FAEN
Fundación Asturiana de la Energía

CO_2: CAPTURA, ALMACENAMIENTO, USOS Y OTRAS TECNOLOGÍAS ASOCIADAS

TIME: Tendencias Inversoras y Modelo Energético

Patronato y empresas colaboradoras
de la Fundación Asturiana de la Energía

PATRONOS

Principado de Asturias
Ayto. de Mieres
edp
danielalonso GRUPO
REPSOL
Universidad de Oviedo
electra norte
acciona
nortegas
TotalEnergies

EMPRESAS COLABORADORAS

IBERDROLA
grupohunosa
CANTABER GENERACIÓN EÓLICA, S.L.
PRODUCCIONES ENERGÉTICAS ASTURIANAS, S.L.

CONTENIDO

1. ENTORNO GENERAL. 2
2. PRINCIPALES IMPACTOS DE LAS TECNOLOGÍAS DE CAUC..... 3
2.1 SEGURIDAD. 3
2.2 PROTECCIÓN AMBIENTAL. 4
2.3 COMPETITIVIDAD. 5
3. TECNOLOGÍAS DE CAPTURA INDUSTRIAL DEL CO2 6
4. SISTEMAS PARA EL TRANSPORTE DE CO2..... 8
5. EL IMPACTO ENERGÉTICO DE LA CAPTURA DE CO2 EN ASTURIAS. 10
5.1 NECESIDADES ENERGÉTICAS PARA LA DESCABORNIZACIÓN. 10
5.2 DESARROLLO REGULATORIO PARA LA CAPTURA Y ALMACENAMIENTO. 11
6. EL USO DEL CO2. 12

1. ENTORNO GENERAL.

Para completar el proceso de descarbonización de la economía será necesario implantar soluciones de captura de CO2 en muchos procesos industriales, especialmente en aquellos en los que las emisiones de este gas de efecto invernadero son inevitables con la tecnología actual.

Tras los procesos de captura, almacenamiento, uso o transporte del CO2 (tecnologías CAUC) hay una necesidad de inversión industrial y desarrollo tecnológico. Como consecuencia se produce un impacto sobre la competitividad que afecta a todo el ciclo productivo, con incidencias muy diferentes en las economías de cada territorio y de cada sector. Asimismo, si un país decide no aplicar esta norma de control y otro sí, introduce una diferencia de costes productivos que afecta muy directamente a la rentabilidad de cada empresa, lo que pone en discusión el momento y la velocidad con que hacer este tipo de inversiones.

La situación geopolítica explica una gran parte de las condiciones, obligaciones, oportunidades y amenazas que toda la industria (la que produce emisiones y la que produce bienes para la descarbonización) afronta. La Unión Europea (UE) afronta una ambiciosa estrategia de captura y almacenamiento de CO2 como objetivo de liderar la descarbonización. En un entorno global en el que otras potencias económicas adoptan estrategias diferentes para avanzar hacia ese mismo objetivo (USA se apoya en el gas natural; China se apoya en el carbón; la UE sigue presentando una fuerte dependencia del petróleo), los efectos sobre la competitividad, el empleo, la población y la política son impredecibles y se producirán con total certeza.

Es claro que, hoy en día, el almacenamiento de CO2 será la gran solución al problema de la descarbonización para cumplir con objetivos de reducción de emisiones y calendarios estimados. Esto se traduce en: depósitos de CO2 en el subsuelo, grandes tanques de almacenamiento intermedio y extensas redes de tuberías para conectar los centros de generación de gases con los emplazamientos almacén. En paralelo es necesario hacer esfuerzos en desarrollar tecnologías en diferentes ámbitos que permitan: producir con

menor emisión de gases de efecto invernadero o sin ellas, reducir los costes de todo el ciclo de captura-almacenamiento de CO2 y crear soluciones de uso de CO2. Será un esfuerzo inversor en el que cada país, cada sector y cada empresa deberán tomar decisiones sobre cómo desarrollar y gestionar riesgos e incertidumbres, que llevarán a desarrollar proyectos en colaboración y de forma totalmente diferente a como se venía haciendo.

2. PRINCIPALES IMPACTOS DE LAS TECNOLOGÍAS DE CAUC.

Vamos a abordar de forma simplificada algunos de los aspectos más relevantes de las tecnologías de captura, almacenamiento, transporte y uso del CO2 y los efectos que pueden tener en Asturias. Entre ellas están la seguridad del almacenamiento, la protección ambiental que se consigue con este almacén y el impacto económico de estas soluciones sobre la actividad económica.

SEGURIDAD.

Quizá una de las primeras preguntas que nos hiciésemos si se anunciase un almacenamiento de CO2 en nuestra región sería: ¿Es seguro un proyecto de almacenamiento?. Sí. El desarrollo de un proyecto de este tipo exige un amplio conocimiento del terreno, lo que se consigue con sondeos, mapeados y un profundo estudio de la geología de la zona. El CO2 se almacenaría generalmente en rocas porosas a gran profundidad, aunque es cierto que la existencia de este tipo de almacenes en Asturias parece poco viable por las fragmentaciones de las estructuras geológicas existentes.

¿Pueden producirse terremotos como consecuencia de la inyección de gas en estructuras geológicas profundas?. El CO2 suele sustituir a otros fluidos que existían previamente, con lo que el efecto es neutro. También puede almacenarse en estructuras impermeables en las que la presión del gas es tal que no afecta a su integridad. En definitiva, aunque la probabilidad de sufrir un terremoto no es cero, el riesgo no se incrementa significativamente sobre el que tendríamos con el desarrollo de cualquier otra actividad industrial. No obstante, no debemos confundir terremotos

con pequeños microseísmos que pueden producirse como consecuencia del asentamiento del terreno. En cualquier caso, se trata de operaciones muy controladas cuyo riesgo se analiza y minimiza por los altos costes de inversión que tienen asociados.

Otra cuestión que puede surgir es si el CO2 es venenoso. La respuesta es no. El CO2 puede llegar a producirnos asfixia si se introduce una gran cantidad de gas en un local cerrado. Pero al aire libre, para producirnos daño, debería haber una emisión masiva, como la que se produce en algunos fenómenos volcánicos. Y esto sería por un tiempo muy limitado, ya que el gas se dispersaría en la atmósfera.

PROTECCIÓN AMBIENTAL.

Los principales elementos de análisis de impacto ambiental que se analizan en el desarrollo de un almacén geológico de CO2 son:

- Para la caracterización geológica del sitio: Estructura y propiedades de las formaciones rocosas (almacén y sello); porosidad y permeabilidad de las rocas; presencia de fallas y fracturas.
- Hidrogeología: Flujo de aguas subterráneas; salinidad y composición química de los acuíferos.
- Geoquímica: Interacciones entre el CO2 inyectado, las rocas y los fluidos existentes; tasas de disolución y mineralización del CO2.
- Geomecánica: Estabilidad de las formaciones rocosas; riesgo de sismicidad inducida.
- Capacidad de almacenamiento: Cálculos volumétricos del espacio poroso disponible; estimaciones de la cantidad de CO2 que se puede almacenar de forma segura.
- Comportamiento del CO2 inyectado: Modelización de la pluma de CO2 (para evaluar si se produce algún escape de gas); presión y temperatura en el almacén.
- Integridad del almacenamiento: Evaluación de posibles vías de fuga (naturales o artificiales); estado de pozos utilizados.

- Impacto en recursos del subsuelo: Posibles conflictos con la explotación de hidrocarburos, minería u otros usos del subsuelo.
- Riesgos de fuga: Evaluación de escenarios de fuga y sus consecuencias; impacto potencial en acuíferos superficiales y ecosistemas.
- Monitorización: Diseño de sistemas de monitorización para detectar fugas o cambios en el almacén.
- Impacto en la superficie: Evaluación de las instalaciones de inyección y su impacto en el entorno.

Para corregir un efecto global, como es el calentamiento global del planeta, que trae como consecuencia efectos locales muy adversos, se realizan proyectos con un control ambiental riguroso que, aun teniendo impactos, siempre son menores que dichos efectos.

COMPETITIVIDAD.

La captura y almacenamiento de CO2 (CCS) se perfilaba como una de las tecnologías con mayor potencial de desarrollo para 2024, estando muy cerca de su implementación comercial. Sin embargo, su aplicación a gran escala en ámbitos industriales intensivos en emisiones de CO2 aún presenta desafíos técnicos y económicos importantes. Algunos de estos desafíos están relacionados con:

- Costes y requerimientos energéticos: una acería como la que se ubica en Asturias demandaría entre 20 y 70 MW de potencia eléctrica para mantener en operación continuada la captura; el transporte por tubería podría requeriría una potencia eléctrica adicional de 80 MW; para cubrir esa demanda con generación renovable, se necesitarían más de 300 MW de potencia de generación, con al menos una capacidad de almacenamiento energético que ronde los 500 MWh.
- Capacidad actual y costes: La capacidad global de captura de CO2 ha alcanzado 50,5 millones de toneladas por año (Mtpa), con 6,6 Mtpa adicionales en construcción; el coste promedio de captura,

transporte y almacenamiento en proyectos europeos es de 190 € por tonelada de CO2, cifra que es mayor que el doble del precio previsto en el mercado de CO2.

- La disponibilidad de fondos públicos para cubrir sobrecostes y la posible interferencia en otros mercados son preocupaciones importantes; la competencia con productores en países sin estas restricciones limita el precio al coste de la tonelada de CO2; la planificación a largo plazo es crucial para definir el modelo de captura y almacenamiento que las empresas deben implementar.
- Se están desarrollando proyectos de almacenamiento geológico en varios países, aprovechando campos de petróleo y gas agotados; la disponibilidad de espacio de almacenamiento adecuado podría convertirse en un cuello de botella; el desarrollo de infraestructura de transporte de CO2, especialmente transfronteriza, será crucial para el crecimiento del mercado de CCS.

A nivel de región, la captura y almacenamiento de CO2 posiciona las empresas de la región en:

- Cumplimiento de la normativa.
- Reducción de huella de carbono.
- Acceso a incentivos económicos (subvenciones, bonificaciones fiscales o financiación preferencial).
- Ventaja competitiva en mercados que imponen restricciones o impuestos relacionados con la emisión de gases de efecto invernadero, como la Unión Europea.
- Innovación tecnológica.
- Creación de nuevos modelos de negocio.
- Posicionamiento estratégico para mercados en los que las emisiones netas cero serán una exigencia.

3. TECNOLOGÍAS DE CAPTURA INDUSTRIAL DEL CO2

¿Por qué sólo hablamos en este documento de captura industrial del CO2?. Porque se centra en soluciones y aplicaciones industriales, aunque en

Asturias existen iniciativas de captura de CO_2 en el ámbito forestal y modelos de certificación que aseguran este proceso.

Las principales tecnologías de captura de CO_2 se pueden clasificar en tres grupos:

- Captura post-combustión:
  - Son las soluciones más empleadas actualmente.
  - Se aplican después de la combustión para separar el CO_2 de los gases de escape dentro de una corriente de gases que puede ser una mezcla compleja.
  - Utiliza principalmente absorción con aminas o amoniaco enfriado.
  - Puede capturar hasta el 90% del CO_2 presente en la corriente de gases, alcanzando purezas de concentración de CO_2 de hasta el 99%.
- Captura pre-combustión:
  - Se aplica antes de la combustión, pudiendo convertir el combustible en gas de síntesis para su uso como combustible en el proceso industrial.
  - Las tecnologías que se usan para la conversión en gas de síntesis el combustible original incluyen reformado con vapor, la oxidación parcial y la gasificación.
  - El CO_2 se separa del hidrógeno antes de la combustión.
- Captura por oxi-combustión:
  - Implica la combustión del combustible en oxígeno puro en lugar de aire.
  - Produce gases de escape con alta concentración de CO_2, facilitando su captura y posterior procesamiento.

Todas las soluciones son relevantes para una región para Asturias:

- El Instituto Nacional del Carbono ha desarrollado sistemas de captura en la Central Térmica de La Pereda.
- La oxi-combustión puede jugar un papel relevante si se captura el O_2 procedente de la hidrólisis del agua en la producción de H_2 regional.

- Empresas del sector siderúrgico o el químico están analizando la posibilidad de desarrollar sistemas industriales de captura de CO2.

4. SISTEMAS PARA EL TRANSPORTE DE CO2.

Aunque la captura sea proceso clave, el transporte representa también un consumo energético elevado. De un escenario promedio de costes energéticos pueden obtenerse los siguientes valores por tonelada de CO2 capturada:

Fase	Consumo energético estimado (MWh)	Coste estimado (€)
Captura	0,04 - 0,12	20 - 115
Transporte	0,14	1 - 8
Almacenamiento	No especificado	0,5 - 8
Total	0,18 - 0,26	21,5 - 131

Son valores tomados partiendo de situaciones favorables en entornos industriales controlados, que pueden variar de forma significativa dependiendo de la industria a que se aplique. Cuando se habla de entorno favorables, se hace mención a instalaciones productoras de CO2 en concentraciones elevadas, con capacidad de captación y en la proximidad de áreas de transporte que puedan facilitar la logística de transporte.

Como se puede observar, el transporte representa en estos casos, una parte del proceso con un coste energético y económico relevante a la hora de establecer la rentabilidad del proceso íntegro.

Para el transporte de CO2, se utilizan múltiples elementos industriales que aseguran un transporte eficaz y seguro:

- Tuberías de alta presión: Diseñadas específicamente para transportar CO2 (incluyendo la posibilidad de que se transporte en estado supercrítico). Fabricadas con materiales resistentes a la corrosión, como acero con revestimientos especiales.
- Estaciones de compresión: Mantienen la presión necesaria para el transporte eficiente del CO2. Equipadas con compresores de alta potencia y sistemas de enfriamiento.
- Sistemas de monitorización y control: Sensores de presión, temperatura y flujo a lo largo de la tubería. Sistemas SCADA (S*upervisory Control and Data Acquisition*) para monitorización en tiempo real.
- Válvulas de seguridad: Instaladas a intervalos regulares para controlar la presión y permitir el aislamiento de secciones de la tubería en caso de emergencia.
- Estaciones de bombeo: Mantienen el flujo constante del CO2 a lo largo de largas distancias.
- Sistemas de deshidratación: Eliminan la humedad del CO2 para prevenir la corrosión y la formación de hidratos.
- Sistemas de filtración: Eliminan impurezas que podrían dañar las tuberías o afectar la calidad del CO2.
- Tanques de almacenamiento intermedio: Permiten el almacenamiento temporal del CO2 en puntos estratégicos de la red de transporte.
- Sistemas de detección de fugas: Incluyen sensores de CO2 y sistemas de imágenes térmicas para detectar rápidamente cualquier fuga
- Equipos de protección catódica: Previenen la corrosión de las tuberías metálicas.

Una parte del transporte, relevante para la industria regional de fabricación de grandes equipos, está en los depósitos que se requieren a lo largo de toda la cadena logística, y que pueden clasificarse en función de distancias y requerimientos:

- Tanques de almacenamiento intermedio: Utilizados en puntos estratégicos de la red de transporte. Permiten el almacenamiento temporal del CO2 durante el proceso de transporte
- Tanques criogénicos: Diseñados para transportar CO2 en estado líquido a bajas temperaturas. Usados para el transporte por carretera o ferrocarril.
- Tanques presurizados: Mantienen el CO2 en estado líquido o supercrítico bajo alta presión. Utilizados en transporte por tubería y en algunos casos de transporte por carretera.
- Depósitos en buques: Tanques especializados en barcos diseñados para el transporte marítimo de CO2. Pueden ser criogénicos o presurizados.
- Depósitos de amortiguación: Instalados en puntos clave de la red de tuberías. Ayudan a regular el flujo y la presión del CO2 durante el transporte.

5. EL IMPACTO ENERGÉTICO DE LA CAPTURA DE CO2 EN ASTURIAS.

Para analizar el impacto de la captura de CO2 en el modelo energético regional, se hace un acercamiento doble:

- Al incremento de las necesidades energéticas para abatir las emisiones de CO2 en los procesos industriales de difícil descarbonización.
- Al efecto de los costes de captura sobre el desarrollo de modelos de descarbonización en la industria regional.

NECESIDADES ENERGÉTICAS PARA LA DESCABORNIZACIÓN.

La definición del impacto de la captura de CO2 en el modelo energético regional pasa por determinar las cantidades de gases de efecto invernadero producidos en la actividad industrial regional. De los resultados del Balance Energético del Principado de Asturias (BEPA) que elabora la Fundación

Asturiana de la Energía (FAEN) anualmente, se pueden obtener los siguientes datos relevantes:

- Los procesos industriales de difícil descarbonización emiten 3,4 millones de toneladas de CO2 anualmente.
- Las grandes instalaciones de combustión son responsables de la emisión de 7,5 millones de toneladas de CO2 anualmente.
- El transporte emite 1,9 millones de toneladas de CO2 anualmente (parte de ellas asociadas a la logística relacionada con la industria).

En su conjunto, la descarbonización necesita consumir energía para realizarse. Los procesos podrían requerir una capacidad de generación de electricidad de hasta unos 500 MW, dependiendo de la solución técnica por la que se opte. Esta es una necesidad que obliga al desarrollo de infraestructuras de generación, transporte y almacenamiento de energía, que deberá ser de origen renovable para completar la descarbonización de la actividad económica.

DESARROLLO REGULATORIO PARA LA CAPTURA Y ALMACENAMIENTO.

Desde el punto de vista de un análisis del sector, podemos establecer una serie de conclusiones

- Falta de desarrollo reglamentario en España: la normativa sobre gestión del carbono a través de la Ley 40/2010 requiere de un desarrollo reglamentario aún pendiente (por ejemplo, redes auxiliares de transporte y sistemas auxiliares).
- Incertidumbre sobre responsabilidades a largo plazo: La regulación actual no aborda adecuadamente la distribución de responsabilidades y riesgos asociados al almacenamiento de CO2 a largo plazo.
- Ausencia de estándares unificados: Falta de criterios técnicos y de seguridad armonizados para el diseño, operación y cierre de instalaciones de CAC, una situación que se extiende al mercado europeo.

- Falta de claridad en permisos y evaluaciones: Los procesos de obtención de permisos y realización de evaluaciones de impacto ambiental para proyectos de CAC no están suficientemente definidos en muchos países.
- Barreras regulatorias para usos específicos: Existen obstáculos normativos para el uso de combustibles derivados de CCU en sectores como el transporte, limitando las aplicaciones potenciales.
- Falta de regulación para el transporte transfronterizo: No existe un marco reglamentario claro para el transporte de CO2 entre países de la UE, lo que obstaculiza el desarrollo de una infraestructura adecuada.
- Ausencia de un marco estable para incentivar proyectos y que este marco sea acorde a las necesidades de cada uno, lo que implica por sí mismo que no puede ser homogéneo. No existe un sistema claro de incentivos económicos y fiscales para promover inversiones en tecnologías de CAC a nivel europeo.

6. EL USO DEL CO2.

Entre los usos del CO2, se pueden encontrar aplicaciones en muy diferentes industrias, como puede ejemplificarse a continuación:

- Industria alimentaria: Como gas para bebidas carbonatadas y agente congelante.
- Agricultura: En invernaderos para estimular el crecimiento de las plantas.
- Industria química: Como materia prima para la producción de urea y otros compuestos.
- Recuperación mejorada de petróleo: Inyectado en yacimientos para aumentar la extracción.
- Extinción de incendios: En extintores de CO2.
- Industria del plástico: Como agente espumante en la producción de espumas de poliuretano.
- Tratamiento de aguas: Para ajustar el pH en procesos de purificación.

- Soldadura: Como gas protector en ciertos procesos de soldadura.
- Limpieza industrial: En forma de hielo seco para limpieza criogénica.
- Producción de combustibles sintéticos: En procesos de conversión de CO_2 a combustibles.
- Electrónica: Para la refrigeración de componentes electrónicos

El alto nivel de pureza que exigen aplicaciones como la industria agroalimentaria hace necesario un procesado del gas de forma específica. Esto abre oportunidades al desarrollo de soluciones tecnológicas de bajo coste que faciliten este proceso.

La opción industrial del momento actual para tratar grandes volúmenes está la industria del petróleo, como elemento para la recuperación mejorada del mismo.