

CONAMA 2022

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Almacenamiento geológico de CO₂: tecnología para la descarbonización de Europa

Análisis de los principales proyectos con financiación de la UE y EEMM



TÍTULO

CONAMA 2022

ALMACENAMIENTO GEOLÓGICO DE CO₂:
TECNOLOGÍA PARA LA DESCARBONIZACIÓN DE EUROPA

Autor Principal: Pedro Mora Peris (Plataforma Tecnológica Española del CO₂, PTECO2)

Otros autores: Paula Fernández-Canteli (Instituto Geológico y Minero de España, IGME-CSIC);
Sergio Cuadrado Iglesias (Agrupación de Fabricantes de Cemento de España, Oficemen);
Rosa M^a Alonso López (Plataforma Tecnológica Española del CO₂, PTECO2)

ALMACENAMIENTO GEOLÓGICO DE CO₂: TECNOLOGÍA PARA LA DESCARBONIZACIÓN DE EUROPA

PALABRAS CLAVE

Acuerdo de París; Almacenamiento; Almacenamiento geológico; Calentamiento global; Captura CO₂; *Carbon capture, utilisation and storage*; Carbonatación; CCS; CCUS; CO₂; Confinamiento; Descarbonización; Dióxido de carbono; Emisiones; Europa; Gases de Efecto Invernadero; GEI; Ley Europea del Clima; Objetivos climáticos; *Offshore development*; *Onshore development*; Proyecto; Plataforma Tecnológica Española del CO₂; PTECO2; Subsuelo; Tecnologías CAUC; Unión Europea; Usos CO₂;

RESUMEN

Dentro de los objetivos principales de la Plataforma Tecnológica Española del CO₂ (PTECO2) destaca la realización, difusión y promoción de la investigación, desarrollo e innovación en tecnologías de captura, transporte, almacenamiento y usos y transformación del CO₂ (Tecnologías CAUC, CCUS por sus siglas en inglés).

En esta comunicación realizada en exclusiva para “CONAMA 2022”, desde PTECO2 queremos dar a conocer el potencial del almacenamiento geológico de CO₂ para la descarbonización de Europa y, para ello, se realiza, en primer lugar, una visión de esta tecnología para, posteriormente, analizar los diferentes proyectos que, apoyados por la UE o sus respectivos estados miembros, estarán operativos antes de 2030.

En un tiempo en el que las emisiones de CO₂ debidas a la producción energética con combustibles fósiles parecen en proceso de desaparición irreversible, se debe incidir en las tecnologías que apunten hacia las emisiones de otras industrias (cemento, siderurgia, magnesia, sector químico, etc.), cada una con sus particularidades. Una vez capturadas, se debe implementar su almacenamiento seguro y permanente, lo que se puede lograr gracias al almacenamiento geológico, permitiendo que España pueda a su vez alcanzar los objetivos medioambientales comprometidos.

INTRODUCCIÓN

La tecnología de Captura y Almacenamiento de CO₂ es considerada una de las tres alternativas principales, junto a la mejora de la eficiencia energética y el fomento de fuentes de energía libres de carbono (renovables, nuclear entre otras), para reducir las emisiones atmosféricas de CO₂ generadas por la actividad humana.

La reducción de emisiones a la atmósfera empleando tecnologías CAUC es imprescindible para alcanzar el objetivo de neutralidad climática de la Unión Europea en 2050. Este objetivo fue primero un compromiso político por el Pacto Verde europeo ("Green Deal"), pero se ha transformado en obligación a través de la Ley Europea del Clima¹, aprobada en junio de 2021. Además, la UE ha manifestado su objetivo ideal de alcanzar emisiones negativas.

Ya que con la tecnología actual se necesitan aún décadas para que las energías renovables puedan sustituir a las energías fósiles, el almacenamiento de CO₂ nos permitirá seguir utilizando estas a corto y medio plazo sin emisiones a la atmósfera.

Actualmente, las principales opciones de almacenamiento permanente de CO₂ viables son dos: el almacenamiento por carbonatación mineral y el almacenamiento geológico:

a) Almacenamiento por carbonatación mineral

El sistema de almacenamiento por carbonatación mineral se basa en el fenómeno por el cual el CO₂ disuelto en agua genera una solución ácida y reacciona con los óxidos alcalinos y alcalinotérreos presentes en determinados silicatos, fijando parte del CO₂ de forma permanente como carbonatos. Estas reacciones ocurren lentamente en la naturaleza y el objetivo para su uso como almacenamiento viable de CO₂ es acelerar considerablemente el proceso.

Este mecanismo está siendo probado a escala piloto en el subsuelo de Islandia desde 2011, Proyecto Carbfi x (2011-2014) y Carbfi x2 (2017-2021), dando resultados sorprendentemente satisfactorios en relación con el tiempo de mineralización. En este caso, el CO₂ disuelto en grandes volúmenes de agua es inyectado en el basalto volcánico -del que está compuesta la mayor parte de la isla- rico en iones calcio y magnesio, y que al reaccionar con el CO₂ forma carbonatos de calcio y de magnesio.

Otra posibilidad es la carbonatación mineral en reactor. Para ello, se hará uso de las oportunidades que brindan las nuevas tecnologías de captura de CO₂, como en las que se obtienen corrientes de CO₂ puro a elevadas presiones. El proceso debe ensayarse inicialmente a escala laboratorio en régimen discontinuo a temperaturas relativamente altas (150-200 °C) y altas presiones (150-200 bar), con el objeto de determinar las condiciones óptimas de operación. Uno de los mayores desafíos del proceso es la formación de películas de carbonato sobre la partícula de silicato, que lleva a un bajo aprovechamiento de la misma a menos que vuelva a reactivarse. En una segunda fase, se debe estudiar la puesta a punto de un reactor que permita llevar a cabo el proceso en régimen continuo. El producto de reacción es sílice, que puede ser comercializada industrialmente.

b) Almacenamiento geológico

¹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32021R1119>

ALMACENAMIENTO GEOLÓGICO DE CO₂: TECNOLOGÍA PARA LA DESCARBONIZACIÓN DE EUROPA

El almacenamiento geológico de CO₂ consiste en la inyección de CO₂ antropogénico en determinadas formaciones geológicas del subsuelo con el objetivo de reducir o evitar que contribuya al efecto invernadero. Esta idea parte de las acumulaciones de hidrocarburos (gases y fluidos) que han permanecido atrapados en las formaciones geológicas profundas durante largos periodos geológicos, de forma que el CO₂ inyectado podría ser secuestrado durante el tiempo necesario para la estabilización de la atmósfera.

Según las características geológicas de las formaciones almacén se pueden distinguir los siguientes tipos: almacenamiento en acuíferos salinos, almacenamiento en yacimientos de gas y petróleo, y almacenamiento en capas de carbón. Existen otros tipos de almacenes que están en fase de investigación, tales como el almacenamiento en cavidades salinas por disolución o los hidratos de gas.

El almacenamiento geológico de CO₂ es actualmente la opción más estudiada y óptima de las dos viables: almacenamiento por carbonatación mineral y almacenamiento geológico.

El CO₂ puede almacenarse como gas, como líquido o en estado supercrítico según las condiciones de temperatura y presión a las que se encuentre en el almacenamiento, aunque para optimizar la capacidad de almacenamiento es conveniente que se encuentre en estado supercrítico (Bachu, 2003).

El CO₂ en condiciones atmosféricas es un gas termodinámicamente estable y más denso que el aire (densidad 1,97 kg/m³). El CO₂ se encuentra en estado supercrítico cuando está por encima de la temperatura y presión del punto crítico (31,1 °C y 7,28 MPa), donde la densidad varía aproximadamente entre 200 y 900 kg/m³ (Figura 1). De manera simplificada y asumiendo un gradiente geotérmico normal (entre 25 y 30 °C por cada kilómetro de profundidad), se estima que estas condiciones se alcanzan a profundidades, aproximadamente, de 800 m (Figura 2).

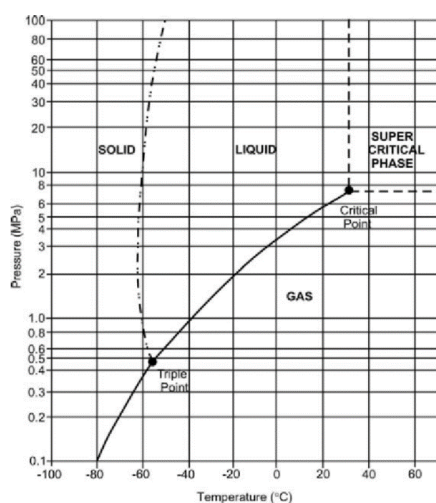


Figura 1. Diagrama de fases del CO₂ (Bachu, 2000)

El CO₂ en estado supercrítico tiene propiedades intermedias entre gas y líquido. En particular:

- Su densidad por encima del punto crítico es más cercana a los líquidos que a los gases, por lo que la misma masa ocupa menos volumen.
- Su viscosidad es mucho más baja que la de los líquidos por lo que tiene mejores propiedades dinámicas que éstos.
- Tiene muy baja tensión superficial lo que facilita su penetrabilidad a través de formaciones porosas.
- Alta difusibilidad que facilita su transporte a través de la roca.
- Mayor compresibilidad que los líquidos.

La inyección del CO₂ en formaciones geológicas profundas se realiza mediante pozos. Una vez iniciada la inyección, el flujo de CO₂ en el almacén durante y después de la inyección depende de la combinación de las fuerzas gravitatorias y viscosas.

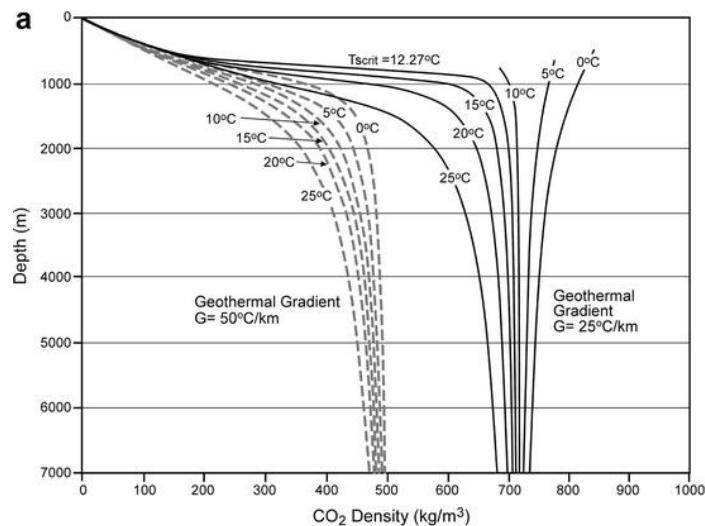


Figura 2. Variación de la densidad del CO₂ con la temperatura en cuencas sedimentarias, asumiendo condiciones de presión hidrostática y distintas temperaturas superficiales y gradientes geotérmicos representativos de cuencas “frías” y “cálidas” (Bachu, 2003)

La efectividad del almacenamiento geológico depende del tipo o tipos de mecanismos de atrapamiento del CO₂ en la formación almacén, que pueden ser tanto físicos como químicos (IPCC, 2005; Bachu, 2008; Zhang y Song, 2014).

DISCUSIÓN

Contexto internacional

El Acuerdo de París, alcanzado en la reunión de la Conferencia de las Partes (COP21) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, 2015), supuso el mayor pacto medioambiental global alcanzado hasta la fecha. El objetivo de este Acuerdo es tratar de evitar que el incremento de la temperatura media global de la Tierra supere los 2 °C (escenario 2DS) con respecto a los niveles preindustriales y promover esfuerzos adicionales que hagan posible que el calentamiento global no supere los 1,5 °C (escenario B2DS).

Siguiendo los compromisos del Acuerdo de París, cada país debe fijar sus Contribuciones Nacionales (INDC) a la reducción de emisiones, las cuales podrán ser revisadas cada 5 años. Sin embargo, la UE ha sido más ambiciosa y se ha comprometido a alcanzar la neutralidad climática en 2050, por lo que ha establecido un objetivo vinculante de reducción de emisiones netas GEI en, al menos, un 55% en 2030 con respecto a los niveles de 1990.

Con el fin de que se tomen las medidas necesarias para lograr el objetivo a 2030, la Ley del Clima “introduce un límite de 225 Mt de CO₂ equivalente a la contribución de las absorciones a dicho objetivo. También establece que el próximo objetivo de reducción de emisiones de la UE será para el año 2040²”.

Esta reducción de emisiones no puede alcanzarse mediante una única tecnología, siendo necesaria la utilización y mejor integración de varias de ellas, entre las que se incluye el uso de la energía nuclear, las energías de origen renovable, el cambio a combustibles con menor intensidad de carbono, el aumento de la eficacia en los puntos de producción y en el de uso final, etc., (IEA, 2012a). Sin embargo, incluso así no se alcanzarían los niveles de reducción necesarios para cumplir los objetivos, por lo que diversas organizaciones internacionales del clima y de la energía destacan la importancia de desarrollar las tecnologías CAUC como medio de transición hacia un nuevo modelo energético descarbonizado.

En mayo de 2021, la Agencia Internacional de la Energía publicó la hoja de ruta “Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector”³, donde se recoge un apartado específico para las tecnologías CAUC, incidiendo en que pueden facilitar la transición para lograr las cero emisiones netas de CO₂ de tres maneras posibles: 1) incidiendo sobre las emisiones de activos existentes; 2) proporcionando una manera de abordar las emisiones de algunos de los sectores con mayores desafíos; y 3) proporcionando una vía rentable para aumentar la producción de hidrógeno con bajas emisiones de carbono y permitir la eliminación de CO₂ de la atmósfera a través de la bioenergía con captura y almacenamiento de CO₂ (BECCS) y la captura directa del aire con almacenamiento de CO₂ (DACCS).

² <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/la-union-europea/>

³ https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf

La “Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector” de la Agencia Internacional de la Energía establece que para 2030 se podrían estar capturando 1,6 Gt de CO₂ por año a nivel mundial, aumentando a 7,6 Gt de CO₂ en 2050. De estas emisiones capturadas, alrededor del 95% se almacenará de forma permanente y el 5% se utilizará para obtener combustibles sintéticos.

En relación con las tecnologías empleadas, esta hoja de ruta expone que un total de 2,4 Gt de CO₂ se capturarán en 2050 de la atmósfera mediante bioenergía con captura de CO₂ y captura directa del aire, de las cuales 1,9 Gt serán almacenadas permanentemente y 0,5 Gt de CO₂ se utilizarán para obtener combustibles sintéticos, en particular para la aviación.

En el caso de los procesos industriales, el uso de las tecnologías CAUC puede suponer la única posibilidad de reducción de emisiones a gran escala en algunos sectores (cementeras, producción de acero, refinerías, etc.) donde las “emisiones de proceso” suponen un gran reto. En este sentido, según la hoja de ruta de la Agencia Internacional de la Energía, las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía y los procesos en la industria representarán casi el 40 % del CO₂ capturado en 2050 y será particularmente importante para la fabricación de cemento.

Teniendo en cuenta que la captura es la primera etapa dentro del proceso CAUC, ésta debe realizarse principalmente en grandes focos de emisión de CO₂, Está demostrado que para que la aplicación de las tecnologías CAUC sea efectiva debe realizarse en emplazamientos que permitan el almacenamiento de millones de toneladas.

Estado del almacenamiento de CO₂ a nivel mundial

Durante los últimos años se ha producido un gran avance a nivel mundial en el desarrollo y aplicación de las tecnologías CAUC, especialmente en la presencia de plantas con elevada capacidad de captura de CO₂ y su posterior almacenamiento. El Global Carbon Capture and Storage Institute (GCCSI)⁴ lleva varios años realizando una monitorización de proyectos integrados a gran escala (LSIP, *Large Scale Integrated Project*), entendiéndose como tales aquellos de una escala representativa de procesos comerciales con capacidades de captura de varios cientos de miles de toneladas de CO₂ que se almacenan o se aprovechan (al menos 0,4 millones de toneladas por año (Mtpa) de CO₂ para procesos industriales y 0,8 Mtpa para centrales térmicas de carbón).

En 2021, la capacidad de almacenamiento geológico de CO₂ se incrementó un 32% con respecto al año anterior⁵. En 2022, se ha registrado la existencia de 194 instalaciones comerciales de tecnologías CAUC en diferentes etapas de desarrollo a nivel mundial, de las cuales 30 ya se encuentran en operación⁶. Estos proyectos provienen de una

⁴ Global Carbon Capture and Storage Institute (<https://www.globalccsinstitute.com>)

⁵ *Global Status of CCS 2021*, Global CCS Institute

⁶ <https://status22.globalccsinstitute.com/>

amplia gama de sectores, incluyendo el cemento, el acero, el hidrógeno, la generación de energía y la captura directa del aire.

Por tanto, los datos recogidos en el último año vienen a confirmar que el sector de la energía sigue apostando por estas tecnologías y, además, constatan el aumento del interés de la industria por su aplicación, ya que se han revelado como capaces de aportar una solución a sus “emisiones de proceso”, donde las reacciones térmico-químicas imposibilitan su disminución ni con la aplicación de las Mejores Técnicas Disponibles (MTD).

Necesidad de Almacenamiento de CO₂ en Europa. El Almacenamiento de CO₂ en las políticas de la UE

Además de descarbonizar su sistema energético como se ha visto en los apartados anteriores, la UE también tendrá que reconsiderar su abastecimiento de CO₂ como materia prima para la producción industrial y será necesario la creación de un mercado interior de captura, utilización y almacenamiento de CO₂.

En este sentido, en diciembre de 2021, la Comisión Europea adoptó la Comunicación sobre “Ciclos de Carbono Sostenibles”⁷ donde se establece un plan de acción para desarrollar soluciones sostenibles y aumentar la absorción de CO₂. De esta forma, los dos objetivos principales fijados son los siguientes:

- Reciclar el carbono: hacer que el CO₂ pase de residuo a recurso y utilizarlo como materia prima para la producción de productos químicos, plásticos o combustibles. Al menos el 20% del CO₂ utilizado en los productos químicos y plásticos debe proceder de fuentes no fósiles sostenibles de aquí a 2030.
- Deberán eliminarse anualmente 5Mt de CO₂ de la atmósfera y almacenarse permanentemente, a través de proyectos pioneros de aquí a 2030.

El apoyo fundamental del Fondo de Innovación

Para lograr los dos objetivos anteriores, el impulso de proyectos de tecnologías CAUC es fundamental y, para ello, se necesita apoyo político, económico y social. El Fondo de Innovación es uno de los mayores programas mundiales de demostración de tecnologías hipocarbónicas innovadoras y, actualmente, ya está financiando el desarrollo de proyectos de tecnologías CAUC en Europa.

Dotado con un presupuesto de más de 38.000 M€ (financiado con los ingresos procedentes de la subasta de derechos del RCDE UE) sus objetivos están claros: a) industrias de gran consumo

⁷ https://climate.ec.europa.eu/system/files/2021-12/com_2021_800_en_0.pdf

de energía (captura y usos y transformación del CO₂, y productos alternativos bajos en carbono); b) tecnologías de captura y almacenamiento de CO₂, y c) almacenamiento de energía.

La European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA) ha puesto en marcha una página web⁸ donde se muestran los resultados de las convocatorias del Fondo con proyectos a gran escala (más de 7,5 M€) y a pequeña (menos de 7,5 M€). Entre los proyectos financiados se encuentran el Programa K6, G04ECOPLANET y el ANRAV-CCUS donde se emplean tecnologías CAUC. A esta página web se irán añadiendo los diferentes proyectos que obtengan financiación de los Fondos de Innovación en sus diferentes convocatorias.

Análisis de los principales proyectos de almacenamiento de CO₂ que cuentan con ayudas a la inversión de la UE y Estados Miembros

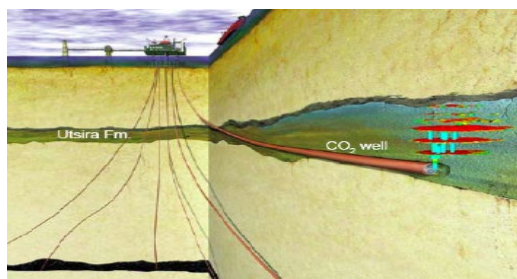
A continuación, repasaremos los principales proyectos que se están desarrollando en Europa y que cuentan con subvenciones a la inversión, otorgadas por la UE y/o sus Estados Miembros, así como otras ventajas como la reducción de impuestos nacionales o ayudas para la operación.

Proyecto “Sleipner field” en Noruega, Mar del Norte (1996)

Este proyecto puso en marcha la primera instalación *offshore* con 1 Mt al año. Lleva en operación desde 1996 y su emplazamiento se encuentra a 1.000 m de profundidad en la formación Utsira. Equinor*, Exxon, LOTOS y KUFPEC son sus cuatro propietarios principales. En febrero de 2020, los cuatro socios decidieron crear un *Open Access* para posibilitar la difusión de información, a través del “CO₂ DataShare project” (SINTEF, Equinor, Gassnova, IEAGHG, USDOE, U. Illinois).

Además, el modelo de referencia “Sleipner 2019” incluye una simulación dinámica y los datos 4D de Sleipner comprenden 14 años de inyección e incluye datos de línea de base previo a la inyección del CO₂.

Gracias a las tecnologías CAUC, Equinor está exento de abonar el impuesto nacional por emisiones de CO₂.



⁸ https://cinea.ec.europa.eu/programmes/innovation-fund/innovation-fund-project-portfolio-dashboard_en

Figura 3. Ilustración de la captura y el almacenamiento de CO₂ en Sleipner (Equinor⁹)

Proyecto “Snøhvit field” en Noruega, Mar de Barents (2008)

Los propietarios del proyecto Snøhvit son Equinor*, Petoro, Total, GDF Suez, Norks y Hess. Este proyecto lleva en operación desde 2008.

En este proyecto, el gas extraído se transporta a la terminal de gas terrestre Melkøya donde el CO₂ es separado (5-8%) y vuelve por una tubería (ceoducto) de 150 km a la formación de arenisca salina profunda en alta mar, denominada Tubaen, que se encuentra a 2.600 m de profundidad.

Para la puesta en marcha del proyecto, el Gobierno noruego impuso como condición la aplicación de tecnologías CAUC.

Un incentivo añadido para implementar el almacenamiento de CO₂ vino dado por el impuesto nacional existente para las operaciones petrolíferas realizadas *offshore*: unos 50 \$/t.

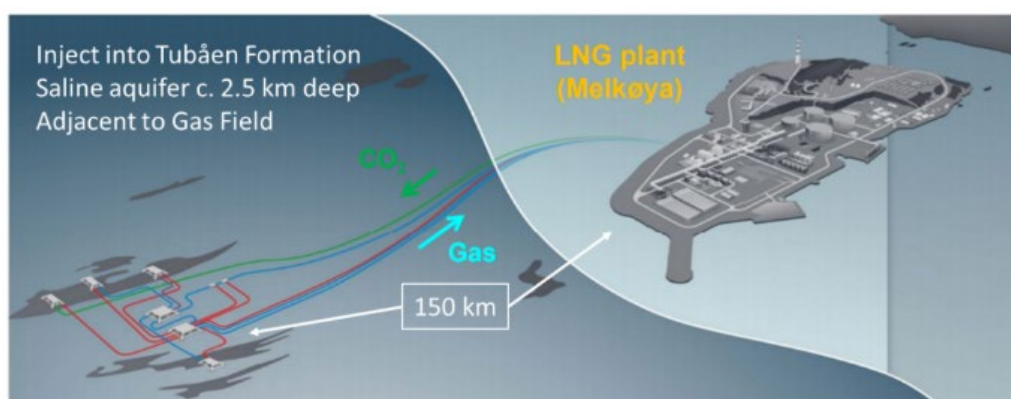


Figura 4. Ilustración de la captura y el almacenamiento de CO₂ en Snøhvit field (Equinor¹⁰)

Proyecto “Northern Lights” en Noruega, Mar del Norte (2024)

En este proyecto, cuyo inicio de operación está previsto en 2024, la captura se realizará en una cementera y una planta de valorización energética que se encuentran próximas a Oslo (aproximadamente 0,4+0,4 Mt/año). Una vez purificado, el CO₂ se transporta en estado líquido de puerto a puerto (600 km), para, a continuación, recorrer más 110 km de ceoducto hasta el pozo de inyección. El almacenamiento es *offshore* y se encuentra a 2.600 m de profundidad. Existe un pozo exploratorio que se sitúa a 2.700 m de profundidad en la formación Johansen de arenisca y sello de esquisto.

⁹ <https://equinor.industriminne.no/en/ccs-on-sleipner-back-where-it-came-from/>

¹⁰ <https://www.equinor.com/energy/snøhvit>

ALMACENAMIENTO GEOLÓGICO DE CO₂: TECNOLOGÍA PARA LA DESCARBONIZACIÓN DE EUROPA

Los propietarios del proyecto son Equinor*, Shell & Total y ya han cerrado el primer contrato comercial con un productor holandés de fertilizantes que comenzará en 2025 con 1,6 Mt/año. Además, ya está planteada una segunda fase en la que se inyecten 6 Mt/año.

El proyecto “Northern Lights” forma parte de la iniciativa impulsada por el gobierno noruego “Longship/Langskip” y su inversión estimada es de 15 BNOK (aprox. 1.500 MM€), para 25 años de operación, donde el 80% será sufragado por el gobierno.

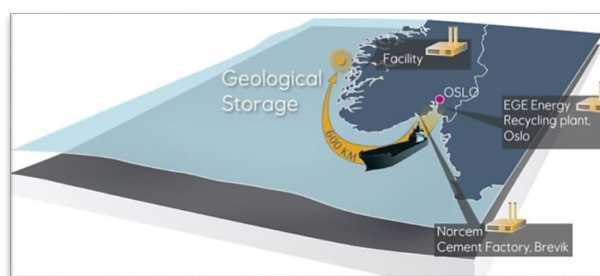


Figura 5. Ilustración del proyecto Northern Lights (Equinor¹¹)

Proyecto “Porthos” en Holanda, Mar del Norte (2021)

La zona portuaria de Rotherham es el emplazamiento principal de este proyecto. El CO₂ de las industrias de la zona se transporta por tubería a 20 km a la plataforma marina reutilizada para el almacenamiento en campos de gas agotados de 3.000 m de profundidad. Estas emisiones suponen el 16% del cómputo total de los Países Bajos.

En este caso, los propietarios son un consorcio formado por la autoridad del Puerto de Rotterdam, Energie Beheer Nederland B.V. (EBN) y N.V. Nederlandse Gasunie. La fase de inicio de desarrollo del proyecto ya ha comenzado y se espera estar inyectando CO₂ en 2024 o 2025 con una capacidad total de 37 Mt, a lo largo de 15 años.

En junio de 2021, el gobierno holandés confirmó la asignación de 2.100 M€ en subvenciones a los cuatro clientes de Porthos (Air Liquide, Air Products, ExxonMobil y Shell), dentro de su programa “Stimulation of sustainable energy production and climate transition (SDE++)”.

¹¹ <https://maritime-executive.com/article/equinor-wins-permit-for-subsea-carbon-storage-project>

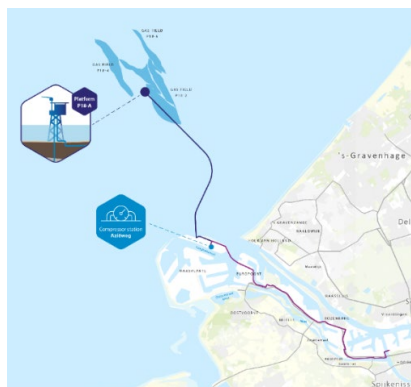


Figura 6. Esquema del emplazamiento del proyecto Porthos (Porthos¹²)

Proyecto “Aramis” en Holanda, Mar del Norte (2026)

“Aramis” es un Proyecto de Interés Común (PIC) de la UE cuyos propietarios son Shell, TTE, EBN y Gasunie. Los PIC son proyectos transfronterizos clave de infraestructuras energéticas para construir un mercado interior de la energía de la UE más integrado y resiliente y alcanzar los objetivos en materia de energía y clima (Comisión Europea, 2021¹³).

En este Proyecto, el CO₂ se transporta a través de barcos o tuberías terrestres (ceoductos) al centro de recolección en Maasvlakte en el puerto de Rotterdam. El centro, que comprende una estación compresora y una terminal de envío, proporciona almacenamiento temporal para el CO₂ líquido. La parte final del proceso implica el transporte del CO₂ para ser inyectado en los campos de gas agotados en alta mar a 3-4 km por debajo del lecho marino.

La característica principal es que el transporte y almacenamiento son de acceso abierto mediante contratos comerciales, con el objetivo de reducir las emisiones de CO₂ en aproximadamente 22 Mt/año.

¹² <https://www.porthosco2.nl/en/project/>

¹³ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/IP_21_6094

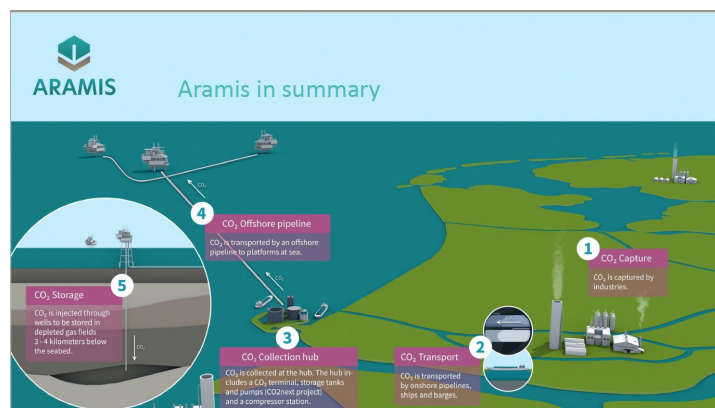


Figura 7. Resumen de las instalaciones del proyecto Aramis (Aramis¹⁴)

Proyecto “Net Zero Teesside” en Reino Unido, Mar del Norte (2024)

Un clúster de productores de CO₂ (productores de fertilizantes, proveedores de gas, productores de PET, etc.), autoridades nacionales y regionales, y la industria del O&G son los principales propietarios de este proyecto.

La capacidad total se estima en 6 Mt por año y cuenta con una capacidad total potencial estimada de 1.000 Mt. Con esto, Teesside aspira a ser el primer grupo industrial descarbonizado del Reino Unido.

En octubre de 2021, el clúster Northern Endurance Partnership, que incluye Net Zero Teesside, fue seleccionado como un clúster prioritario en fase 1 por el gobierno del Reino Unido. Ahora, aspira a ser seleccionado en la fase 2.

Por todo lo anterior, este proyecto ha recibido más de 59 M€ en ayudas del “Industrial Strategy Challenge Fund (ISCF)” impulsado por el gobierno británico.

¹⁴ <https://www.aramis-ccs.com/>

ALMACENAMIENTO GEOLÓGICO DE CO₂: TECNOLOGÍA PARA LA DESCARBONIZACIÓN DE EUROPA

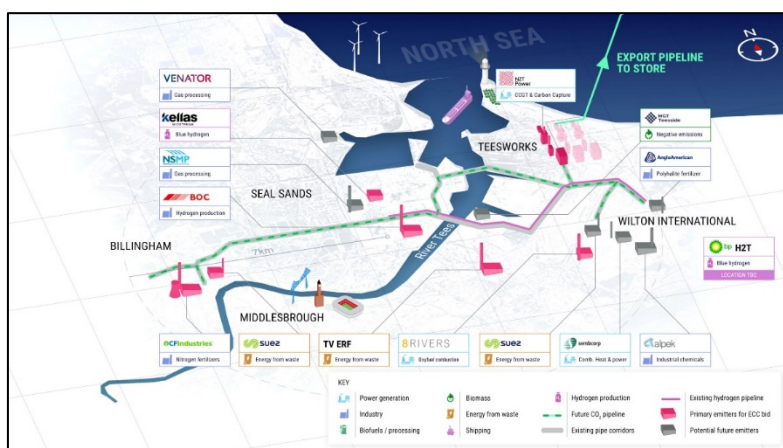


Figura 8. Plano esquemático del East CO₂Ast Cluster (Net Zero Teesside ¹⁵)

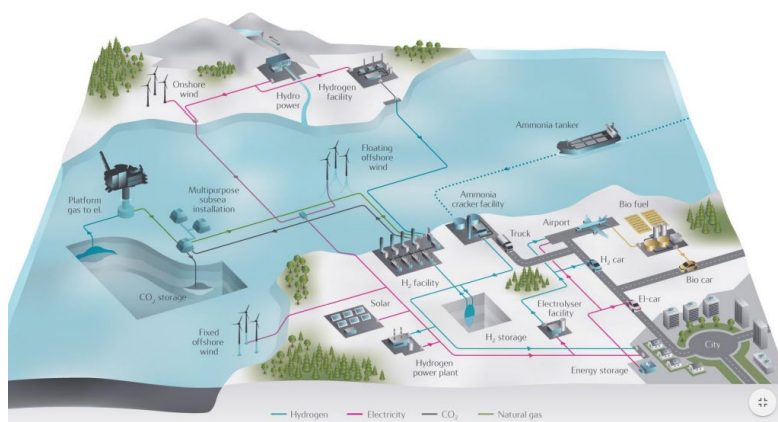
Proyecto “H21 Leeds City” en Reino Unido y Noruega (2028)

Northern Gas Networks, Cadent y Equinor son las tres empresas impulsoras del Proyecto “H21 Leeds City” que tiene como objetivo la conversión a una red 100% de hidrógeno donde este gas se produce a partir de amoníaco con almacenamiento geológico de CO₂ y tiene lugar en Reino Unido y Noruega.

Con una capacidad total de 12,5 Mt por año, su fecha de puesta en marcha final es 2028.

Este proyecto se ha desarrollado como parte del plan del Gobierno británico para alcanzar el objetivo de cero emisiones netas.

Desde 2016, este Proyecto ha recibido ayudas de dos programas gubernamentales, obteniendo más de 2 M€ de financiación a fondo perdido.



¹⁵ <https://www.netzeroteesside.co.uk/project/>

Figura 9. Diseño del proyecto H21 Leeds City entre Reino Unido y Noruega (H21 Leeds City¹⁶)

Proyecto “Greensand” en Dinamarca, Mar del Norte (2025)

Los propietarios del proyecto son el Consorcio INEOS, Maersk Drilling, Geus y Wintershall. Este consorcio está formado por 23 socios daneses e internacionales que aportan su experiencia en transporte, almacenamiento y monitorización de CO₂ en el subsuelo. Los miembros de INEOS incluyen todo, desde empresas danesas e internacionales, institutos de investigación, universidades y empresas emergentes.

El almacenamiento, que estará operativo en 2025, se va a desarrollar en antiguos campos depletados: Nini y, en el futuro, Siri. La capacidad total de inyección se estima en 0,5-1,5 en 2025 y entre 4-8 a partir de 2030.

El Gobierno danés ha aportado 26,5 M€ para operaciones en la segunda fase de estudio.

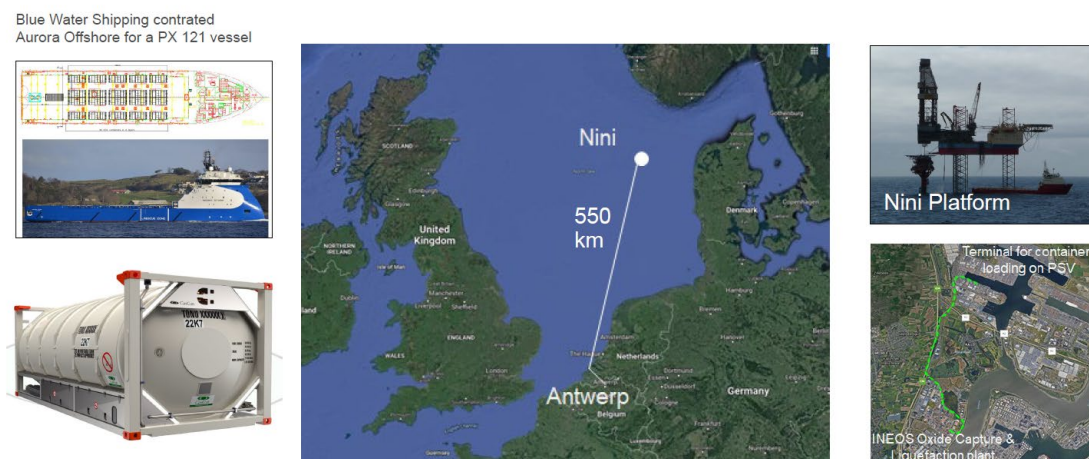


Figura 20. Composición de diferentes imágenes relativas al proyecto Greensand (Greensand¹⁷)

Proyecto “Bifrost” en Dinamarca, Mar del Norte (2022-?)

Sin fecha de finalización todavía anunciada, la oportunidad del Proyecto “Bifrost” reside en reutilizar los oleoductos y activos existentes de O&G en alta mar (reutilización de plataformas) para el transporte y el almacenamiento de CO₂. Se trata de un concepto *offshore* con inyección continua desde una FPO flotante de CO₂buffer y una instalación de acondicionamiento.

El objetivo fundamental es explorar nuevas tecnologías de monitoreo, para lo que se encuentra en estudio el campo depletado “Harald” como posible almacén.

¹⁶ <https://h21.green/projects/h21-leeds-city-gate/>

¹⁷ <https://www.projectgreensand.com/en>

ALMACENAMIENTO GEOLÓGICO DE CO₂: TECNOLOGÍA PARA LA DESCARBONIZACIÓN DE EUROPA

El proyecto ha recibido más de 11 M€ del gobierno danés, a través de su programa 'Energy Technology Development and Demonstration Programme' (EUDP).

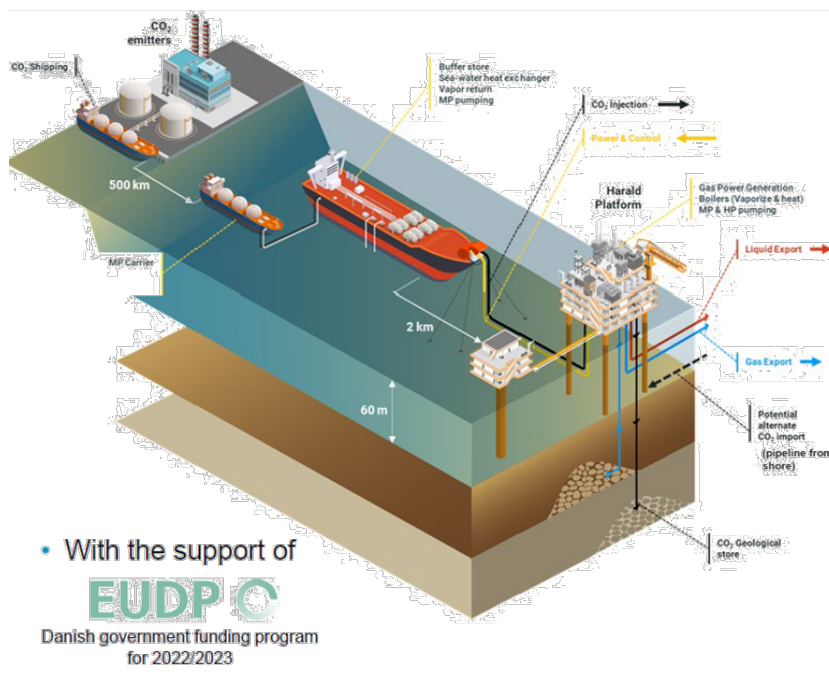


Figura 31. Logística y requisitos para el almacenamiento de CO₂ en Bifrost (CCS Alliance¹⁸)

Proyecto "Ravenna" en Italia, Mar del Adriático (2027)

ENI, propietario del Proyecto "Ravenna", realizará la creación del *hub* para el almacenamiento de CO₂.

El objetivo principal es la creación de un clúster industrial (combinando con hidrógeno azul) y un *hub* de almacenamiento de CO₂, mediante el aprovechamiento de la infraestructura de O&G existente.

Inicialmente, la capacidad será de 4 Mt/año de CO₂ capturado, de los cuales 1 M provendrá de las actividades de Eni y el resto de terceros. Con esto último, se realizará una revitalización industrial y económica de algunas áreas en descenso de actividad.

¹⁸ <https://www.ccsalliancen.dk/s/8-Bifrost-project-Urs-Mohn-Noreco.pdf>



Figura 42. Plano con la localización del proyecto Ravenna en Italia (ENI¹⁹)

CONCLUSIONES

Empleando únicamente las soluciones actualmente planteadas, para evitar que el incremento de la temperatura media global de la Tierra supere los 2 °C, será muy difícil lograr los ambiciosos objetivos incluidos en el Acuerdo de París (escenario 2DS) con respecto a los niveles preindustriales y mucho más que se haga posible que el calentamiento global no supere los 1,5 °C (escenario B2DS)²⁰.

Por ello, las tecnologías CAUC se consideran como indispensables para la transición hacia un nuevo modelo energético descarbonizado que, focalizado en los últimos años principalmente en la industria (siderurgia, cementeras, refinerías, etc.), logre aportar una solución real a las llamadas emisiones de proceso sobre las que, ni empleando las Mejores Técnicas Disponibles (MTD), se logra actualmente una reducción significativa.

Asimismo, la utilización de recursos energéticos de carácter renovable (biogás, biomasa, residuos orgánicos, etc.), junto con la captura y almacenamiento del CO₂ producido (BECCS), se plantea como la única opción posible capaz de obtener energía y emisiones negativas de CO₂ al mismo tiempo, que, como ya se ha dicho, permitirá alcanzar los objetivos planteados en el deseado escenario B2DS.

¹⁹ <https://www.eni.com/>

²⁰ https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2022/06/SR15_Full_Report_LR.pdf

Por tanto, la investigación y desarrollo de proyectos de tecnologías de captura, transporte, almacenamiento y usos y transformación del CO₂, que permitan abaratar su coste, van a ser cruciales en los próximos años para alcanzar los objetivos y compromisos trazados.

Todos los proyectos analizados en esta comunicación tienen como objetivo su puesta en marcha antes de 2030 y no con un horizonte más extenso, hasta 2050, como hace unos años se planteaba. La implementación de las tecnologías CAUC se ha acelerado, incidiendo en el almacenamiento geológico de CO₂ como opción segura y definitiva. El apoyo de la UE y los estados miembros, tanto en sus políticas como gracias a sus ayudas, está siendo fundamental para que estos proyectos puedan llevarse a cabo y estén listos a tiempo.

BIBLIOGRAFIA

- Bachu, S. (2000). *Sequestration of CO₂ in geological media: criteria and approach for site selection in response to climate change*. *Energy Conversion & Management*, 41, 953-970.
- Bachu, S. and M.B. Dusseault. (2003): *Underground injection of carbon dioxide in salt beds*. *Proceedings of the Second International Symposium on Deep Well Injection*, C-F. Tsang and J. Apps (eds.), 22–24, Berkeley, CA.
- Bachu, S. (2008). *CO₂ storage in geological media: Role, means, status and barriers to deployment*. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, 254-273.
- European Academies – Science Advisory Council. EASAC (2018). *Negative emission technologies: What role in meeting Paris Agreement targets*.
- Global Carbon Capture and Storage Institute, GCCSI (2011). *The costs of CCS and other low-carbon technologies*.
- International Energy Agency, IEA (2012a). *Energy Technology Perspectives*.
- International Energy Agency, IEA (2013). *CCS Technology Roadmap*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2005). *IPCC Special report on carbon dioxide capture and storage*. Prepared by Working Group III of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2018). *Global Warming of 1.5 °C*.
- Plataforma Tecnológica Española del CO₂, PTECO2 (2018). *El almacenamiento de CO₂: mitigación del cambio climático*. Disponible en www.pteco2.es
- Plataforma Tecnológica Española del CO₂, PTECO2 (2019). *Captura de CO₂: tecnologías para cumplir el Acuerdo de París*. Disponible en www.pteco2.es

United Nations Framework Convention for Climate Change, UNFCCC (2015). *Paris Agreement*.

Zhang D. y Song J. (2014): *Mechanisms for geological carbon sequestration*. *23rd International Congress of Theoretical and Applied Mechanics*. Procedia IUTAM, 10, 319-327.