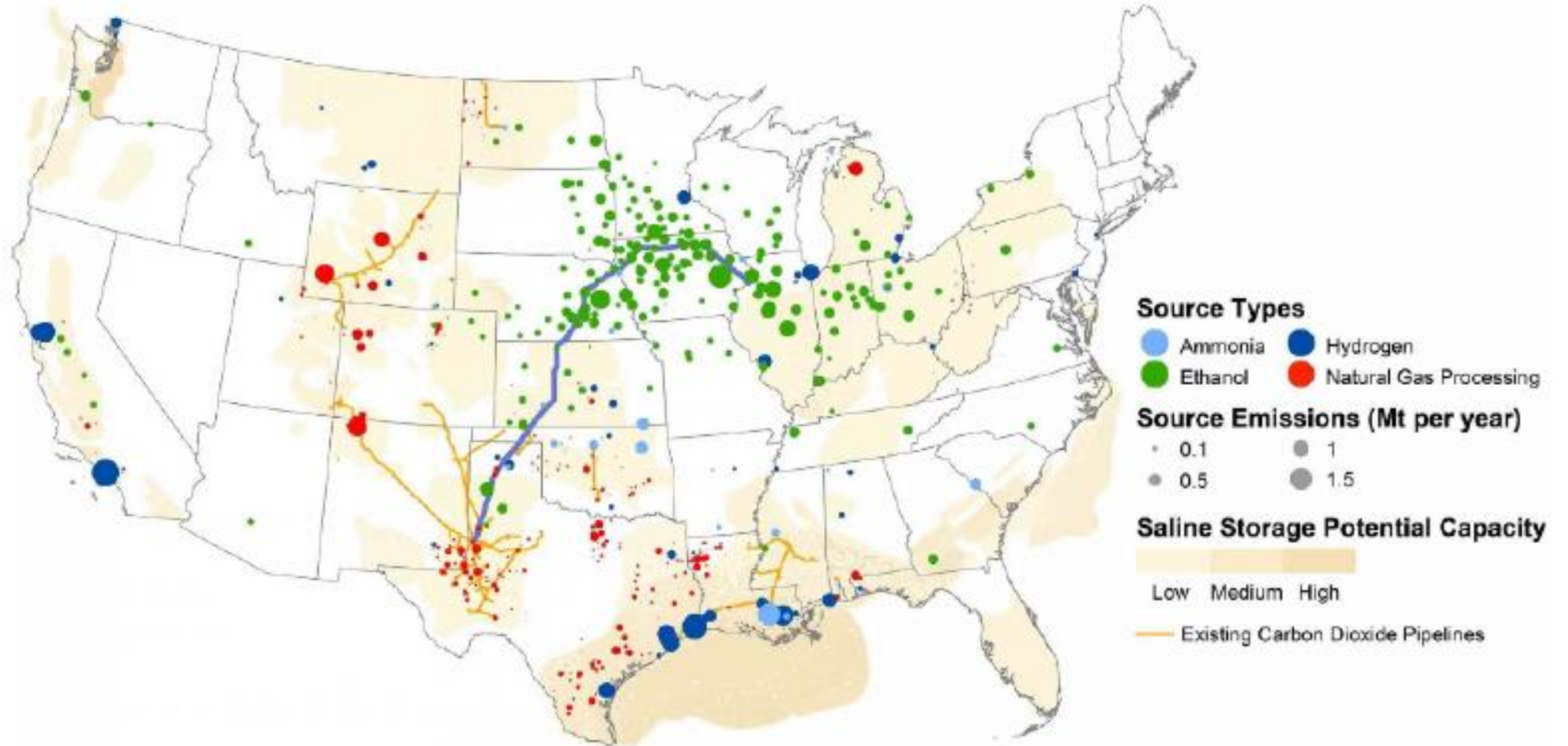
KEY
● CO₂

- 1 Sustainably managed working forests absorb carbon dioxide (CO₂) from the atmosphere as they grow
- 2 Wood is used in industries such as construction
- 3 Low-grade, waste wood and residues from saw mills and forests are turned into biomass pellets
- 4 Biomass is used to generate carbon neutral electricity
- 5 CO₂ produced is captured, transported and stored permanently – removing it from the carbon cycle

Transporte de CO₂

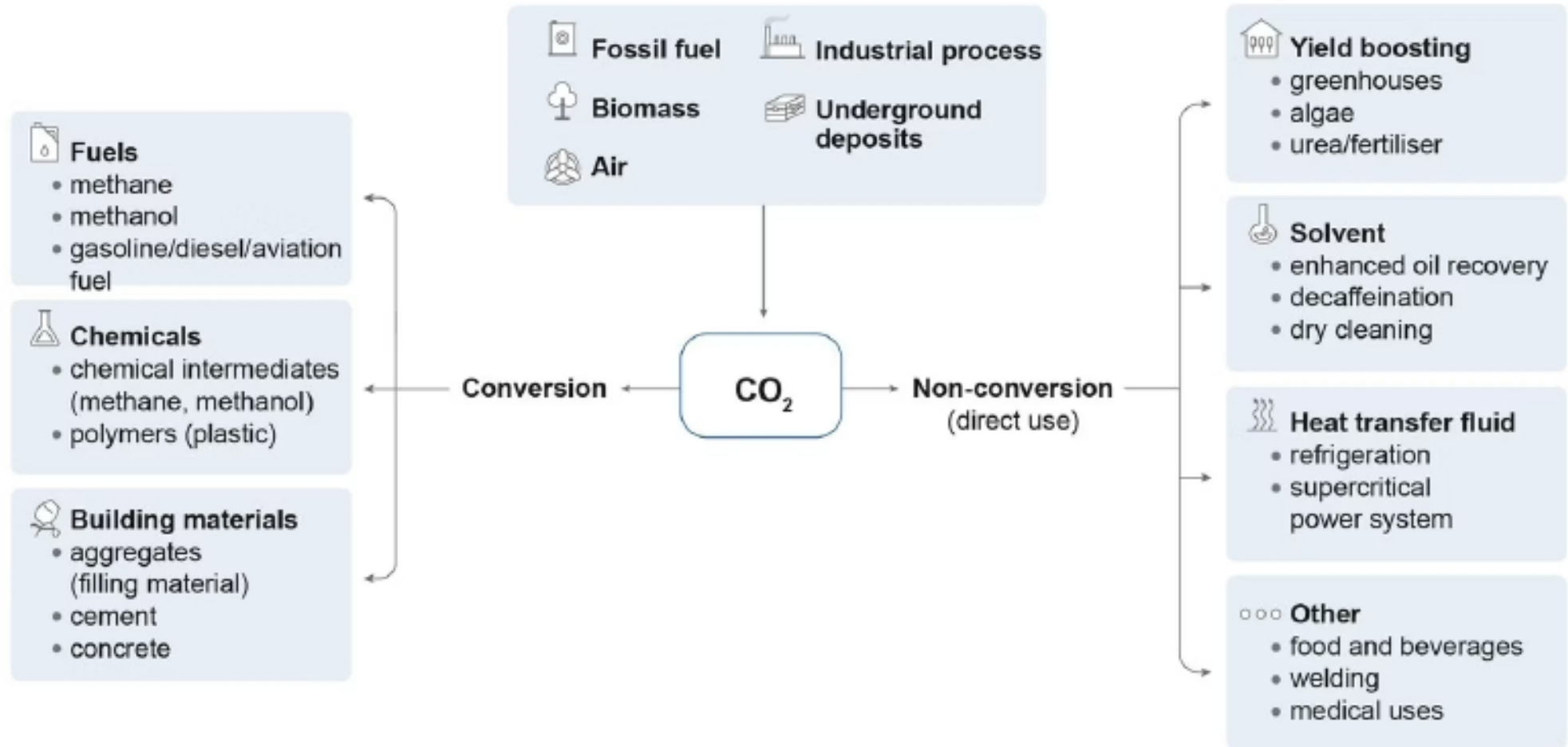
IBIT 13: US existing CO₂ pipeline infrastructure

- Tubería
- Barco
- Camión

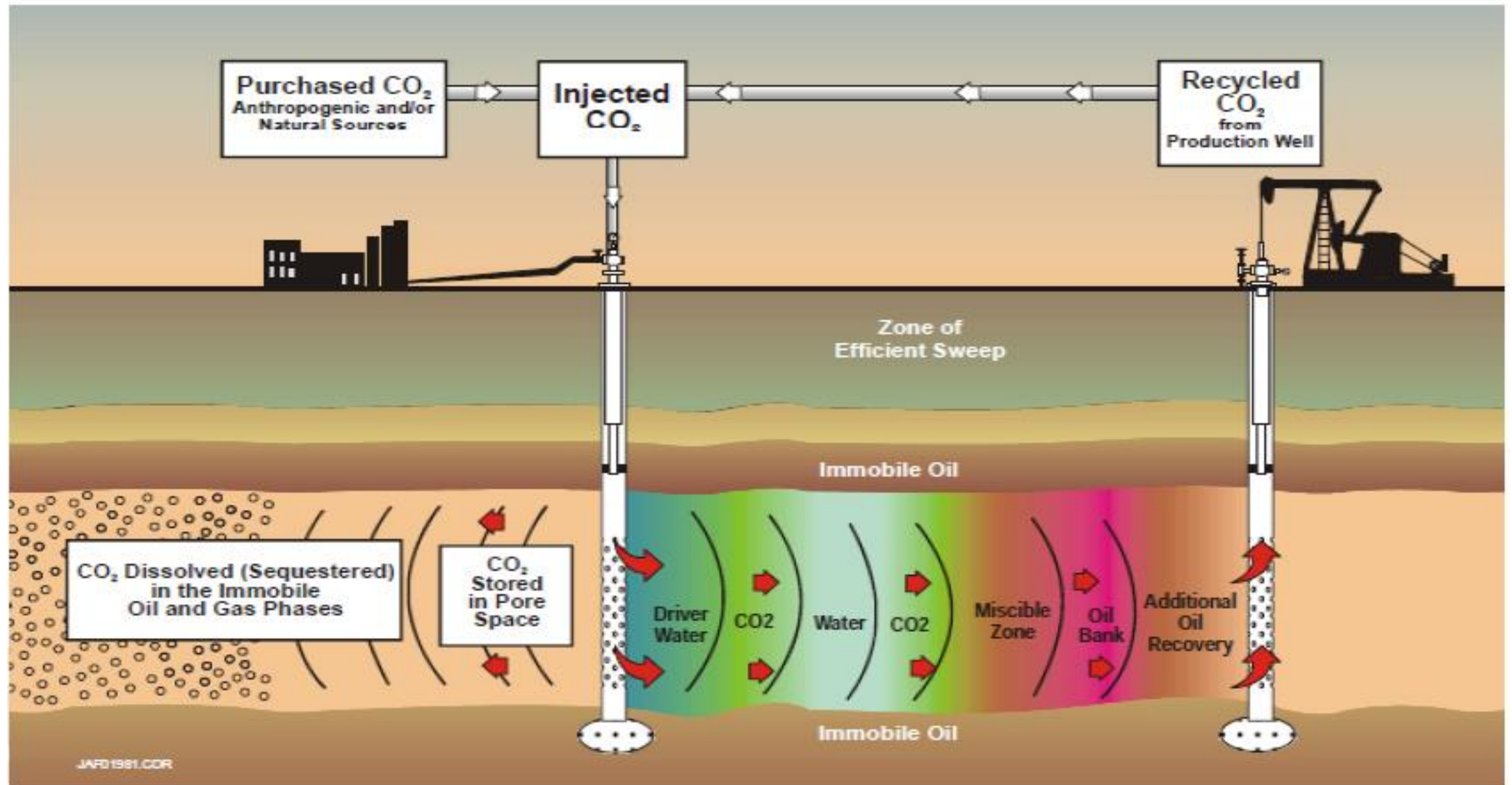


Uso de CO₂

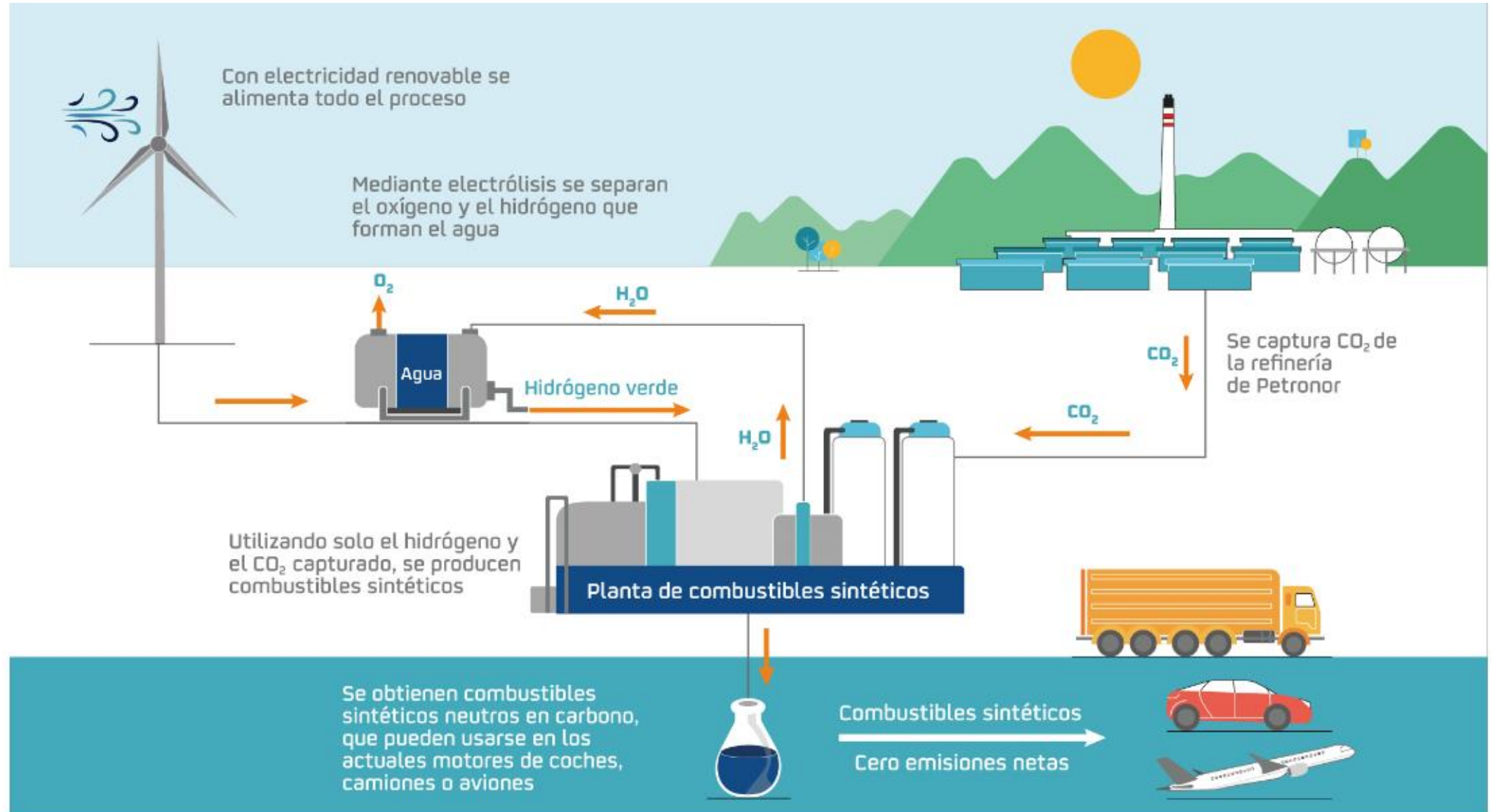
CO₂ can be used directly (i.e. in fertilisers or Enhanced Oil Recovery (EOR)) or indirectly after it has been transformed into a useful product (i.e. fuels, chemicals and cement)



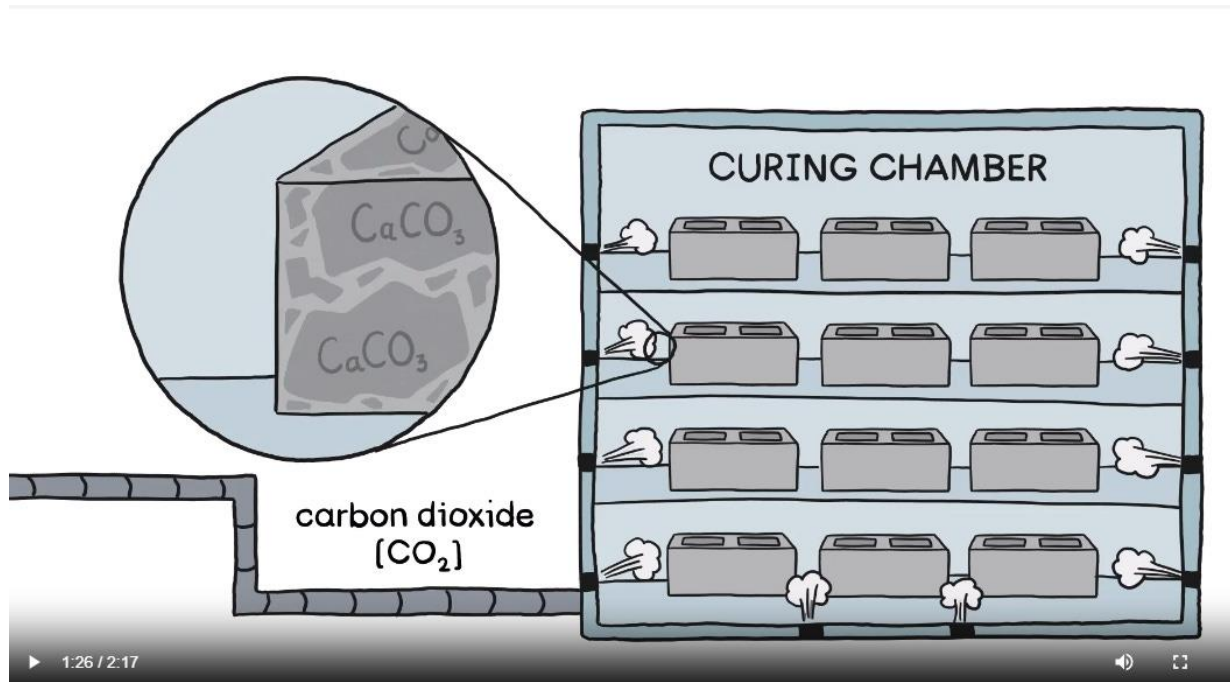
Uso – EOR (Recuperación mejorada del petróleo)



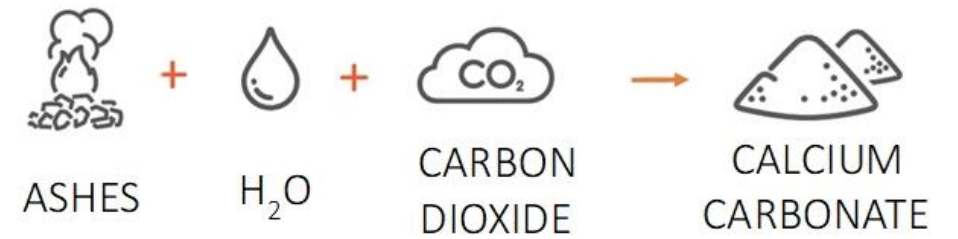
Uso – Combustibles sintéticos



Uso – Mineralización ex-situ



Source: Carbonbuilt

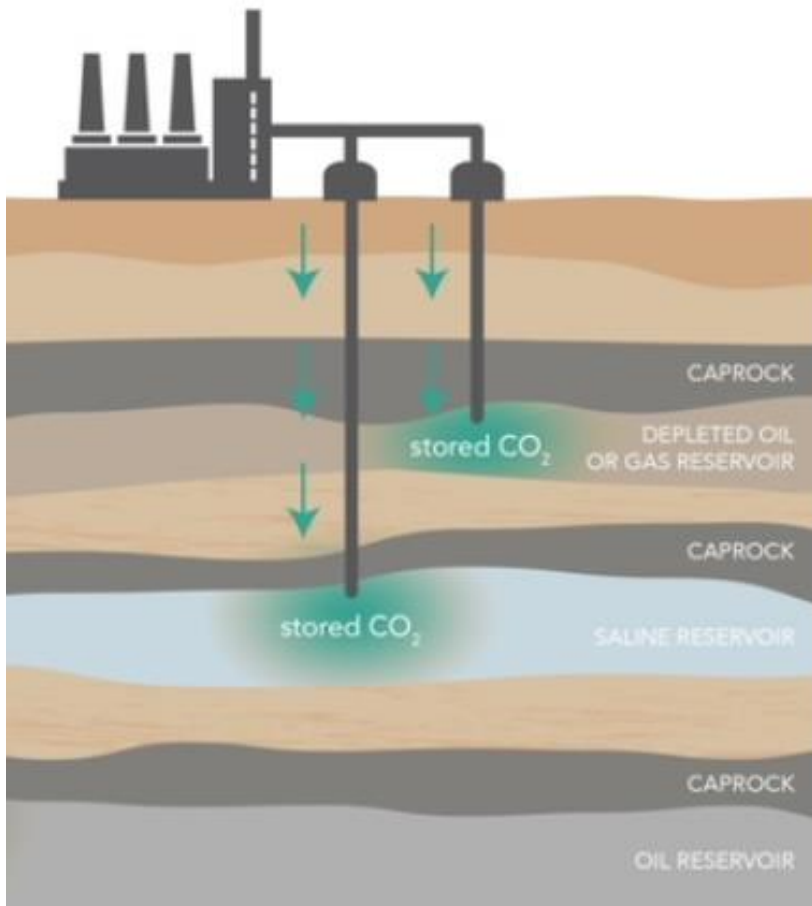


Source: OCO Technology

Almacenamiento de CO₂

Tradicional

CO₂ injection into deep saline formations & depleted oil & gas reservoirs



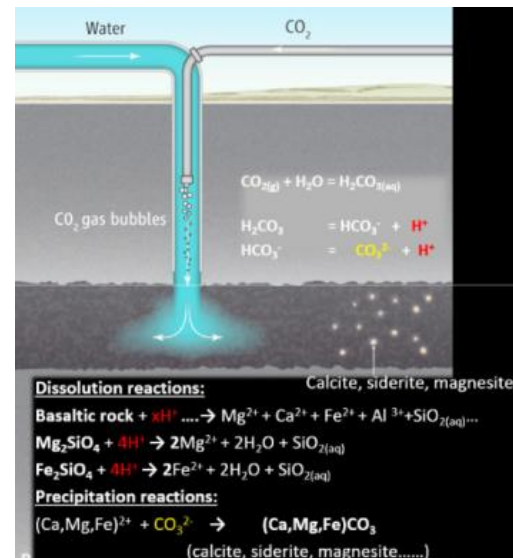
Source: IEA

Mineralización in-situ

EXHIBIT 21: Rock core from the Carbfix project in Iceland shows carbonates created from injected CO₂



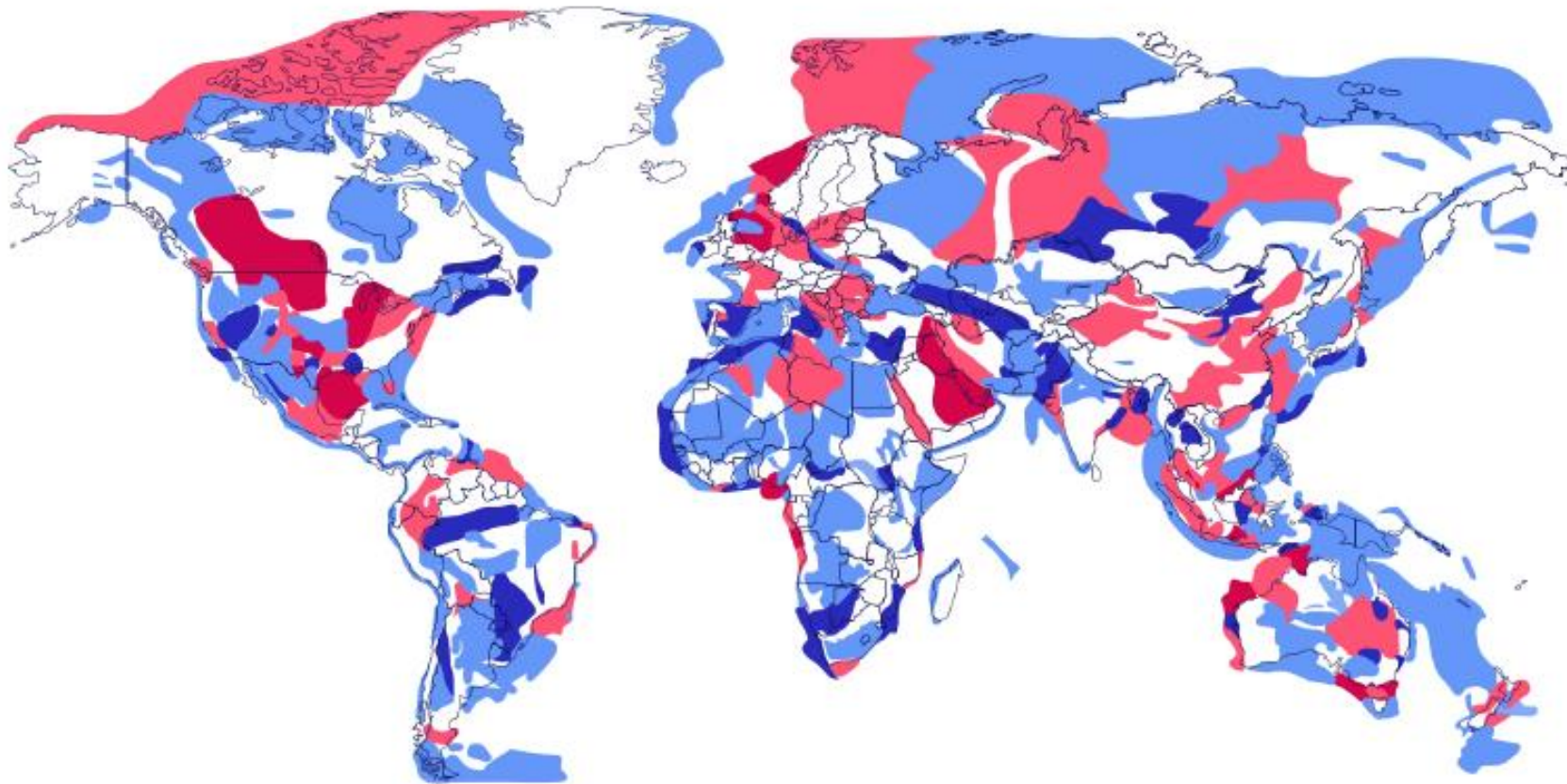
Source: CarbFix



Source: [Gíslason et al., 2018.](#)

Almacenamiento de CO₂

Most suitable areas for CO₂ storage

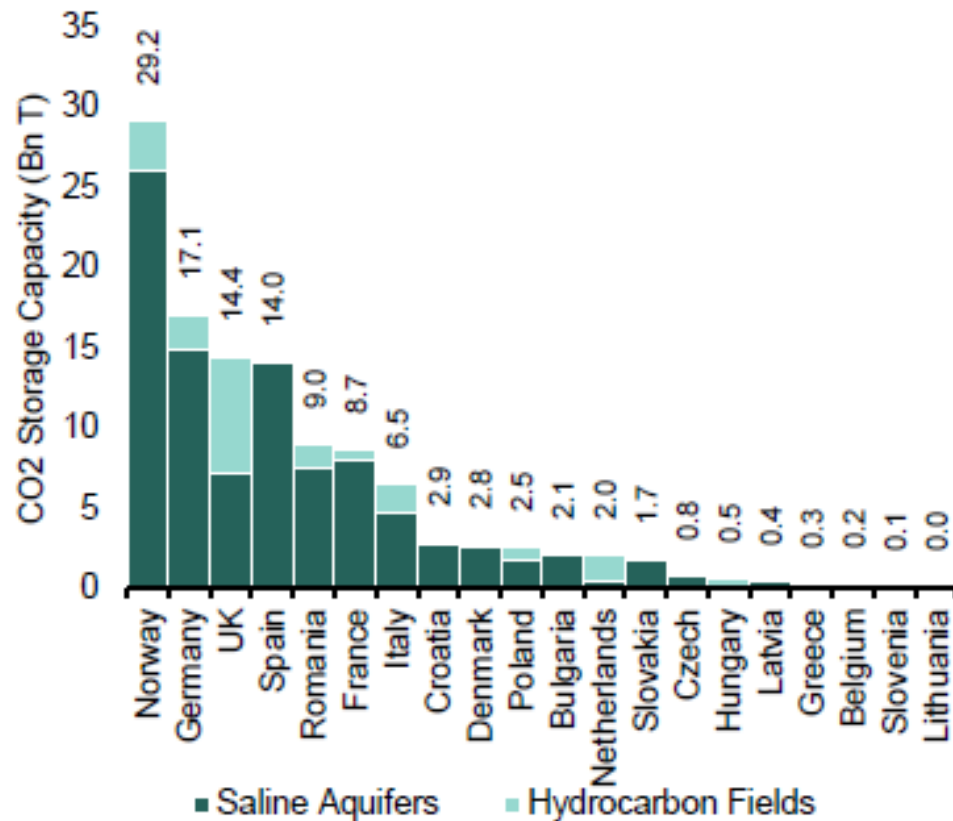


■ HIGHLY SUITABLE ■ SUITABLE ■ POSSIBLE ■ UNLIKELY

Almacenamiento de CO₂

Conservative CO2 storage capacity estimates total 115GT

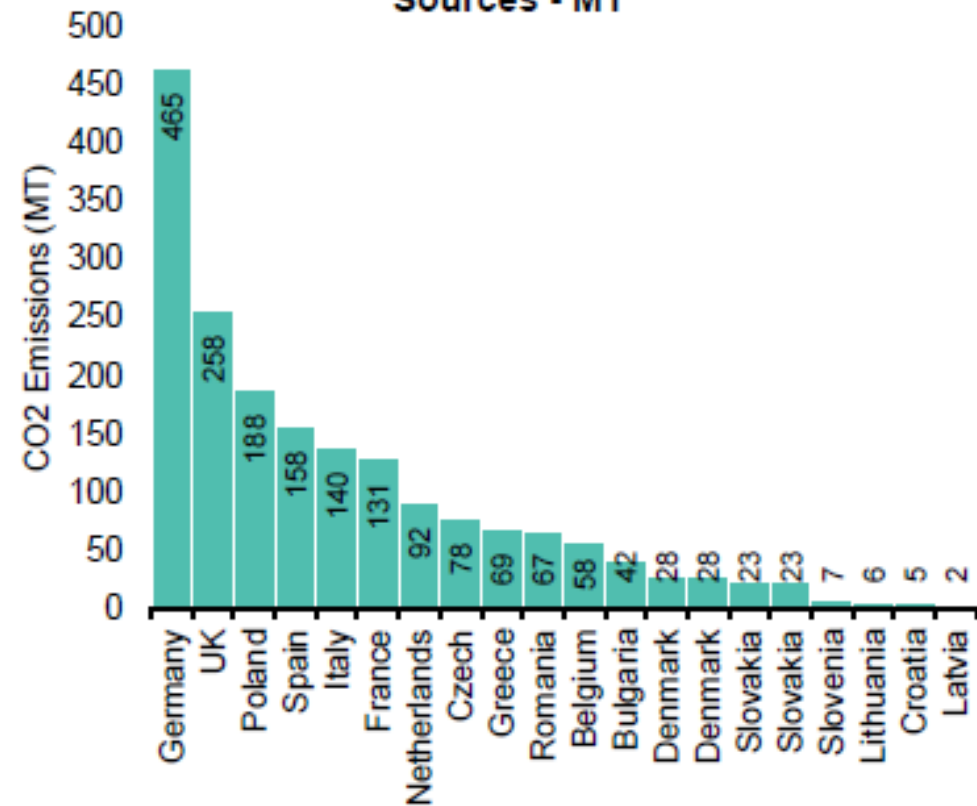
European CO2 Storage Capacity - GT



Source: EU GeoCapacity project

... for context, the EU+UK generated 3GT of CO2 emissions in 2021

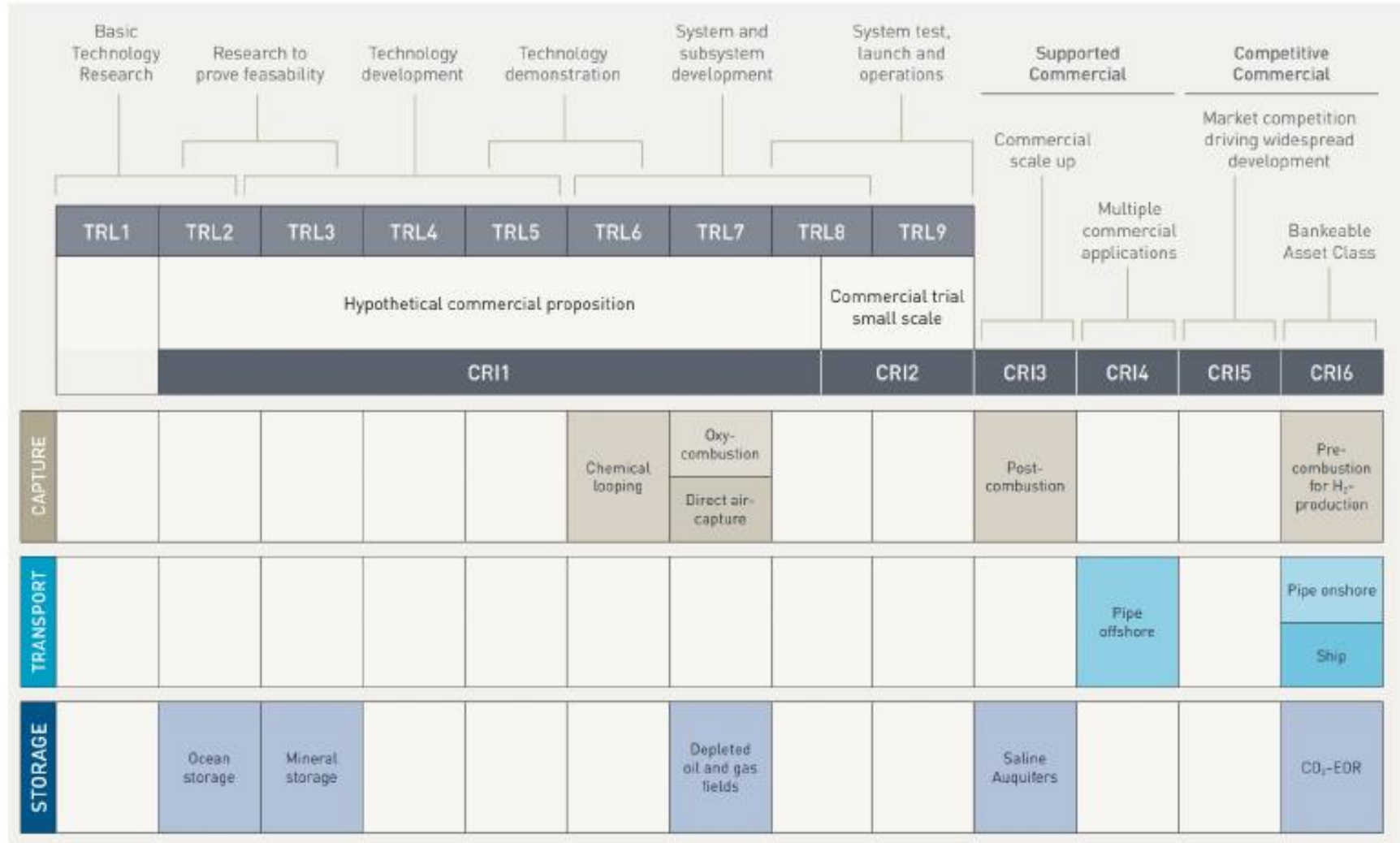
European CO2 Emissions from Large Point Sources - MT



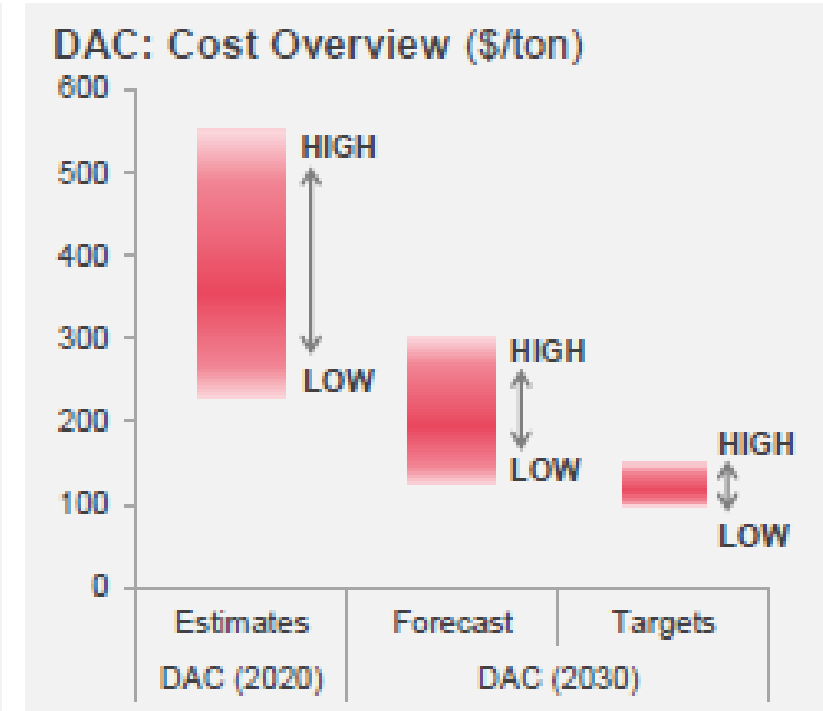
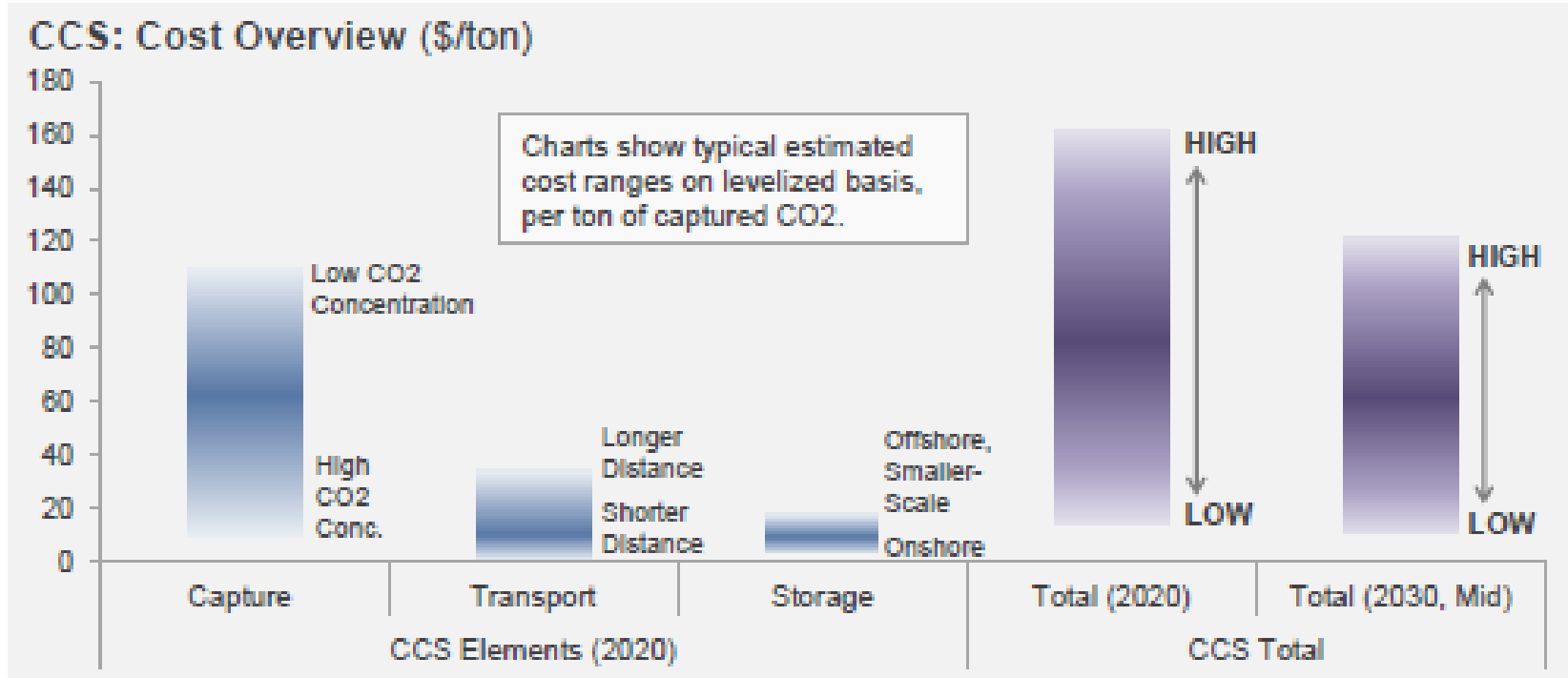
Source: EU GeoCapacity project

Madurez del CCUS

Technology Readiness Levels (TRL) and Commercial Readiness Index (CRI) of CCUS technologies



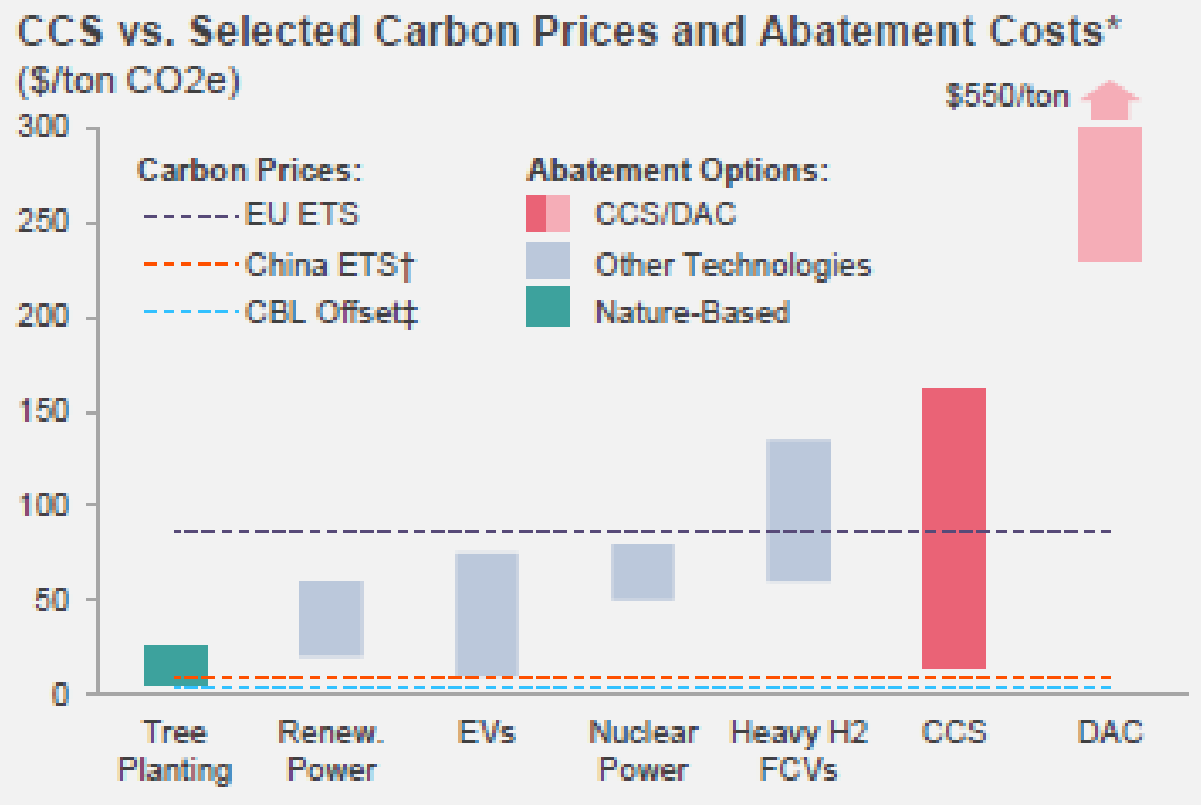
Coste del CCUS



Source: Energy Intelligence Analysis.

- A pesar del papel relevante del CCUS en la transición, persisten los desafíos
- Desglose de costes: de múltiples componentes, aunque la captura de CO₂ es clave
- Se necesita apoyo regulatorio para que el CCUS alcance su potencial

Coste del CCUS



Source: Energy Intelligence

Table B.2 ▶ CO₂ prices for electricity, industry and energy production in selected regions by scenario

USD (2021) per tonne of CO ₂	2030	2040	2050
Stated Policies Scenario			
Canada	54	62	77
Chile, Colombia	13	21	29
China	28	43	53
European Union	90	98	113
Korea	42	67	89
Announced Pledges Scenario			
Advanced economies with net zero emissions pledges ¹	135	175	200
Emerging market and developing economies with net zero emissions pledges ²	40	110	160
Other emerging market and developing economies	-	17	47
Net Zero Emissions by 2050 Scenario			
Advanced economies with net zero emissions pledges	140	205	250
Emerging market and developing economies with net zero emissions pledges	90	160	200
Other emerging market and developing economies	25	85	180

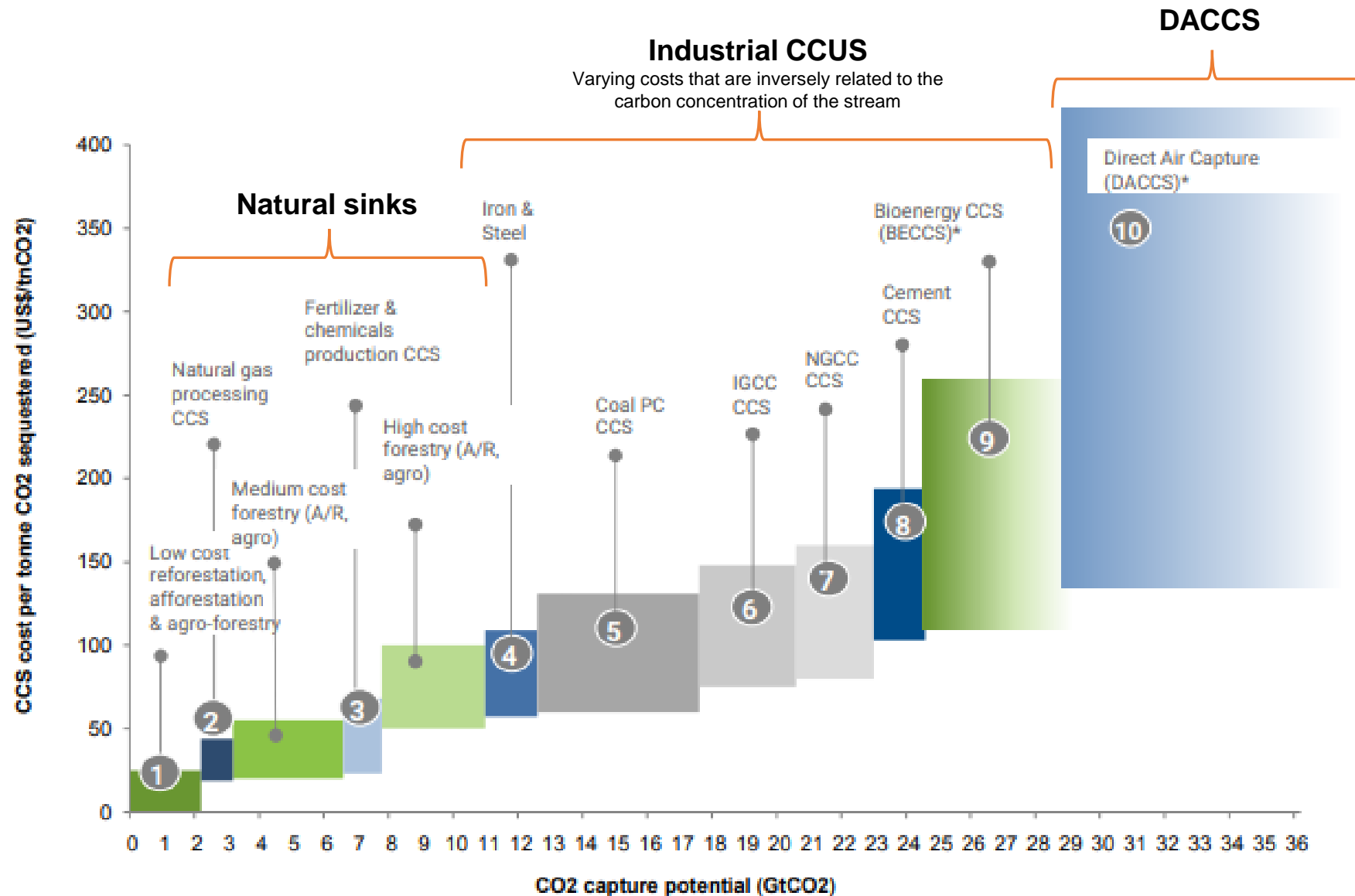
Note: Values are rounded.

¹ Includes all OECD countries except Mexico.

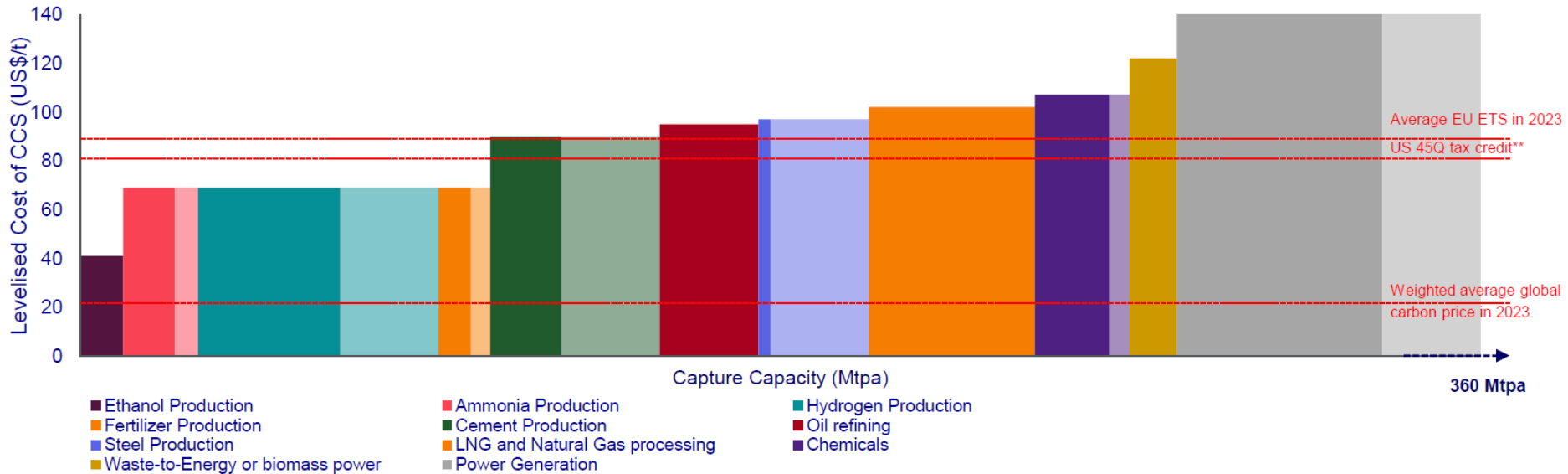
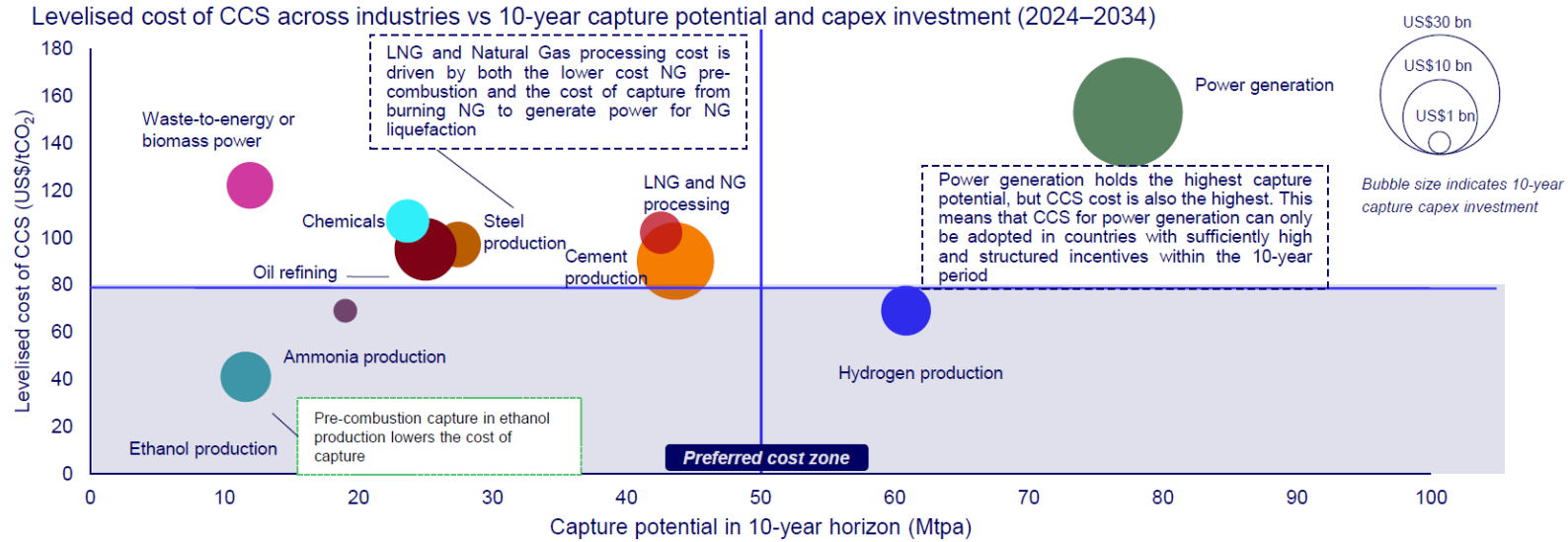
² Includes China, India, Indonesia, Brazil and South Africa.

Source: IEA

Potencial de captura y costes por tonelada de CO₂ retirado

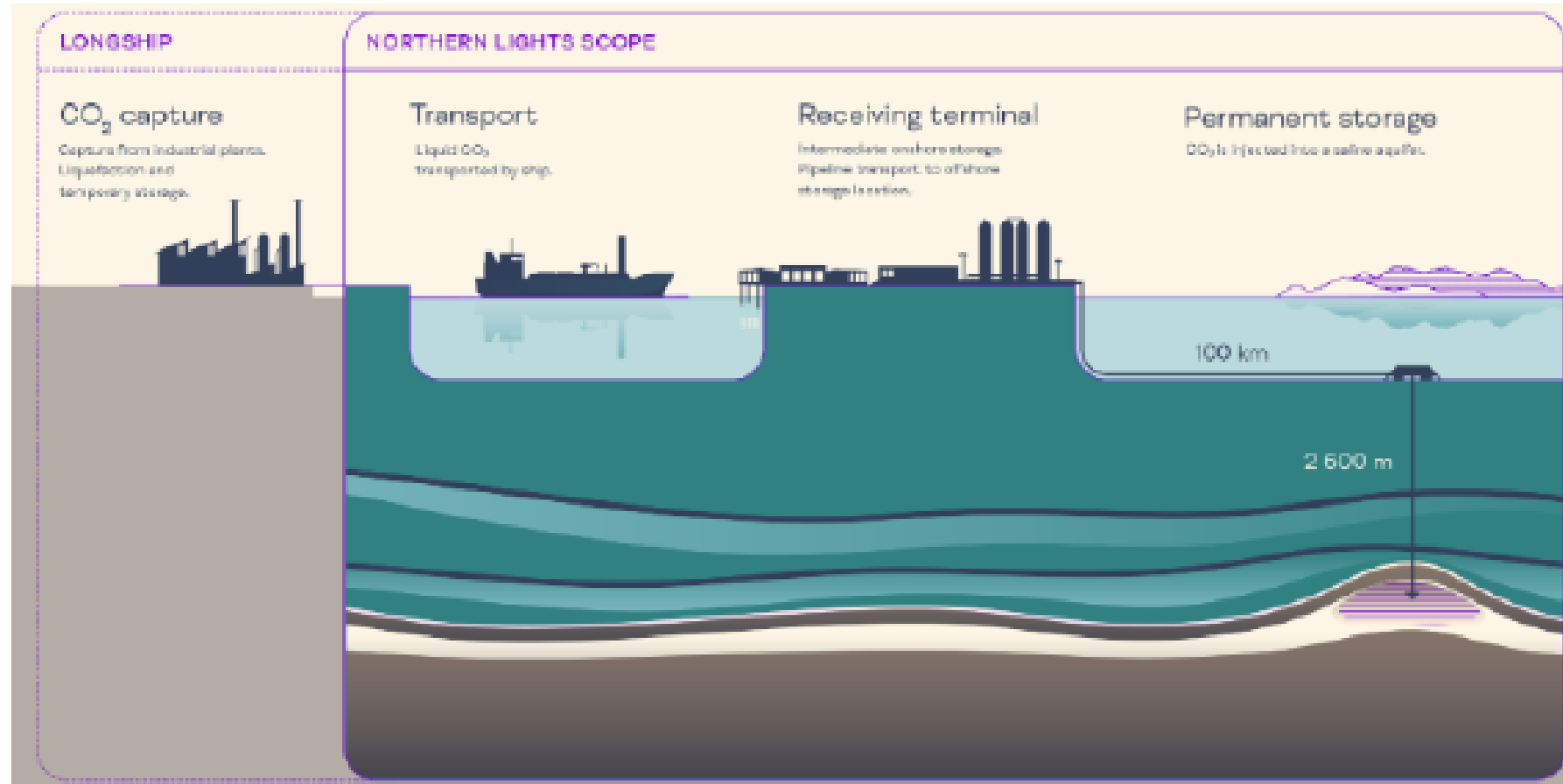


Coste del CCUS y detalle de los sectores difíciles de descarbonizar



Ejemplos de proyectos de CCUS

Exhibit 8 - Norway's Northern Lights CCS storage will commence operation in 2024



Source: Northern Lights JV

Ejemplos de proyectos de CCUS

EXHIBIT 82: The East Coast Cluster consists of two projects: Net Zero Teesside (NZZ) and Zero Carbon Humber (ZCH)



Source: East Coast Cluster

Claves del CCUS

- 1 Se requiere CCUS para lograr emisiones netas cero, más aún para limitar el calentamiento global a 1,5°C**
Más de un 20% de la reducción acumulada de emisiones de CO₂ 2018-2050 procederá de CCS bajo IEA NZE (1,5°C, NZE 2050).
- 2 CCUS es una tecnología clave para sectores difíciles de descarbonizar y sendas de emisión negativa**
Para la industria, el CCUS ayuda a reducir las emisiones de CO₂ de procesos a alta temperatura y de procesos con reacciones químicas; para la generación eléctrica, el gas natural con CCUS es un backup descarbonizado de las energías renovables; CCUS es un componente clave de las futuras sendas de emisión negativa.
- 3 CCUS es una tecnología comprobada y viable**
Cerca de 40 instalaciones comerciales en funcionamiento, muchos proyectos en curso, tecnologías disponibles en etapa avanzada de desarrollo
- 4 El coste de captura difiere entre las aplicaciones. Hay oportunidades a día de hoy con costes de abatimiento por debajo de 100 \$/t**
Un reto tecnológico es reducir los altos costes de captura a 30-60 \$/t. El despliegue a corto plazo se concentrará donde existan corrientes de alto volumen y alta concentración de CO₂
- 5 El desafío de implementación para CCS es ampliar los proyectos hasta la escala Gt**
Los proyectos pueden estar dedicados a un solo emisor de gran escala o a centros con múltiples emisores que comparten infraestructuras de transporte y almacenamiento
- 6 Un desafío clave es el apoyo de los stakeholders**
Reconocer un "precio de CO₂" de aplicación a CCUS (como para otras vías de descarbonización), eliminar barreras regulatorias (certificación, permisos) y, en última instancia, obtener una amplia aceptación social



¡MUCHAS GRACIAS!

