

Análisis del Potencial de Desarrollo de Tecnologías Energéticas

ANEXO

CAPTURA, TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO, USOS Y TRANSFORMACIÓN DEL CO₂

SUBSECTORES:

- I. Captura**
- II. Transporte**
- III. Almacenamiento,**
- IV. Usos y
Transformación**



Febrero 2019

CONTEXTO Y METODOLOGIA

Este segundo **Análisis del Potencial de Desarrollo de las Tecnologías Energéticas, APDTE 2018-19** (semejante al primero, desarrollado en 2014-15) coincide en el tiempo con el desarrollo del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (**PNIEC**) y con el de la Ley de Cambio Climático y Transición Energética (**LCCyTE**), a cuya evolución ha estado atento, y está, además, alineado con los objetivos generales de la Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación.

El impulso a la I+D+i energética en ambos (plan y ley) habrá de potenciarse de manera decidida si el país apuesta por maximizar el aprovechamiento de oportunidades de desarrollo socioeconómico que la ineludible transición energética ofrece.

La premisa en la que se basa la actividad de ALINNE (Alianza por la Investigación y la Innovación Energéticas) es que **la investigación y la innovación (I+i) estimulan la productividad y la competitividad del país**, son esenciales para mantener nuestro modelo socioeconómico y permiten afrontar los desafíos asociados a la energía (transición energética, generación, uso e impacto) sacando partido de nuestros recursos y fortalezas y creando oportunidades de desarrollo socioeconómico.

El APDTE 2018 ha seguido una **metodología**, semejante a la del primer APDTE 2015, basada en la colaboración entre las Plataformas Tecnológicas Españolas de ámbito Energético (PTEs), ALINNE y un Grupo de Evaluación (GEVAL, formado por unos 45 expertos) y se ha **desarrollado en varias fases**: 1) aportación de datos sobre 15 indicadores de evaluación propuestos; 2) presentación de la situación y perspectivas por parte de las PTEs; 3) valoración de la situación y tendencias por el GEVAL mediante votaciones, siguiendo un método de subjetividad compartida; 4) la redacción de un anexo (como el que aquí se presenta), a partir de toda la información recabada, para cada área tecnológica y 5) redacción de un Resumen Ejecutivo del APDTE 2018-19 con la síntesis de resultados del conjunto de las 13 áreas tecnológicas analizadas.

En este Anexo se recogen los resultados del Análisis del Potencial de Desarrollo de las tecnologías relativas a la Captura, Transporte, Almacenamiento y Usos y Transformación del CO₂ (CAUC).

Se ha contado para ello con la colaboración de la Plataforma Tecnológica Española del CO₂ (en adelante, PTECO2)

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	4
1.1. Perspectiva Global de las tecnologías CAUC.....	4
1.2. Perspectiva de las tecnologías CAUC en la Unión Europea	6
1.3. Las Tecnologías CAUC en España.....	7
1.4. Argumentos básicos para apoyar el despliegue de las tecnologías CAUC	8
1.5. Potencialidades frente a una Transición Energética de las tecnologías CAUC	10
1.6. Tipos de apoyo que reivindica el sector de las tecnologías CAUC	11
2. POSICIONAMIENTO Y PERSPECTIVAS SOCIOECONÓMICAS DE LAS TECNOLOGÍAS CAUC EN ESPAÑA	15
2.1. Creación de economía y empleo	15
2.1.1. Contribución al PIB.....	15
2.1.2. Creación de empleo.....	16
2.1.3. Costes de las tecnologías CAUC.....	17
2.1.4. Cuota del mercado español de la CAUC de las tres primeras empresas	18
2.1.5. Contabilidad de las externalidades de la CAUC.....	20
2.2. Capacidades en ciencia, tecnología e innovación	21
2.2.1. Capacidades e infraestructuras de I+D+i.....	21
2.2.2. Posicionamiento tecnológico	22
2.2.3. Financiación obtenida por la tecnología	24
3. RETOS DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO	25
3.1. Iniciativas Tecnológicas Prioritarias ITPs en tecnologías CAUC	28
3.1.1. ITPs EN CAPTURA DE CO2.....	29
3.1.2. ITPs EN ALMACENAMIENTO DE CO2	31
3.1.3. ITPs EN USOS Y TRANSFORMACIÓN DE CO2.....	34
4. RESUMEN DE LA EVALUACIÓN DE GEVAL	37
4.1. Conclusiones del GEVAL.....	39
5. REFERENCIAS Y CONTRIBUCIONES	41
5.1. Contribuciones y Expertos Participantes	41
5.2. Agradecimientos	41
5.3. Referencias Bibliográficas	42
5.4. Abreviaturas.....	42
5.5. Apéndices.....	42

1. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de captura, transporte, almacenamiento y usos y transformación del CO₂ (en adelante, tecnologías CAUC, CCUS en inglés) se ocupan de procesos para la mitigación de las emisiones a la atmósfera del dióxido de carbono generado cuando se queman combustibles fósiles, mediante su captura en la fuente, su traslado y confinamiento a largo plazo, y su uso o transformación.

Entre las tecnologías CAUC, la técnica, conocida como CCS por sus siglas en inglés (carbon capture and storage), consiste en capturar el dióxido de carbono del humo que sale de las chimeneas para luego comprimirlo y llevarlo a un estado cuasi líquido¹ que facilite su transporte a través de tuberías similares a las de gas natural. Así, en lugar de contaminar la atmósfera, el CO₂ acaba confinado bajo tierra, en yacimientos de entre 1.000 y 1.300 metros de profundidad, de modo permanente. Se considera que esta tecnología ya está validada².

El transporte y el almacenamiento del CO₂ son muy conocidos, y ahora se están desarrollando sus usos para combatir el cambio climático. El CO₂ se produce industrialmente para muchas aplicaciones: desde los años 70 del siglo pasado se usa como la forma más barata y sencilla de recuperar petróleo o gas residual de los pozos petrolíferos. El uso de subsuelos para bombear/almacenar fluidos se utiliza en muchos países de la OCDE y otros desde hace más de 40 años, tanto para almacenamientos estratégicos como para recuperación de fracciones residuales de gas y petróleo (EEUU y Noruega).

También se han desarrollado tecnologías que combinan la captura y usos de CO₂ con la producción de hidrógeno a partir de energías renovables para la producción de compuestos químicos (como óxidos de etileno, etc.).

1.1. Perspectiva Global de las tecnologías CAUC

Actualmente hay 98 proyectos de tecnologías CAUC en el mundo (38 más que en 2014) de los cuales 18 son de gran escala en operación y otros cinco son de gran escala en construcción.

¹ El CO₂, en estado supercrítico (a temperatura y presión superiores a 31°C y 73 atm., respectivamente) se comporta como un líquido con una densidad equivalente al 70-75% de la del agua, facilitando mucho su manejo.

² De hecho, las petroleras estadounidenses llevan años usándola para extraer hasta la última gota de petróleo posible de los pozos de Texas, ya que el dióxido de carbono en estado puro actúa como disolvente. El hidrocarburo se encuentra en el subsuelo atrapado en los poros de las rocas. Para vencer esta resistencia, las petroleras inyectan CO₂ en la roca, de modo que el gas empuje al hidrocarburo hacia arriba. Cuando la extracción finaliza, el carbono introducido se queda en la roca.

Las 18 instalaciones de gran escala del mundo están capturando unos 40 millones de toneladas por año (Mtpa) de CO₂, y se han inyectado a nivel global y de forma segura más de 230 Mt de CO₂ en el subsuelo hasta la fecha³.

De las instalaciones operando a gran escala nueve de ellas están en Estados Unidos, tres en Canadá, dos en Noruega y una en Brasil, Arabia Saudí y Emiratos Árabes Unidos.

Las cinco grandes plantas que están en construcción se encuentran en Canadá (2), Australia (1) y China (2). Las canadienses y australianas empezarán a funcionar este año y las chinas, entre 2019 y 2020.

Solo en China hay más de 20 instalaciones CAUC, con diferentes escalas, en desarrollo avanzado y una multitud de proyectos en planificación.

En Arabia Saudita y los EAU, la solicitud de CAUC desde la industria está siendo abrazado por una serie de instalaciones industriales, y en los Países Bajos, Noruega y el Reino Unido, los desarrollos "hub and cluster" de CAUC están progresando.

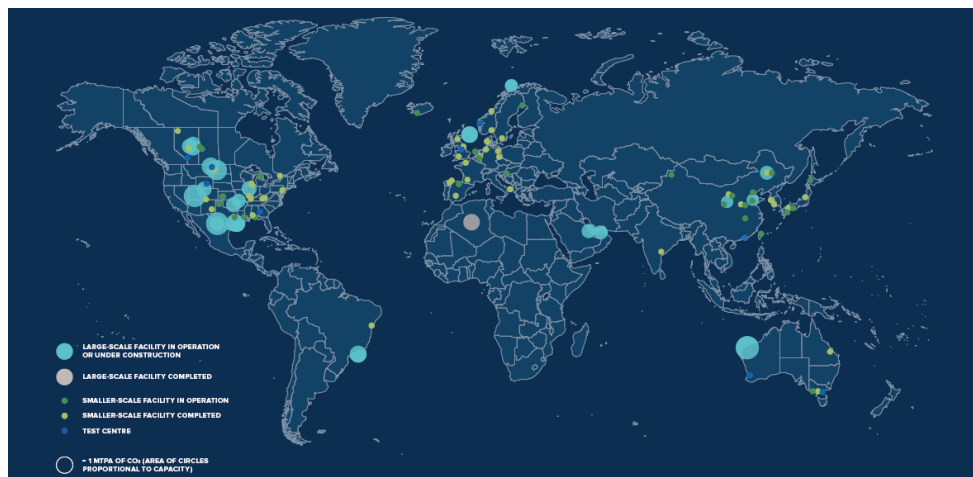


Figura 1. Proyectos integrales de CAUC en el mundo (fuente: Global CCS Institute. [3])

En esencia, todas las rutas establecidas para la lucha contra el cambio climático a nivel mundial cuentan con el desarrollo e implantación de las tecnologías CAUC.

³ La capacidad global actual de 40 Mtpa representa una capacidad CAUC mil veces menor que las emisiones de 2018 (37,1 GT CO₂). Si se compara con las emisiones actuales en España (en torno a 340 Mt CO₂/a, la capacidad global de CAUC representa en torno al 12%.

Dado que el almacenamiento se contempla como solución final complementaria pero muy importante a la de usos y transformación, una posible limitante podría ser la capacidad de almacenamiento requerida. De acuerdo con el citado informe del Global CCS existe en el mundo mayor capacidad geológica que la exigida por el acuerdo de París, lo que asegura la viabilidad práctica de toda la cadena tecnológica de la CAUC.

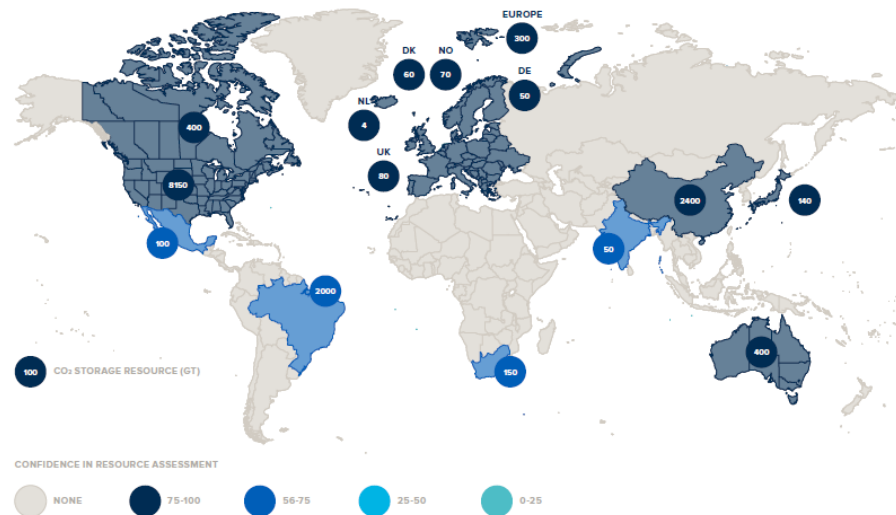


Figura 2 Estimación recursos para almacenamiento de CO₂ a nivel mundial. (Fuente: Global CCS Institute, [3])

1.2. Perspectiva de las tecnologías CAUC en la Unión Europea

En Europa, actualmente, todos los proyectos CAUC son a pequeña escala o escala laboratorio, a excepción de uno grande, ligado a la recuperación de gas y petróleo en el Mar del Norte.

Europa ha fomentado el desarrollo y la implantación de las tecnologías bajas en carbono basado en un mercado de derechos de emisión (Emissions Trading Scheme, ETS) por el cual se fija un precio para la tonelada de CO₂ emitida. La implantación competitiva de las tecnologías CAUC en su etapa de madurez tendrá lugar cuando el coste de los derechos de emisión compense el sobrecoste de aplicación de la CAUC sobre los costes básicos de producción de la energía.

La Comisión Europea adoptó, el 28 de noviembre de 2018, una visión estratégica a largo plazo para una economía próspera, moderna, competitiva y climáticamente neutra de aquí a 2050 – Un planeta limpio para todos, incluyendo a las tecnologías CAUC:

“El camino hacia una economía climáticamente neutra exigirá una acción conjunta en siete ámbitos estratégicos: eficiencia energética; despliegue de energías renovables; movilidad limpia, segura y conectada; industria competitiva y economía circular; infraestructuras e interconexiones; bioeconomía y sumideros naturales de carbono; captura y almacenamiento de carbono para hacer frente a las emisiones restantes. La prosecución de todas estas prioridades estratégicas contribuirá a hacer realidad nuestra visión.”

La iniciativa **Oil and Gas Climate Initiative (OGCI)** de las 10 petroleras más grandes del sector para encontrar soluciones al cambio climático, financiará (con recursos del fondo de 1.000 millones de dólares de que dispone para investigar en nuevas tecnologías de bajas emisiones) un proyecto para el diseño de una central de ciclo combinado de generación de electricidad con gas natural, que **incorpora captura de CO₂** en Reino Unido en el que participa Repsol.

1.3. Las Tecnologías CAUC en España

España no tiene ninguna planta CAUC de gran escala en operación. No obstante, si hay iniciada una planta en Ponferrada (con una inversión de 200 M€). La primera fase del proyecto finalizó en 2014 y consistió en el desarrollo de **tres instalaciones piloto** (de captura, transporte y almacenamiento) que **siguen operando**. Pero la segunda, que comprendía la construcción por parte de Endesa de una planta comercial de 300 MW dentro de su **central térmica de Cubillos del Sil**, ha quedado en suspenso debido al retiro –al menos momentáneo– de la eléctrica. Esta segunda etapa tendría que haberse concluido en 2015 con la inversión por parte de Endesa de 300 millones, pero la **caída del precio del CO₂** no lo hace rentable.

Además del de Ponferrada, que gestiona la **fundación Ciudad de la Energía** (Ciuden), hay otros proyectos pequeños. Entre ellos destaca una **planta piloto de captura en la central térmica de Hunosa en La Pereda**, Asturias, que empezó a funcionar en 2012 gracias a una ayuda europea de cuatro millones. La planta, con capacidad para producir 1,8 megavatios térmicos, tiene subvenciones aseguradas hasta el verano de 2019.

Por otra parte el Instituto Geográfico y Minero (IGME) ya ha identificado en España suficientes formaciones de almacenamiento para nuestro país, habiéndose analizado un total de 103 estructuras.

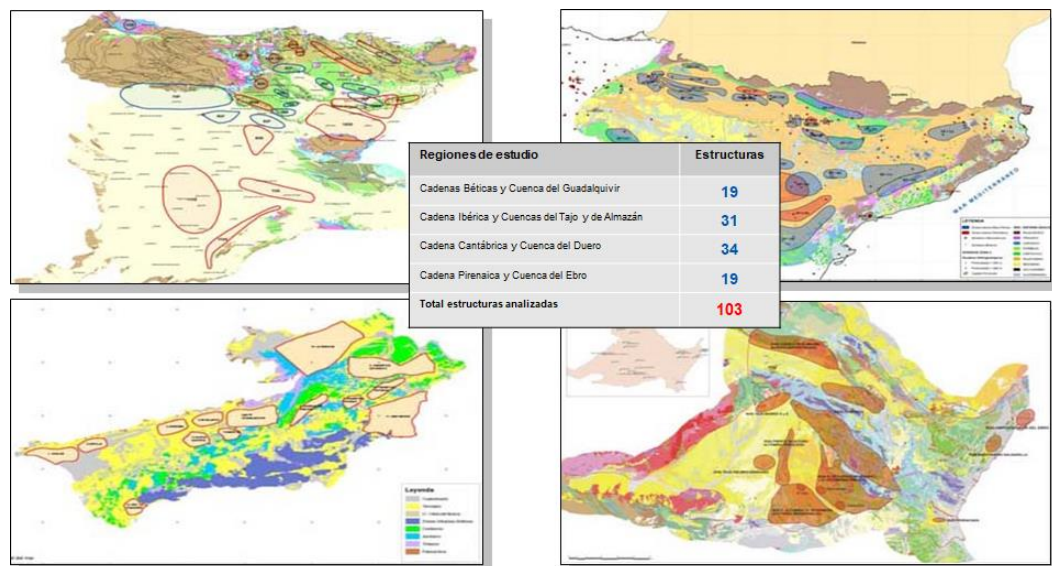


Figura 3. Estructuras con potencial de almacenamiento de CO₂ en España. (Fuente IGME)

1.4. Argumentos básicos para apoyar el despliegue de las tecnologías CAUC

Las tecnologías CAUC son necesarias porque con el crecimiento de la demanda energética y el desarrollo tecnológico (a corto y medio plazo) no va a ser posible renunciar a ninguna de las fuentes energéticas actuales. Fuentes de energía como el carbón limpio (uso del carbón aplicando tecnologías CAUC) cobrarán importancia fundamental en la reducción de emisiones de CO₂ durante el periodo transitorio hacia un desarrollo económico descarbonizado.

La captura de CO₂ tiene un fuerte componente intersectorial, ya que será necesaria en los sectores industriales que, aunque ya aplican las mejores técnicas disponibles, el propio proceso impide reducir más la emisión de CO₂ como ocurre, por ejemplo, en la industria cementera y otras. Las tecnologías CAUC serán una nueva oportunidad para acercar más a los sectores que las empleen a una economía descarbonizada.

Según The Global CCS Institute, [3] los argumentos básicos para apoyar el despliegue de tecnologías CAUC son:

1. Los objetivos del cambio climático de París no pueden ser alcanzado sin CAUC⁴.

⁴ Resultados de la Agencia Internacional de Energía (AIE) mantienen que para alcanzar los objetivos climáticos del acuerdo de París de 2°C para 2060 (escenario 2DS), un 14% de la reducción de emisiones totales habrán de derivar de actividades CAUC. Para el escenario más exigente B2DS, la participación de las CAUC se eleva al 32%. A pesar de esto, no hay suficientes instalaciones CAUC en desarrollo actualmente. Para alcanzar el objetivo de París de 2°C, se necesitarían más de 2,500 instalaciones operando para 2040 (basado en una instalación con capacidad de captura de 1.5 millones de toneladas de CO₂ por año).

2. La CAUC es la **única tecnología limpia capaz de descarbonizar las principales industrias.**

Hay acuerdo entre expertos del IPCC y de la IEA en que las tecnologías CAUC son, actualmente, la única opción para descarbonizar grandes sectores industriales, particularmente la del acero, Industrias del cemento, de fertilizantes y la petroquímica.

3. Las tecnologías CAUC son el **camino hacia una nueva economía de la energía** que apueste por la producción de hidrógeno, por la Bioenergía con CAUC (BECAUC), Captura directa en aire (DAC) y valorización del carbono (C2V) con aplicaciones de reutilización de CO₂.
4. Las tecnologías CAUC **contribuyen a la creación de empleos y al sostenimiento de comunidades**⁵.
5. Hay una abundante capacidad de almacenamiento para apoyar un desarrollo amplio de instalaciones de almacenamiento de CO₂⁶
6. Los costes de CAUC son razonables⁷ y continúan disminuyendo a medida que se comercializan más instalaciones.
7. Las CAUC han estado trabajando de forma segura y eficiente durante 45 años⁸.

⁵ La revolución de la energía limpia puede crear nuevos empleos y oportunidades económicas para Comunidades enteras a través de la provisión. de servicios incluyendo gestión de proyectos, Ingeniería, finanzas, servicios legal y ambiental, etc. También agregará valor a través de la fabricación de componentes CAUC (tales como Calderas y turbinas), construcción de nuevas instalaciones CAUC, cadena de suministro de combustible bajo en carbono y Desarrollo de infraestructura de CO₂, especialmente tuberías de CO₂ y medios de transporte relacionados

⁶ Con abundantes recursos de almacenamiento subterráneo a nuestra disposición, el almacenamiento sigue siendo una práctica y Solución lógica de mitigación de CO₂. La mayoría de Los principales lugares de almacenamiento de CO₂ del mundo han sido bien evaluado, y casi todas las naciones de alta emisión ha demostrado un potencial de almacenamiento sustancial.

⁷ Los costes están influenciados por el tipo de industria de emisión de carbono a la que se aplica y dónde se encuentra (es decir, si está cerca de un sitio de almacenamiento subterráneo, etc.). Otros determinantes de costes de la CAUC son: i) La concentración de CO₂ en la corriente de gas de donde se captura el CO₂; ii) La distancia y calidad del reservorio de almacenamiento; iii) El coste de capital y mano de obra en el lugar donde se está construyendo la planta.

⁸ El seguimiento realizado a la instalación de CAUC de la Val Verde, en Texas, comenzó en 1972 y sirve de muestra de que el CO₂ se puede almacenar de forma segura en el subsuelo. Por otro lado, los yacimientos de petróleo y gas han demostrado que los fluidos como el CO₂ se puede sellar de manera segura bajo tierra para millones de años. Los proyectos CAUC apuntan a los mismos tipos de Estructuras geológicas que las que albergan petróleo y gas.

1.5. Potencialidades frente a una Transición Energética de las tecnologías CAUC

Este sector es por sí contribuyente a la consecución de los objetivos energéticos y medioambientales. Su potencial aplicación como técnica de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) puede resultar fundamental, como medida paliativa, para que amplios sectores energéticos e industriales (como acero, cemento, fertilizantes, papel, petroquímicos) puedan cumplir con los requisitos de reducción de emisiones impuestos por los objetivos de mitigación del cambio climático.

Según la Agencia Internacional de la Energía [3] las tecnologías CAUC son, actualmente, las únicas soluciones tecnológicas que puede reducir significativamente las emisiones que provienen de la generación energética con carbón y gas y que pueden ofrecer las reducciones de emisiones necesarias en procesos industriales que seguirán siendo elementos clave en la construcción de la sociedad moderna.

De hecho, al hilo de diversas modelizaciones realizadas a nivel internacional, se ha llegado a la conclusión de que las tecnologías CAUC son imprescindibles para alcanzar los objetivos ambientales propuestos, siendo una de las tres medidas principales a adoptar, junto con el despliegue de energías renovables y de medidas para incremento de la eficiencia energética. La (AIE) estima que la CAUC podría contribuir con el 13% de la reducción de emisiones que se necesita de aquí a 2050 para que la Tierra no se caliente por encima de los dos grados. En un escenario de incremento de temperatura de 1,75°C, en el largo plazo se plantean tecnologías ligadas a captura de CO₂, y a hidrógeno con renovables ligados a la captura como una ruta viable de solidificar el CO₂.

La **Comisión Europea**, el 28 de noviembre de 2018, adoptó una **visión estratégica a largo plazo** para una economía próspera, moderna, competitiva y climáticamente neutra de aquí a 2050 –Un planeta limpio para todos, incluyendo a las tecnologías CAUC:

*“El camino hacia una economía climáticamente neutra exigirá una acción conjunta en **siete ámbitos estratégicos**: eficiencia energética; despliegue de energías renovables; movilidad limpia, segura y conectada; industria competitiva y economía circular; infraestructuras e interconexiones; bioeconomía y sumideros naturales de carbono; **captura y almacenamiento de carbono** para hacer frente a las emisiones restantes”.*

El apoyo a las tecnologías CAUC en la historia reciente de las Conferencias Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático varía: cuanto más ambicioso se quiere ser, más se recurre a las CAUC. Para cumplir con los objetivos del Acuerdo de París, se precisa la captura anual de 1.800 millones a 6.000 millones de toneladas de CO₂, cifras muy lejanas de los 37 millones que se capturan actualmente.

1.6. Tipos de apoyo que reivindica el sector de las tecnologías CAUC

El sector de Captura, Almacenamiento y Uso de CO₂ reivindica políticas de confianza en su contribución para desplegar y sostener las inversiones en CAUC.

Por la escala e inversiones que requieren las tecnologías CAUC, además de la organización requerida para desarrollar un transporte y almacenamiento adecuado de CO₂, **se requiere un enfoque y una planificación nacional**. No se puede pensar que empresas privadas organicen un sistema de transporte y almacenamiento geológico de CO₂ **ya que es el Estado quien tiene las capacidades, el conocimiento y la propiedad del subsuelo**.

Se considera que solo el Estado puede acometer proyectos de envergadura en fase de I+D+i, porque una empresa privada es difícil que invierta 40 o 50M€ en estudiar, diseñar y poner en funcionamiento un almacenamiento geológico de CO₂ para 400M ton sin seguridad jurídica. Y es que en España la ley de almacenamiento que deriva de la directiva ha sido llevada por tres CCAA a los Tribunales. En esa situación, se cree que o invierte el Estado o nadie va a invertir.

Un plan nacional que incluya la CAUC podría seguir un modelo análogo al utilizado con el gas natural: la iniciativa privada puede desarrollar la captura y los usos, pero la estrategia global, transporte y almacenamiento sería estrategia país.

Una opción de apoyo para el despliegue de la CAUC podrían ser primas a la captura de CO₂ (tal como se está impulsando en EE.UU⁹), siguiendo el modelo de primas que se utilizó con las renovables en España (aprendiendo de lo que entonces se hizo bien -y sirvió para situar en vanguardia a sectores de energía renovables- y de lo que no funcionó adecuadamente -como el no asociar la variación de primas y de cupos a una evolución exigente en las curvas de aprendizaje tecnológico y en precios-).

Por su parte, la PTECO₂, reivindica **“Disponibilidad de recursos financieros e instrumentos para implementación de la CAUC” mediante:**

1. **Un marco regulatorio actualizado y consolidado** lo que conlleva, al menos, la necesidad de incluir CAUC en las siguientes actuaciones:
 - La **adaptación de la Ley 40/2010**, de 29 de diciembre, de almacenamiento geológico de dióxido de carbono al estado actual de la tecnología CAUC, y la regulación de aquellas fases pendientes, fundamentalmente el transporte.

⁹ La administración Trump ofreció, desde mediados de 2018, una deducción de 30 dólares por tonelada de CO₂ capturado si se le da un uso industrial, como en el caso de las petroleras, o de 50 \$/tCO₂ si es almacenado bajo tierra

- La **inclusión de la CAUC en la futura Ley de Transición Energética y Cambio Climático**, actualmente en tramitación, al objeto de regular iniciativas, a corto-medio plazo, de apoyo y de exigencia al respecto. Entre las mismas cabe incluir la creación de incentivos fiscales o económicos para el sector industrial al respecto.
 - La **inclusión de las CAUC en la futura Ley por la que se modificará la ley 1/2005, de 9 de marzo, que regula el régimen de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero**, y que incorporará a nuestro ordenamiento jurídico la Directiva (UE) 2018/410 del Parlamento Europeo y del Consejo de 14 de marzo de 2018 por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE para intensificar las reducciones de emisiones de forma eficaz en relación con los costes y facilitar las inversiones en tecnologías hipocarbónicas. Esta Directiva reconoce de manera expresa la esencial importancia del apoyo a esta tecnología en la lucha para mitigar el cambio climático, dando prioridad a la innovación industrial en esta tecnología hipocarbónica dentro del territorio de la Unión Europea previendo que los derechos de emisión deben utilizarse para proporcionar recompensas garantizadas para la implantación de instalaciones de captura y almacenamiento de CO₂ o de captura y utilización de carbono, en la Unión por el CO₂ almacenado o no emitido a una escala suficiente, a condición de que exista un acuerdo para compartir los conocimientos
 - Regulación ex novo relativa a la **creación de estándar de energía limpia derivada de la CAUC**.
 - Regulación ex novo para **apoyar y facilitar sus usos**.
 - **Actualización de la identificación y listado de zonas de almacenamiento**.
 - **Otras normativas relacionadas fundamentalmente con sector energético e industrial —sectores electro intensivos—**.
2. **Apoyo Financiero amplio y consolidado:**
- Las tecnologías CAUC deben tener **acceso a las Finanzas Sostenibles que en la actualidad está regulando la Unión Europea**, las cuales deben establecerse desde una perspectiva holística e integradora que no excluya ningún sector energético ni industrial.
 - Además, deben **Incluirse las tecnologías CAUC en las propuestas, UE y nacional**, relativas a la innovación e investigación, desarrollo de tecnologías, proyectos de demostración, líneas piloto de fabricación, transferencia de tecnología, normalización, fondos de financiación y sistema de garantías, etcétera que se están tramitando en el momento presente, resaltando, entre las mismas, las siguientes:

- **Programa Marco de Investigación e Innovación en la UE en Horizonte 2020:** incluye Proyecto piloto de Captura y Almacenamiento Carbono en procesos industriales a través de la creación de Consorcios de empresas del sector industrial
 - **Horizonte 2020:** inclusión de la Captura y Almacenamiento de Carbono en tres grupos o clúster: (i) Energía e Industria: Cambio climático, apartado movilidad; (ii) Industria limpia (medidas de eficiencia y ahorro); (iii) Energía.
 - **Actuaciones anunciadas por el Gobierno en el marco de las Propuestas de Energía y Cambio Climático — Estrategia, Plan o Estatuto de la Industria Electro intensiva—.**
- 3. Iniciativas de Mercado promovidas fundamentalmente por el regulador con la participación del sector privado:**
- Apoyo a la CAUC en los mercados de reducción de emisiones CO₂e.
 - Modelos de participación público-privada para desarrollo de fases CAUC como el transporte.
 - Regulación ex novo de Prima o Incentivo fiscal: deducción por tonelada de CO₂e **capturado**
- 4. Otras iniciativas:**
- Las tecnologías CAUC deben tener **acceso a las Finanzas Sostenibles que en la actualidad está regulando la Unión Europea**, las cuales deben establecerse desde una perspectiva holística e integradora que no excluya ningún sector energético ni industrial.
 - Campañas de estímulo con aproximaciones actualizadas (carbón limpio, emisiones cero, etc.) que busquen el apoyo social.
 - Otras iniciativas sociales de su aceptación como tecnología de lucha contra el cambio climático (técnicas de difusión o información).
 - Iniciativas de empleo relacionadas

Otros mecanismos específicos para generar políticas de confianza en las CAUC podrían ser:

- Modelos de negocio público-privados para el impulso a las CAUC
- Creación de instrumentos, capacidades y estructuras para la gestión de la participación pública y aseguramiento de los recursos precisos y en particular de la financiación necesaria
- Regímenes legales y reglamentarios específicos de las tecnologías CAUC que aborden todos los aspectos del ciclo de vida del proyecto
- Eliminación de barreras regulatorias
- Políticas estables/previsibles que garanticen seguridad a la inversión de capital (dado que es un sector donde las inversiones son muy elevadas) y una larga vida de gestación / activos de las instalaciones de CAUC

- Compromiso público transparente, y apoyo transversal en todos los niveles de partes interesadas
- Considerar las tecnologías CAUC como parte del portafolio tecnológico para la transición energética en España
- Apoyo sólido a la investigación, desarrollo e innovación en CAUC

2. POSICIONAMIENTO Y PERSPECTIVAS SOCIOECONÓMICAS DE LAS TECNOLOGÍAS CAUC EN ESPAÑA

2.1. Creación de economía y empleo

2.1.1. Contribución al PIB

Según la PTECO2, la contribución al PIB actual y proyectada a 2030 se estima en unos 1800 M€ para el conjunto de los cuatro bloques tecnológicos analizados: Captura (410 M€), Almacenamiento (70 M€), Transporte (550 M€) y Usos del CO₂ (780 M€) con una evolución estimada como la siguiente:

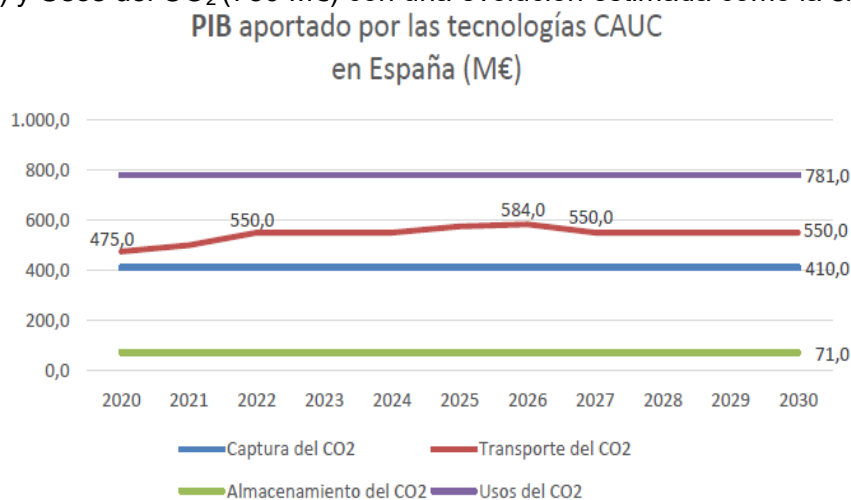


Figura 4. Estimaciones 2020-2030 de Contribución al PIB español de los sectores de Captura¹⁰, Transporte¹¹, Almacenamiento¹² y Usos¹³ del CO₂

¹⁰ Se ha utilizado como referencia los datos del INE sobre la financiación de las actividades de I+D En España en el año 2015 (13.171 M€) de los cuales un 40.9% procede de la Administración pública (5387 M€) y un 8% de financiación extranjera. Del total financiado se ha supuesto que un 1% se dedica a la tecnología de captura de CO₂ (54 M€). Los fondos procedentes del extranjero suponen un 8% del total financiado, y se ha supuesto un reparto 85/15 entre la financiación procedente de la Unión Europea y el resto de financiación internacional. Para calcular la evolución de la financiación en los periodos 2016-2020 y 2021-2030 se ha supuesto que se mantendrán los mismos porcentajes del PIB destinados a actividades de I+D. Por tanto, el aumento de financiación en actividades de I+D se debe al aumento del PIB previsto en dichos periodos, el cual se ha obtenido del documento "Indicadores de caracterización de las tecnologías energéticas españolas" elaborado por CREARA Energy Experts para CIEMAT en 2017.

¹¹ El informe sobre Implicaciones socioeconómicas del desarrollo tecnológico y comercial de la CAC OPTI (Instituto prospectiva tecnológica industrial) constituye un completo estudio sobre la aportación de del transporte de CO₂ en la economía española (PIB directo e indirecto). La hipótesis de base es la implantación de Ceoductos prevista por el proyecto COMET en España entre 2012 y 2024. Para el periodo 2014-2024 el informe OPTI establece una mejora en la producción agregada de 5.984MM€. Se ha considerado, dado el retraso en las inversiones observado en estos últimos años, esa mejora para el periodo 2020-2030

¹² Para responder a las hipótesis establecidas en el cuestionario de captura, se ha propuesto un cálculo proporcional

2.1.2. Creación de empleo

La estimación total de empleos directos e indirectos asociados a las tecnologías CAUC es de unos 19000 empleos en 2019.

En cuanto a empleos directos, se estima la siguiente evolución para el periodo 2020-2030:

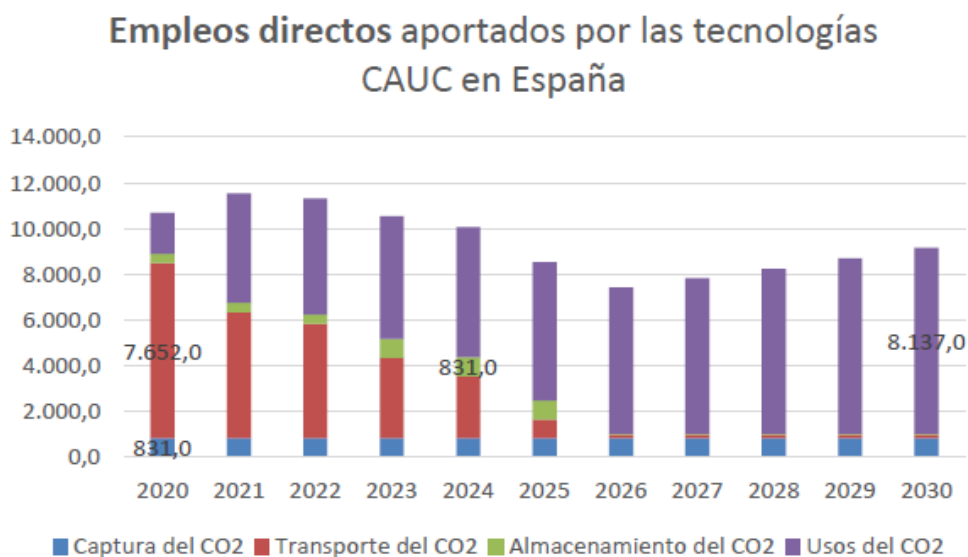


Figura 5. Generación de **empleos directos** en tecnologías CAUC a 2030 (fuente: PTCO2)

En su totalidad, para la década de 2020-2030 se originarán **empleos directos** en una horquilla entre prácticamente 8.000 empleos y 12.000. Sí es de destacar el **liderazgo** en creación de empleo que irá tomando el **área de usos de CO2, liderazgo que quedará consolidado en la segunda mitad de la década.**

¹³ Los datos se obtienen a partir de la cifra de negocios de los subsectores. Se consideran las cifras de negocios de los SUBSECTORES 1, 2 y 3 creció en valores de 206, 47 y 33M€ en el año 2014. En el subsector de metanol como combustible la cifra de negocio aumentaría de escala de forma significativa (x10) en 2021. Por otro lado, se considera la cifra de negocios total que aporta el sector químico (55.300 M€) así como su porcentaje al PIB (11 %). Con lo anterior, se realiza un cálculo proporcional, considerando el PIB nacional. La cifra de negocio del subsector 2 que aporta las gasolineras sería 14.589 M€, un 1.43% del PIB español. La cifra de negocio que aporta el subsector 3 en el 2014 sería de 16002 millones de euros (Contabilidad Nacional subsectores caucho y plásticos), el 1,56% del PIB, pero de esta cifra se prevé una cifra de negocio de 330 millones de euros en plásticos sustituibles por plásticos generados con CO2 (0,021% de la cifra de negocio total de plásticos).

En relación con los empleos indirectos, la PTECO2 prevé en su conjunto una horquilla entre un rango cercano a 6.000 empleos y algo más de 10.000 empleos, originados sobre todo por el impacto de los usos del CO2 en la segunda parte de la próxima década y por las actividades relacionadas con la red de transporte hasta dicha mitad. También a destacar una creación estable ligeramente inferior a los 2.000 empleos por las actividades de la captura de CO2.

Empleos indirectos aportados por las tecnologías CAUC en España

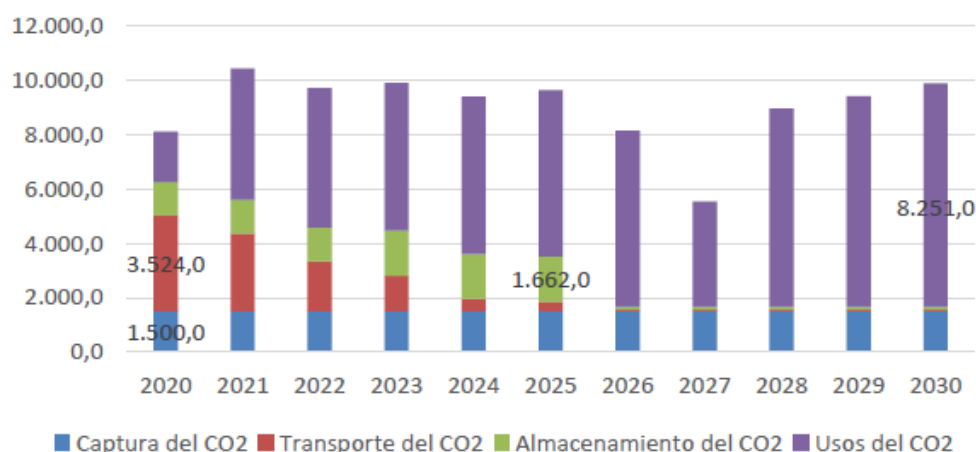


Figura 6. Generación de **empleos indirectos** en tecnologías CAUC a 2030 (fuente: PTCO2)

2.1.3. Costes de las tecnologías CAUC

Con relación a otros indicadores económicos, los costes de la tonelada de CO2 evitada dependen mucho de la aplicación, planta o industria sobre la que se implante la captura en sus diferentes vertientes tecnológicas.

La horquilla más extrema situaría los **costes en captura** para las tecnologías de primera generación **entre los 28 €/ton CO₂ evitado y los 164 €/ton CO₂ evitado** y en las tecnologías de segunda generación entre los 6 y los 27 €/ton CO2.

Costes en Captura¹⁴ de CO2:

¹⁴ Los costes solo incluyen la captura y el almacenamiento ya que el transporte y almacenamiento es lo barato de todo el proceso (entre 5 y 10\$/ton CO₂)

Aunque los diferentes sistemas de captura de CO₂ presentan un amplio intervalo de valores dependiendo de los factores específicos a los que se aplica (localización, tamaño de instalación, tecnología empleada, madurez de la tecnología, integración energética planta de nueva creación o adaptada, etc.) la plataforma PTCO₂ aporta valores que se plantean para los diferentes sistemas emisores de CO₂:

- 1) El coste de CO₂ evitado **para grandes centrales térmicas** (500-1000MW) es el siguiente:
 - Sistemas de postcombustión: 63\$/ton CO₂ (45-70) en centrales de carbón y de 87\$/ton CO₂ (58-121) para centrales de gas natural
 - Sistemas precombustión en plantas de gasificación integrada con ciclo combinado: 46\$/ton CO₂ (37-58)
 - Sistemas de oxcombustión: 81\$/ton CO₂ (52-112)
- 2) El coste de CO₂ capturado **para sistemas industriales** es el siguiente:
 - Industria siderúrgica: 69\$/ton CO₂ (10-120)
 - Refinerías de petróleo: 96\$/ton CO₂ (28-130)
 - Industria papelera: 58\$/ton CO₂ (56-59)
 - Industria del cemento: 74\$/ton CO₂ (17-164)
- 3) Por otro lado, **las tecnologías de segunda generación** planteadas en España rebajan considerablemente el coste de la captura de CO₂ estimado (siendo España líder en muchas de estas tecnologías):
 - Procesos de calcinación-carbonatación: alrededor de 20\$/ton CO₂
 - Procesos de *Chemical Looping*: 6-27€/ton CO₂ evitada; ventaja de lograr capturas de CO₂ cercanas al 100%

Costes en Transporte de CO₂ (€/ton CO₂_{transportado})

En transporte hay grandes inversiones iniciales y unos factores de costes variables muy pequeños. (se asumen las lecciones aprendidas en la construcción de la red de gas en España):

- Inversión Inicial: 823 M€; Costes de mantenimiento = 78 M€/año; Tasa de descuento = 5%; Vida útil=40años
- Factor multiplicador 2021-2030 se ha considerado en el valor de inversión prevista anual, a partir de los datos de Inversión total: 3900 M€ y longitud de Ceoductos (5.000km)
- Factor de inversión: 3920/5000=0,78

2.1.4. Cuota del mercado español de la CAUC de las tres primeras empresas

La cuota d mercado de las empresas españolas es bastante elevada, teniendo empresas muy intensivas en uso, captura y transporte.

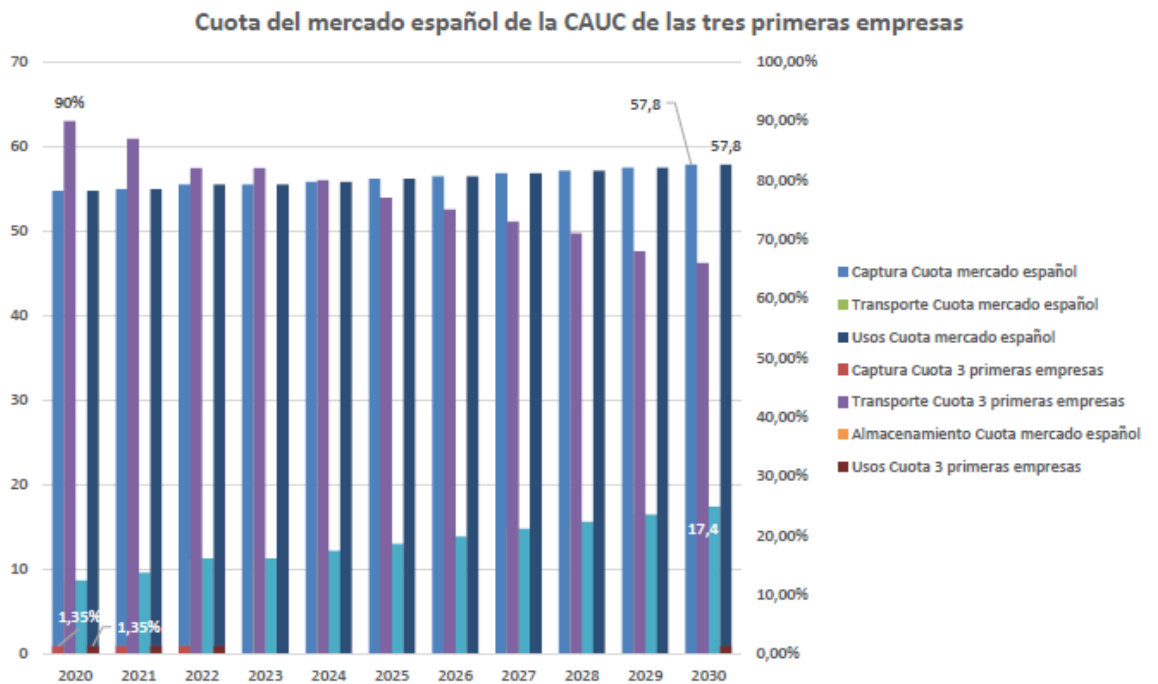


Figura 7. Cuota del mercado español de la CAUC de las tres primeras empresas por área tecnológica (captura, Transporte, almacenamiento y Usos de CO₂)

Hipótesis de Cálculo Cuota de Mercado en Captura y Usos de CO₂

Para el cálculo de la cuota de mercado español en Captura de CO₂ se ha considerado la actividad de Generación eléctrica en Régimen Ordinario con combustibles fósiles. Cabe remarcar que las unidades seleccionadas para el cálculo de la cuota de mercado español ha sido potencia instalada para generación eléctrica (MW)..

La información de partida ha sido el registro de centrales de generación eléctrica publicado por el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (Sede electrónica del MITYC), soportado en fichero Excel, que constituye una potencia total instalada de 44124 MW. De este fichero se han eliminado todas las instalaciones nucleares y de gran hidráulica, manteniendo las unidades de producción de térmica clásica que incluyen principalmente las **centrales térmicas de carbón, fuel-gas, ciclo combinado de carbón, ciclo combinado de gas natural, y cogeneración.**

Se han ordenado los datos por empresas y se han efectuado sus sumas parciales de capacidad instalada sólo para las que ya se presuponen de antemano que son las mayores. No se ha considerado la pertenencia de dos o más entidades a un mismo grupo empresarial ni las posibles coparticipaciones en la titularidad de algunas centrales (se ha asignado la capacidad al primer titular).

El resultado muestra que las tres primeras empresas con actividad de generación eléctrica en 2016 con combustibles fósiles tienen unas cuotas de 21,0%, 17,7% y 15,0% (para un total de 53,7%) y la que las sigue en cuarta posición, del 8,4%.

Para el cálculo de la cuota de mercado español en los periodos 2016-2020 y 2021-2030 se han considerado el aumento de las previsiones de potencia instalada para generación de energía eléctrica en España considerando consumos de carbón y gas, del documento “Indicadores de caracterización de las tecnologías energéticas españolas” elaborado por CREARA Energy Experts para CIEMAT en 2017, que suponen un aumento del consumo de estos combustibles del 2% (2016-2020) y del 8% (2016-2030) con respecto a los datos de 2016.

Para el cálculo de la cuota de las 3 primeras empresas respecto al total del mercado se ha considerado la relación entre la potencia instalada para generación eléctrica en España basada en combustibles fósiles (carbón+ gas natural) con respecto a la potencia instalada para generación eléctrica a nivel global (carbón + gas natural), obtenida del documento “Indicadores de caracterización de las tecnologías energéticas españolas” elaborado por CREARA Energy Experts para CIEMAT en 2017.

Hipótesis de Cálculo Cuota de Mercado en Transporte de CO₂

Se ha tomado como referencia el sistema gasista, en donde las 3 primeras empresas de distribución constituyen un 90 % (según informe del CNMC 2016). Una vez el mercado esté más maduro, a partir de 2020, se considera una pequeña reducción en la cuota de mercado por la entrada de otros competidores. Se ha considerado una reducción del 3 % anual, por consiguiente, un factor multiplicador de 0.97 anual.

Para la cuota de mercado se ha considerado el valor en MtCO₂ indicado para captura de CO₂ en su ejercicio.

2.1.5. Contabilidad de las externalidades de la CAUC

La utilización de recursos bioenergéticos (biomasa y biogás) produce importantes beneficios en el sector tecnológico de captura de CO₂, en un doble sentido. Por un lado, permite obtener beneficios externos derivados de su uso, por ejemplo, de la limpieza de montes para evitar incendios, a la vez que permite obtener energía mediante la utilización de residuos de origen biomásico (residuos industriales, residuos agrícolas, residuos sólidos urbanos, residuos forestales). Por otro lado, su carácter renovable los hace idóneos para alcanzar emisiones negativas de CO₂ con procesos de “Bioenergía y Captura y almacenamiento de CO₂”, que se consideran una tecnologías necesarias para alcanzar los retos de descarbonización de la economía. Además, la posibilidad de alcanzar emisiones negativas de CO₂ puede permitir no sólo no tener que pagar por emitir CO₂ sino que sería posible obtener ingresos en un potencial mercado de emisiones negativas de CO₂.

Contabilidad de las externalidades de la CAUC

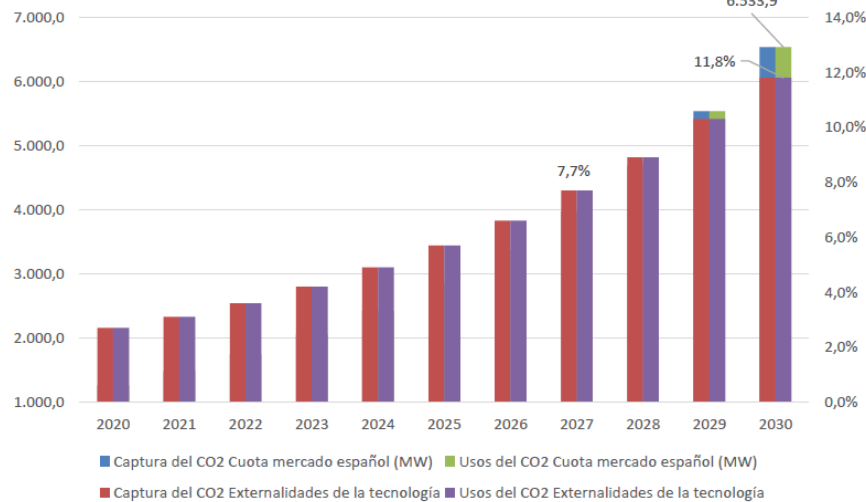


Figura 8. Contabilidad e externalidades. (Para el cálculo de la cuota del mercado español se ha considerado las previsiones de potencia instalada en España (MW) para generación eléctrica a partir de bioenergía (biomasa + biogás), mostradas en el documento "Indicadores de caracterización de las tecnologías energéticas españolas" elaborado por CREARA Energy Experts para CIEMAT en 2017 [6]. En la definición de externalidades de la tecnología se ha considerado el % de la cuota que corresponde a la potencia instalada a partir de bioenergía con respecto a la potencia instalada derivada de la utilización de bioenergía y combustibles fósiles.)

2.2. Capacidades en ciencia, tecnología e innovación

2.2.1. Capacidades e infraestructuras de I+D+i

El Ministerio de Transición Ecológica va a relanzar CIUDEN, que fue un centro de referencia europeo.

La mayoría de las capacidades e infraestructuras de I+D+i asociadas a las tecnologías CAUC están asociadas a los proyectos piloto y de demostración ya realizados. Entre los proyectos significativos ya realizados en España. Se encuentran los siguientes:

Proyectos en España: Captura de CO₂ (1/5)

● Nuestro país viene teniendo presencia a un nivel muy alto en el desarrollo de las tecnologías CAUC con diferentes proyectos, algunos muy singulares, tales como:



Planta piloto carbonatación-calcinación en La Robla
Planta de 300 kWt con un proceso de carbonatación-calcinación. La planta está conectada a una central de carbón de 655 MWe. La Robla, propiedad de Naturgy.
En esta planta se desarrolló el concepto de "emisiones negativas".

● Algunos ejemplos de infraestructuras que se mantienen en España con potencial de colaboración internacional señalan, entre otras, las relativas a:

- Fundación Ciudad de la Energía (CIUDEN)
- Hulleras del Norte, S.A. (HUNOSA)
- Instituto Nacional del Carbón (INCAR-CSIC)
- Instituto de Carboquímica (ICB-CSIC)
- Instituto IMDEA Energía

ptecCO₂

Proyectos en España: Captura, transporte y almacenamiento de CO₂ (2/5)

FUNDACIÓN CIUDAD DE LA ENERGÍA (CIUDEN)

- CIUDEN se crea en 2006, bajo el auspicio del Gobierno de España para la implementación de la I+D+i en programas de energía y medio ambiente, así como para contribuir al desarrollo económico en la región del Bierzo.
- CIUDEN cuenta con tres infraestructuras:

Planta de captura en Cubillos
Caldera de 30 MWt de lecho fluido circulante (CFB), para el empleo de antracita local y diferentes mezclas de antracita-coque de petróleo. Dos de los principales parámetros en los que las pruebas se han centrado son en el rendimiento de la captura de SO₂ y NOx utilizando la tecnología de oxidación.

Lazo de transporte en Cubillos
De tamaño semi industrial con 30km, el lazo permite analizar los efectos en los conductos de los siguientes parámetros: composición del CO₂, comportamiento de los materiales, cambios de presión y temperatura, posibles fugas, entre otros.

Planta de almacenamiento geológico en Hontomín
Equipada con un pozo de inyección y uno de monitorización de 1.500 m. Ambos están equipados con capacidades que incluyen una red de monitoreo hidrogeológico y un conjunto de herramientas en superficie con 30 estaciones microsísmicas.

ptecCO₂



Figura 9. Proyectos CAUC significativos en España (Fuente PTCO2)

2.2.2. Posicionamiento tecnológico

En general, las tecnologías incluidas en este sector se hallan en proceso de desarrollo, muchas de ellas al final de su etapa de plantas piloto a la espera de un salto a la escala real de aplicación. Esto es común a las tecnologías de los diferentes subsectores. A lo largo de la década de 2020-2030 la mayor parte de ellas habrán evolucionado para estar ya en el mercado o muy cercanas al mercado.

En España tenemos un índice de preparación y de madurez (TRL) tecnológica en CAUC similar a la media de la Unión Europea. Fuimos líderes cuando se desarrolló el programa en CIUDEN y otros organismos (CIEMAT, CSIC...) con empresas privadas.

	Captura	Transporte	Almacenamiento	Usos
Nivel de madurez tecnológica actual (2015)	6	6	5	5
Nivel de madurez tecnológica esperado a 2020	6	7	7	6
Nivel de madurez tecnológica esperado a 2030	8-9	8-9	9	7-8

Tabla 1. Nivel de madurez tecnológica (TRLs) para las Áreas Tecnológicas CAUC (fuente: PTCO2)

Durante dicha década, el valor del mercado español de la tecnología habrá pasado de cifras ligeramente por encima de 900 M€ a cifras que superarán los 5.300 M€ en su conjunto. La PTECO2 estima que la tecnología española supondrá el 80 % en este mercado español en captura y transporte y será mucho menor en usos y transformación, pasando del 19 % en 2020 al 38 % hacia 2030.

	Mt CO ₂ evitado			M€				% capturado sector español			
	Captura	Transporte	Usos	Captura	Transporte	Almacenamiento	Usos	Captura	Transporte	Usos	
2020	8,7	1.050,0	8,3	89,4	658,6	89,4	84,9	2020	80,0	80,0	19%
2021	9,6	1.508,8	9,1	111,8	946,3	111,8	106,2	2021	80,0	80,0	21%
2022	10,4	1.967,6	9,9	126,8	1.234,1	126,8	120,5	2022	80,0	80,0	23%
2023	11,3	2.426,4	10,7	153,2	1.521,8	153,2	145,5	2023	80,0	80,0	25%
2024	12,2	2.885,2	11,6	187,8	1.809,6	187,8	178,4	2024	80,0	80,0	27%
2025	13,0	3.344,0	12,4	237,7	2.097,4	237,7	225,8	2025	80,0	80,0	29%
2026	13,9	3.802,8	13,2	286,1	2.385,1	286,1	271,8	2026	80,0	80,0	30%
2027	14,8	4.261,6	14,1	380,0	2.672,9	380,0	361,0	2027	80,0	80,0	32%
2028	15,6	4.720,4	14,8	482,8	2.960,6	482,8	458,7	2028	80,0	80,0	34%
2029	16,5	5.179,2	15,7	556,0	3.248,4	556,0	528,2	2029	80,0	80,0	36%
2030	17,4	5.638,0	16,5	634,0	3.536,2	634,0	602,3	2030	80,0	80,0	38%

Tabla 2. Valor anual esperado del **mercado español** para las tecnologías CAUC (Fuente: PTCO2)

En cuanto al mercado internacional, sólo se le da crédito de una cuota significativa de la tecnología española al área de transporte, en donde se tendría ya el 29 % en 2020 para ir bajando paulatinamente hasta el 25 % en 2030, en un mercado que supondrá casi 4.000 M€ en el 2020 y que sobrepasará los 16.000 M€ en 2030. En relación con el almacenamiento, la PTECO2 no presenta datos.

	Mt CO ₂ evitado (MW)			M€				% capturado sector español			
	Captura	Transporte	Usos	Captura	Transporte	Almacenamiento	Usos	Captura	Transporte	Usos	
2020	120,0	5.054,0	200,0	1.234	3.962,4	1.234,2	2.057,0	2020	-	29%	-
2021	195,0	5.078,8	325,0	2.279	3.981,8	2.279,1	3.798,4	2021	-	27%	-
2022	270,0	6.807,6	450,0	3.289	5.337,2	3.281,9	5.469,8	2022	-	27%	-
2023	345,0	8.536,4	575,0	4.677	6.692,5	4.677,3	7.795,6	2023	-	26%	-
2024	450,0	10.265,2	750,0	6.942	8.047,9	6.942,4	11.570,7	2024	-	26%	-
2025	525,0	11.994,0	875,0	9.572	9.403,3	9.572,1	15.953,5	2025	-	26%	-
2026	600,0	13.722,8	1.000,0	12.342	10.758,7	12.342,0	20.570,0	2026	-	26%	-
2027	675,0	15.451,6	1.125,0	17.356	12.114,1	17.356,0	28.926,7	2027	-	26%	-
2028	750,0	17.180,4	1.250,0	23.141	13.469,4	23.141,3	38.568,8	2028	-	26%	-
2029	825,0	18.909,2	1.375,0	29.770	14.824,8	27.769,6	46.282,7	2029	-	26%	-
2030	900,0	20.638,0	1.500,0	32.819	16.180,2	32.818,6	54.697,7	2030	-	25%	-

Tabla 3. Valor anual esperado del **mercado mundial** para las tecnologías CAUC (Fuente: PTCO2)

Se desconoce cuál es el ranking de las empresas españolas en el sector con relación al ámbito europeo, si bien sí se identifican¹⁵ en torno a 10 o incluso más empresas de ingeniería, tecnólogos y desarrolladores que podrían ser capaces de llevar a cabo los proyectos en España en la parte de captura.

Al no haber proyectos relevantes en España, nuestras empresas están trabajando para el área internacional.

En el **número de patentes** en España, se referencian (al año 2015) 21 patentes en captura y 3 en usos. Se considera que el nivel es bastante alto en relación con los primeros escalones de la I+D, pero que falla su consecución en el posterior desarrollo.

2.2.3. Financiación obtenida por la tecnología

La financiación obtenida tiene un crecimiento no exponencial pero sí proporcional, no siendo muy elevada la financiación europea recibida, aunque hay institutos públicos y privados españoles participando en proyectos en tecnologías CAUC que son referentes a nivel europeo.

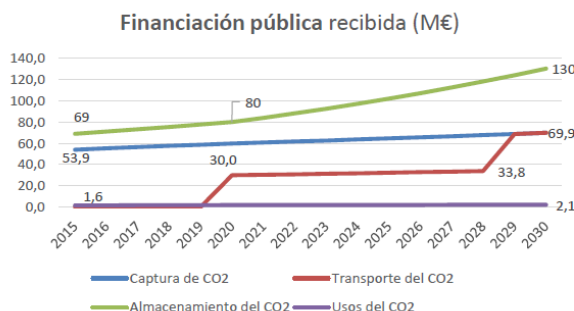


Figura 10. Financiación pública recibida (y proyección a 2030) para las tecnologías CAUC (Fuente: PTCO2)

¹⁵ **Captura** empresas españolas capaces de ofrecer proyectos llave en mano, pero se desconoce su ranking en la UE): TÉCNICAS REUNIDAS, IDOM, INERCO, ACS, DURO FELGUERA, SENER, IBERINCO, ISOLUX, NATURGY, etc. **Transporte:** TÉCNICAS REUNIDAS. **Almacenamiento:** es esperable que empresas de *oil&gas* como Repsol o Cepsa puedan dedicar un área de su actividad a este campo.

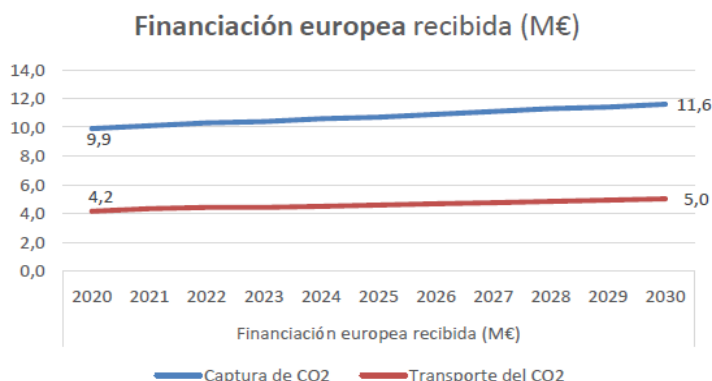


Figura 11. Financiación europea recibida en España (y proyección a 2030) para las tecnologías CAUC (Fuente: PTCO2)



Figura 12. Financiación internacional recibida en España (y proyección a 2030) para las tecnologías CAUC (Fuente: PTCO2)

Se miden estas capacidades a través de la financiación pública obtenida en los últimos años y a partir de esos datos se extrapola hasta el horizonte de 2030. Dicha financiación tiene un crecimiento no exponencial pero sí proporcional, no siendo muy elevada la financiación europea recibida y requerida, si bien se subraya la presencia de institutos públicos y privados españoles participando en proyectos en tecnologías CAUC que son referentes a nivel europeo.

3. RETOS DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO

Como la CAUC aún no es una tecnología comercial, sus costes son altos y rondan los 70 dólares la tonelada (57 euros), que **podrían bajar a 30-50 €/tCO₂ cuando la tecnología madure**. La cuestión es cómo abaratarla para que a las empresas les resulte más rentable capturar CO₂ que comprar derechos de emisión, con cotizaciones de entre 15,9 €/tCO₂ (media de 2018) y **23 €/tCO₂ (en febrero de 2019)**.

La PTECO2 ha establecido la hoja de ruta para el impulso a las tecnologías CAUC en línea con la hoja de ruta europea.

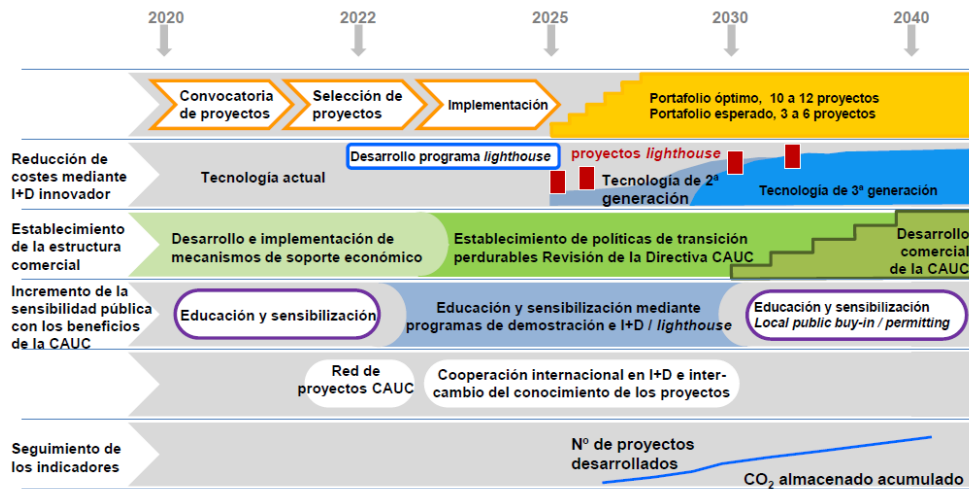


Figura 13. Hoja de ruta europea para el impulso a las tecnologías CAUC (Fuente PTCO2)

Esta ruta se fundamenta en la reducción de costes mediante:

- 1) Innovación, proponiéndose una estrategia a través de proyectos *lighthouse* a lo largo de la primera parte de la década, que se extendería hacia tecnologías de 2ª y 3ª generación hacia el final de la misma
- 2) Establecimiento de la estructura comercial, siendo necesario el desarrollo e implementación de mecanismos de soporte económico, seguidos del establecimiento de políticas de transición perdurables (Revisión de la directiva CAUC) para acabar hacia 2030 con el comienzo del desarrollo comercial propiamente dicho.
- 3) Incremento de la sensibilidad pública hacia los beneficios de la CAUC, lo cual significa apertura al público de los proyectos de demostración
- 4) Cooperación cercana a nivel internacional e intercambio de conocimiento

Este acercamiento sectorial europeo se traduce en España en su propia hoja de ruta.

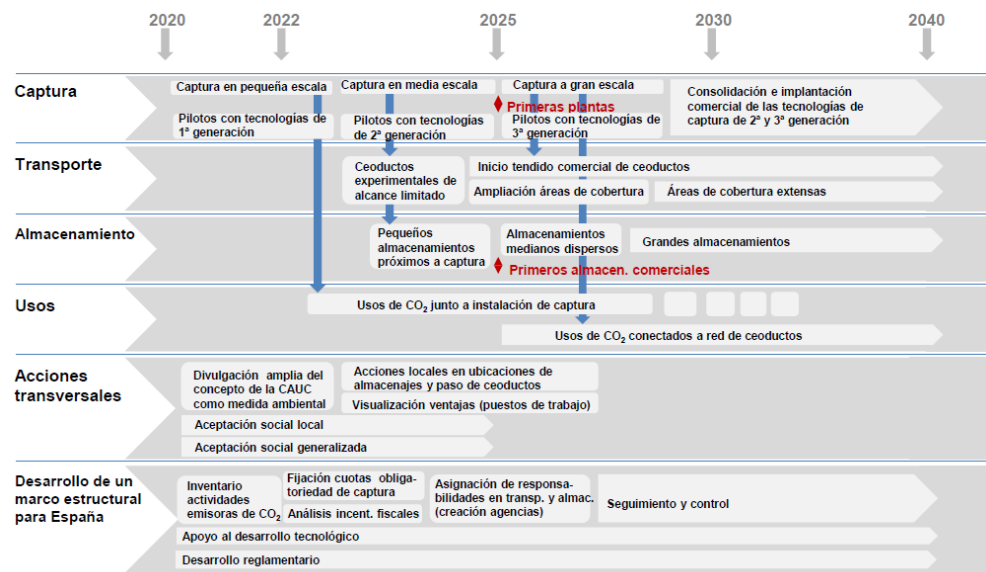


Figura 14. Hoja de ruta española para el impulso a las tecnologías CAUC (Fuente PTCO2)

Dicha hoja de ruta se ha diseñado teniendo en cuenta los cuatro subsectores:

- En captura, se quiere progresivamente ir alcanzando mayores escalas de aplicación a la vez que se van probando y se va avanzando en las tecnologías de 1ª, 2ª y 3ª generación.
- En transporte, se comenzaría con unos ceoductos experimentales de alcance limitados para ir ampliando paulatinamente hacia áreas de cobertura más extensas.
- En paralelo, el almacenamiento se plantea como pequeños almacenamientos próximos a la captura, para ir completándose con almacenamientos de tamaño medio dispersos y finalmente grandes almacenamientos.
- Con el desarrollo de la captura a pequeña escala se inicia también todo el recorrido de desarrollo de las tecnologías de usos, que finalmente también enlazan con la disponibilidad de CO₂ a pie de los almacenamientos previstos.

En paralelo a toda esta acción sub sectorial, de gran contenido tecnológico, se fijan **acciones transversales** conducentes a una mayor sensibilidad social hacia el papel y los beneficios de aplicación de las tecnologías CAUC.

Se considera que el modelo de negocio más efectivo es el mixto (público-privado): la captura y los usos pueden dejarse a la iniciativa privada, mientras que el transporte y el almacenamiento necesitan de un plan de gestión país.

3.1. Iniciativas Tecnológicas Prioritarias ITPs en tecnologías CAUC

La PTECO2 ha realizado un análisis exhaustivo de las posibilidades de la tecnología española y, de acuerdo con sus fortalezas, conocimiento y posición diferencial, ha definido un documento específico de iniciativas tecnológicas prioritarias en CAUC.

Subsectores identificados en Captura de CO₂

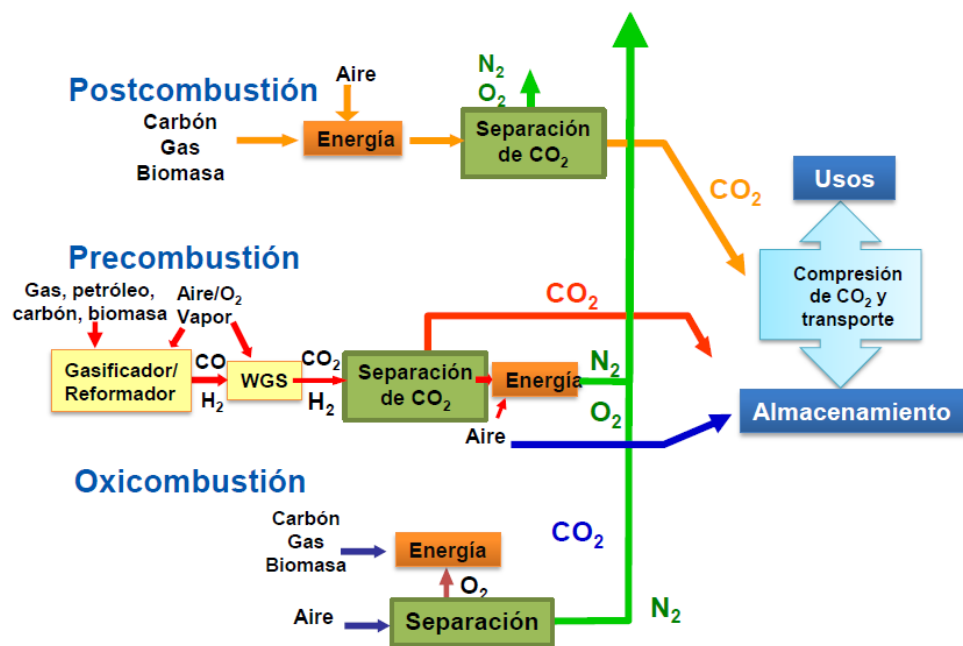


Figura 15. Esquema simplificado de procesos para discriminar áreas tecnológicas CAUC (Fuente PTECO2)

Se han identificado hasta nueve ITPs en los diferentes subsectores, salvo en el de transporte. En este último, toda la tecnología no convencional a aplicar vendrá mayoritariamente de fuera. La PTECO2 considera que las nueve ITPs son oportunidades de país que requieren de un apoyo decidido. Las ITPs propuestas son las siguientes:

Captura de CO₂:

- Calcinación-carbonatación (*calcium looping*)
- Combustión con transportadores sólidos de oxígeno (*chemical looping*)

Almacenamiento de CO₂:

- Nuevas herramientas y aplicaciones técnicas geofísicas de exploración
- Tecnologías de perforación e inyección
- Análisis de riesgos de proyectos de almacenamiento

Usos y transformación del CO₂:

- Tecnologías de mineralización
- Producción de fertilizantes
- Metanol para empleo en mezclas con gasolina u otros combustibles
- Producción de polímeros

En todas estas líneas de proyectos España tiene centros, empresas y proyectos de referencia europea.

A continuación, se presenta una síntesis de cada una de estas ITPs, mencionando la ventaja competitiva de España, las barreras y oportunidades identificadas, así como los tamaños de los mercados nacional y mundial asociados en dos cortes temporales: hasta el 2020 y en la década 2020-2030.

3.1.1. ITPs EN CAPTURA DE CO2

3.1.1.1. ITP 1: TECNOLOGÍA DE CAPTURA MEDIANTE *CALCIUM LOOPING* (CICLOS DE CALCINACIÓN-CARBONATACIÓN).

Este proceso tiene una ventaja competitiva importante en España, que son los centros de investigación y las líneas abiertas, además de que somos ricos en carbonatos cálcicos minerales. Tenemos materia prima y tenemos tecnología. Se requiere pureza de los carbonatos, así como tener industria capacitada. En España tenemos bastante conocimiento al tener mucho cemento, cal, dolomía, magnesia, etc. y, por tanto, muchos centros de investigación que llevan decenas de años acostumbrados a trabajar con ello.

● **Carbonatación/Calcinación-carbonatación (*calcium looping*)**

- **Descripción:** se utiliza cal para separar el CO₂ a alta temperatura mediante las reacciones reversibles: $CaO+CO_2=CaCO_3$. El óxido de calcio absorbe CO₂ en un reactor de lecho fluidizado y la posterior calcinación del CaCO₃ en una atmósfera rica en O₂ libera CO₂ para su posterior purificación y almacenamiento. Proceso básico para la futura captura del CO₂ de proceso de todas las transformaciones mineralógicas.
- **Ventaja competitiva en España:** la existencia de centros de investigación con líneas abiertas sobre esta opción de captura, así como la experiencia obtenida a través de las plantas pilotos en Asturias y León.
- **Barreras identificadas:** no identificados los tecnólogos nacionales. Falta de continuidad en el desarrollo de iniciativas.
- **Oportunidades identificadas:** 1) participación en proyectos europeos en consorcio con otras empresas de alto nivel. 2) Liderazgo mundial en esta tecnología y posición estratégica. 3) Posibilidad de vinculación con la industria cementera mediante procesos de calcinación-carbonatación.

Tamaño de mercado mundial					Tamaño de mercado en España			
Agregado		Media anual			Agregado		Media anual	
2015-2020	2021-2030	2015-2020	2021-2030		2015-2020	2021-2030	2015-2020	2021-2030
177	2.057	29,5	205,7	CO ₂ gestionado (Mt/año)	2,6	40,5	0,43	4,05
3.618	89.152	603	8.915,2	Mercado (M€)	78	1.703,4	13	170,34
111	410	18,5	41	Coste del CO ₂ (€/t CO ₂)	111	410	18,5	41
		1,0	2,23	% valor capturado por el sector español			5	30

Figura 16. Síntesis Iniciativa Tecnológica Prioritaria (ITP) en CAUC sobre Tecnología de carbonatación/calcinación - carbonatación (Fuente: PTCO2)

España, desde el año 2000, tiene algunas plantas, de entre 500W y 50KW térmicos, que también se han desarrollado para esta investigación, ligadas a varias universidades.

3.1.1.2. ITP 2: COMBUSTIÓN CON TRANSPORTADORES SÓLIDOS DE OXÍGENO (CHEMICAL LOOPING)

● Combustión con transportadores sólidos de oxígeno (*chemical looping*)

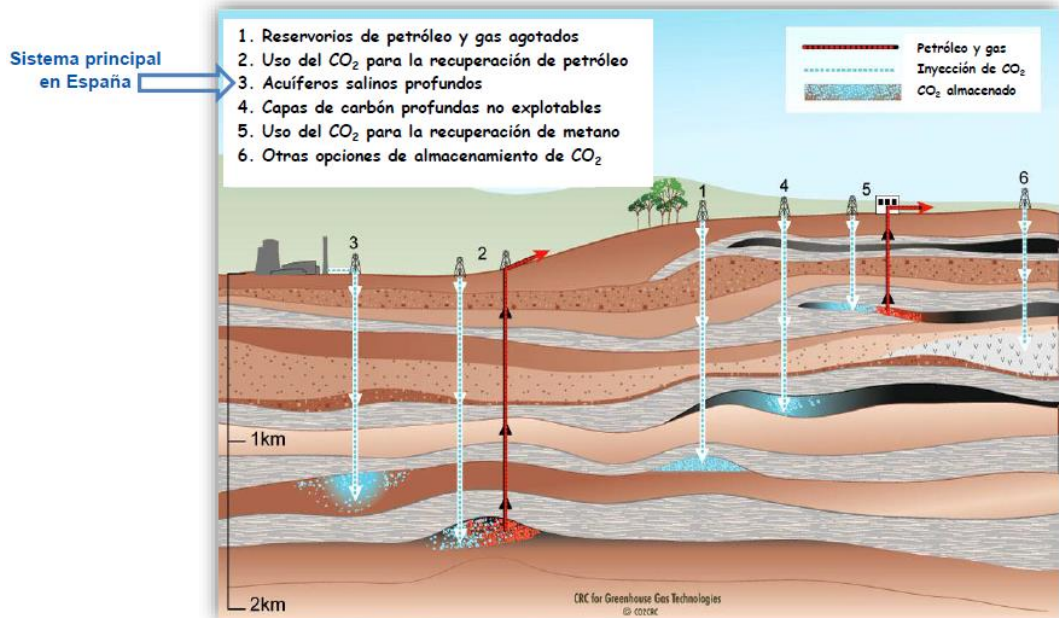
- **Descripción:** la combustión con transporte de oxígeno (CLC), está basado en la transferencia de O₂ al combustible por medio de un transportador, normalmente en forma de óxido metálico, por lo que el N₂ del aire no se mezcla nunca con el combustible.
- **Ventaja competitiva en España:** desde el año 2000, gracias a la experiencia y conocimiento de los centros de investigación, España participa en la mayoría de los principales proyectos europeos que permiten el amplio desarrollo de esta tecnología. Además, se han construido varias plantas de tamaño comprendidos entre 500 Wt y 50 kWt, para el uso de combustibles tanto gaseosos como sólidos. A nivel de empresa, también se está participante en un proyecto europeo que investiga el desarrollo del proceso mediante el uso de lechos fijos alternantes a presión y que finalizará con la construcción de una planta de demostración de escala media (500 kW).
- **Barreras identificadas:** 1) Incremento de grupos competidores fuera de España. 2) Falta de actividad en ciertos sectores industriales.
- **Oportunidades identificadas:** 1) Posibilidad de alcanzar emisiones negativas de CO₂ mediante uso de biomasa en procesos de calcinación-carbonatación y *chemical looping*. 2) Posibilidad de introducción de tecnologías de *chemical looping* en el sector industrial.

Tamaño de mercado mundial				Tamaño de mercado en España			
Agregado		Media anual		Agregado		Media anual	
2015-2020	2021-2030	2015-2020	2021-2030	2015-2020	2021-2030	2015-2020	2021-2030
26	700	4,3	70	1,3	20,2	0,22	2,02
279	30.400	46,5	3.040	39	849,6	6,5	85
111	410	18,5	41	111	410	18,5	41
		1,45	3,3			2,5	15

Figura 17. Síntesis Iniciativa Tecnológica Prioritaria (ITP) en CAUC sobre Tecnología de combustión con transportadores sólidos de oxígeno).

3.1.2. ITPs EN ALMACENAMIENTO DE CO₂

Sistemas de almacenamiento



Fuente: Informe Especial del IPCC sobre Captura y Almacenamiento de CO₂.

Figura 18 Opciones para almacenamiento de CO₂ de larga duración

3.1.2.1. ITP 3: NUEVAS HERRAMIENTAS Y APLICACIONES TÉCNICAS GEOFÍSICAS DE EXPLORACIÓN

España tiene buenas capacidades en las herramientas geofísicas de caracterización de los almacenamientos, y esto se debe a que en España la geofísica se ha desarrollado muchísimo por el conocimiento histórico del subsuelo por la minería. Ha habido proyectos (GESTCO, CASTOR, CO₂SINK, RECOPOL) financiados por el VII Programa Marco que nos han dado unas herramientas y un conocimiento bastante elevados.

El gran obstáculo es que cualquier cosa relacionada con el subsuelo en España da lugar a un cierto rechazo y temor (desde lo ocurrido con el proyecto CASTOR fallido como opción de almacenamiento de gas natural) que dificulta el visto bueno para proyectos de investigación significativos en almacenamiento geofísico de CO₂. La superación de este rechazo social tiene que darse a nivel político y de país.

Preinyección: Nuevas herramientas y aplicaciones de técnicas geofísicas de exploración

- **Descripción:** en esta etapa se procederá a las tareas de selección, caracterización y diseño del almacenamiento. El objetivo de la caracterización es confirmar, afinar y precisar los resultados obtenidos en los estudios de investigación/exploración previos y, más específicamente, proporcionar los datos básicos que permitan garantizar la estanqueidad de la estructura, predecir la movilidad de los fluidos en el almacén, realizar simulaciones de los procesos geoquímicos, que en él se pueden desarrollar, y establecer un programa de seguimiento y monitorización, que permita realizar un análisis de riesgos.
- **Ventaja competitiva en España:** conocimiento adquirido en caracterización de las formaciones profundas con agua salada gracias a los proyectos del Sexto Programa Marco (GESTCO, CASTOR, CO2SINK y RECOPL). Esta línea ha continuado en el Séptimo Programa Marco.
- **Barreras identificadas:** miedo a reemplazar tecnologías maduras por tecnologías con mayor incertidumbre.
- **Oportunidades identificadas:** 1) Mejora tecnológica aplicable a otros sectores de uso del subsuelo. 2) Mayor implicación de las comunidades locales antes tecnologías percibidas como menos agresivas.

Tamaño de mercado mundial					Tamaño de mercado en España			
Agregado		Media anual			Agregado		Media anual	
2015-2020	2021-2030	2015-2020	2021-2030		2015-2020	2021-2030	2015-2020	2021-2030
15	44	2,5	4,4	CO2 gestionado (Mt/año)	7	1,17	0	0
609	1.826	101,5	182,6	Mercado (M€)	238	39,67	NA	NA
270	450	45	45	Coste del CO2 (€/t CO2)	270	45	NA	NA
		0,8	0,8	% valor capturado por el sector español			NA	NA

Figura 19. Síntesis Iniciativa Tecnológica Prioritaria (ITP) sobre Nuevas herramientas y aplicaciones de técnicas geofísicas de explotación aplicables a las CAUC (Fuente: PTCO2)

3.1.2.2. ITP 4: TECNOLOGÍAS DE PERFORACIÓN E INYECCIÓN

Tenemos tecnologías mineras que abaratan muchísimo los costes de perforación a 2.000 metros para el almacenamiento geológico del CO₂. Tenemos experiencia de inyección de gases o fluidos corrosivos que nos permite utilizar yacimientos agotados de gas natural o de hidrocarburos (cuenca del Guadiana, Burgos...) gracias a nuestras tecnologías maduras. El IGME, en un proyecto junto a varios socios privados, ha adaptado sistemas de perforación de investigación, que son más baratos que los de explotación, a estos sistemas de explotación para inyección de CO₂, con lo cual está reduciendo el coste de un pozo de 2.000 metros para estas tecnologías.

● **Inyección: Tecnologías de perforación e inyección**

- **Descripción:** la inyección de fluidos en sondeos profundos es una tecnología muy desarrollada. Existe experiencia en la inyección profunda de acuíferos salados procedentes de campos de petróleo desde inicios del siglo XX, lo que avala el diseño y manejo de sondeos de inyección en ambientes muy corrosivos. Por ello, la tecnología de inyección profunda sólo ha necesitado una adaptación a las condiciones de presión, temperatura y resistencia a la corrosión en las que el CO₂ debe ser inyectado.
- **Ventaja competitiva en España:** existen experiencias de inyección de gases o fluidos corrosivos. A este respecto, se pueden destacar aquellos con inyección y almacenamiento de gas natural en almacenes de hidrocarburos ya agotados, los proyectos en fase avanzada de diseño y desarrollo para almacenamiento de gas (Cádiz y Guadalajara, entre otros) y la inyección de salmueras de rechazo en las explotaciones salinas y en plantas de desalación (Navarra, Alicante y Murcia).
- **Barreras identificadas:** larga tramitación de permisos y falta de información, y también de formación.
- **Oportunidades identificadas:** 1) Experiencias previas en la Planta de Desarrollo Tecnológico de Hontomín. 2) Menor rechazo social que técnicas sísmicas y perforaciones petroleras.

Tamaño de mercado mundial					Tamaño de mercado en España			
Agregado		Media anual			Agregado		Media anual	
2015-2020	2021-2030	2015-2020	2021-2030		2015-2020	2021-2030	2015-2020	2021-2030
487	5,483	81,17	548,3	CO ₂ gestionado (Mt/año)	7	97	1,17	9,7
116	339	19,3	33,9	Mercado (M€)	2	31	0,3	3,1
1,5	0,8	0,25	0,08	Coste del CO ₂ (€/t CO ₂)	0,2	3,1	0,03	0,31
		0,8	0,8	% valor capturado por el sector español			0	7,5

Figura 20. Síntesis Iniciativa Tecnológica Prioritaria (ITP) sobre Tecnologías de perforación e inyección aplicables a las CAUC (Fuente: PTCO₂)

3.1.2.3. ITP 5: ANÁLISIS DE RIESGOS DE PROYECTOS DE ALMACENAMIENTO

España combina la riqueza geológica y unas características geológicas complejas, lo que ha dado lugar que las herramientas de análisis de riesgos en cualquier proyecto minero estén muy desarrolladas.

Postinyección y cierre: Análisis de riesgos de proyectos

- **Descripción:** una vez alcanzado el programa de almacenamiento previsto se procede a su cierre. Según la Ley 40/2010 española, en esta etapa, el propietario de la concesión está obligado a seguir un programa de monitorización, a retirar las instalaciones de superficie y proceder al sellado del almacenamiento de CO₂. Asimismo, el propietario deberá actualizar el plan provisional de gestión posterior al cierre. Esta etapa tendrá una duración no inferior a los 20 años.
- **Ventaja competitiva en España:** fuimos el primer país en transponer la Directiva 2009/31/CE del Parlamento Europeo y del Consejo mediante la aprobación de la Ley 40/2010 de almacenamiento geológico de dióxido de carbono. En esta Ley se especifica todas las obligaciones y derechos de los propietarios de la concesión del almacenamiento.
- **Barreras identificadas:** 1) Umbrales de detección elevados. 2) Problemas en la interpretación de datos en proyectos complejos.
- **Oportunidades identificadas:** 1) Recuperación de pymes dedicadas a la geofísica, perforación, consultoría, etc. 2) Definición de protocolos para control del riesgo.

Tamaño de mercado mundial					Tamaño de mercado en España			
Agregado		Media anual			Agregado		Media anual	
2015-2020	2021-2030	2015-2020	2021-2030		2015-2020	2021-2030	2015-2020	2021-2030
0	0	0	0	CO ₂ gestionado (Mt/año)	0	0	0	0
NA	NA	NA	NA	Mercado (M€)	NA	NA	NA	NA
NA	NA	NA	NA	Coste del CO ₂ (€/t CO ₂)	NA	NA	NA	NA
		NA	NA	% valor capturado por el sector español			NA	NA

Figura 21. Síntesis Iniciativa Tecnológica Prioritaria (ITP) sobre Análisis de riesgos de proyectos de almacenamiento de CO₂ (Fuente: PTCO₂)

3.1.3. ITPs EN USOS Y TRANSFORMACIÓN DE CO2

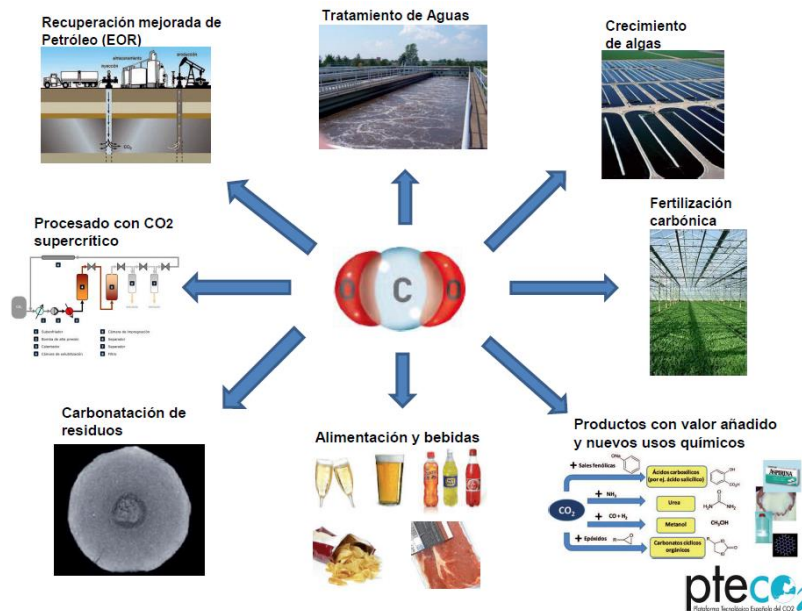


Figura 22. Áreas de aplicación de tecnologías de Uso y Transformación del CO2 (Fuente: PTCO2)

3.1.3.1. ITP 6: TECNOLOGÍAS DE MINERALIZACIÓN.

Una de las claves en usos está en las tecnologías de mineralización para permitir solidificar el CO2 a través de petroquímica. En España hay algunos Institutos, varios de ellos públicos, que tienen proyectos importantes en tecnologías de mineralización.

Tecnologías de mineralización (carbonatación con CO2)

- **Descripción:** La carbonatación acelerada de residuos alcalinos permite capturar el CO2 de emisores industriales y, también, mejorar las propiedades geoquímicas del residuo y transformarlo en un producto.
- **Ventaja competitiva en España:** en nuestro país cabe destacar los trabajos realizados con polvo de cemento de horno y cenizas volantes de incineradora de residuos urbanos en el marco del proyecto CENIT SOST-CO2. En este CENIT se desarrollaron nuevos procesos para usos industriales del CO2.
- **Barreras identificadas:** 1) Gestión ineficiente de la información, falta de intercambio de conocimiento científico entre el sector industrial y académico. 2) Resistencia a la inversión inicial.
- **Oportunidades identificadas:** el desarrollo y mejora de tecnologías relacionadas con el CO2 permitirán abrir nuevos campos de investigación y desarrollo en distritos sectores industriales: materiales, aguas, alimentación, energía, etc.

Tamaño de mercado mundial					Tamaño de mercado en España			
Agregado		Media anual			Agregado		Media anual	
2015-2020	2021-2030	2015-2020	2021-2030	2015-2020	2021-2030	2015-2020	2021-2030	
171	224	28,5	22,4	CO2 gestionado (Mt/año)	6,7	8,2	1,12	0,8
79	423	13,17	42,3	Mercado (M€)	3,1	16,5	0,52	1,65
2	20	0,3	2	Coste del CO2 (€/t CO2)	2	20	0,3	2
		1,5	0,1	% valor capturado por el sector español			71,3	71,3

11

Figura 23. Síntesis Iniciativa Tecnológica Prioritaria (ITP) sobre Uso de CO2 mediante Tecnologías de mineralización. (Fuente: PTCO2)

3.1.3.2. ITP 7: PRODUCCIÓN DE FERTILIZANTES Y OTROS PRODUCTOS,

Producción de fertilizantes

- **Descripción:** Los usos químicos del CO₂ se clasifican por la obtención de productos químicos inorgánicos, orgánicos, combustibles y gas de síntesis. Dentro de los inorgánicos, se encuentran los **carbonatos metálicos** que pueden utilizarse principalmente como fertilizantes.
- **Ventaja competitiva en España:** destaca la actividad desarrollada en el proyecto CENIT-CO₂ sobre la fijación de CO₂ en esponjas de hierro para formar magnetita. En la línea de mejoras de cemento se inscribe el proyecto europeo ECO-CEMENT, que pretende el desarrollo de nuevos cementos incorporando CO₂ en forma de carbonato precipitado por acción bacteriana.
- **Barreras identificadas:** desconocimiento de las posibilidades de la propia tecnología.
- **Oportunidades identificadas:** los usos del CO₂ permiten aprovechar un compuesto a veces considerado residuo como un recurso.

Tamaño de mercado mundial					Tamaño de mercado en España			
Agregado		Media anual			Agregado		Media anual	
2015-2020	2021-2030	2015-2020	2021-2030		2015-2020	2021-2030	2015-2020	2021-2030
692	1.351	115,3	135,1	CO ₂ gestionado (Mt/año)	5,31	10,4	0,89	1,04
328	2.728	54,67	272,8	Mercado (M€)	2,4	21	0,4	2,1
2	20	0,33	2	Coste del CO ₂ (€/ t CO ₂)	2	20	0,33	2
		0,5	0,5	% valor capturado por el sector español			75	75

Figura 24. Síntesis Iniciativa Tecnológica Prioritaria (ITP) sobre Uso de CO₂ en Producción de Fertilizantes y otros Productos. (Fuente: PTCO₂)

3.1.3.3. ITP 8: REDUCCIÓN FOTO CATALÍTICA DE CO₂ PARA PRODUCCIÓN DE METANOL

El objetivo es la producción de metanol para empleo de mezclas con gasolina u otros combustibles y/o la producción de etanol para generar posteriormente óxido de etileno.

Metanol para empleo en mezclas con gasolina u otros combustibles

- **Descripción:** entre las diferentes rutas de usos del CO₂ planteadas se encuentra la producción de combustibles y productos de interés industrial por medio de la **reducción fotocatalítica de CO₂**. En este proceso se produce la reducción del CO₂ y la oxidación de otros compuestos, pudiendo dar lugar a la formación de, entre otros, metanol (CH₃OH) o hidrocarburos que pueden ir desde metano a pequeños compuestos.
- **Ventaja competitiva en España:** durante los últimos años se ha realizado un gran esfuerzo en el diseño y síntesis de nuevos semiconductores basándose en la denominada ingeniería de "bandgap". La utilización de estos semiconductores modificados está siendo uno de los pilares en los que se está centrando la investigación de nuevos materiales para la reducción de CO₂ por vía fotocatalítica.
- **Barreras identificadas:** miedo a reemplazar tecnologías maduras por tecnologías embrionarias o en desarrollo.
- **Oportunidades identificadas:** interés y crecimiento de productos químicos o combustibles, con valor añadidos oportunidades en la química industrial.

Tamaño de mercado mundial					Tamaño de mercado en España			
Agregado		Media anual			Agregado		Media anual	
2015-2020	2021-2030	2015-2020	2021-2030		2015-2020	2021-2030	2015-2020	2021-2030
12	141	2	14,1	CO ₂ gestionado (Mt/año)	0,81	18,5	0,14	1,85
103	3.942	17,17	394,2	Mercado (M€)	7	525,8	1,17	52,6
49	265	8,17	26,5	Coste del CO ₂ (€/ t CO ₂)	52	270	8,67	27
		3,8	7,5	% valor capturado por el sector español			75	75

Figura 25. Síntesis Iniciativa Tecnológica Prioritaria (ITP) sobre Uso de CO₂ en Producción de Fertilizantes y otros Productos. (Fuente: PTCO₂)

3.1.3.4. ITP 9: PRODUCCIÓN DE POLÍMEROS.

El proyecto CENIT-CO2 ensayó la reactividad del CO2 con glicerina para obtener policarbonatos de glicerol, algo que ya se ha trabajado en algunos proyectos internacionales donde hay involucrados centros de investigación españoles.

Producción de polímeros

- **Descripción:** La utilización de CO2 también se destina a la síntesis de nuevos materiales como reactivo en la síntesis de policarbonatos, para el procesado de polímeros o para la formación de materiales donde la molécula de CO2 forma parte de los mismos: **nuevos polímeros**, carbonato cálcico precipitado, etc.
- **Ventaja competitiva en España:** dentro del proyecto CENIT-CO2 se ensayó la reactividad del CO2 con glicerina para obtener carbonatos o policarbonatos de glicerol, una línea que, posteriormente, ha sido utilizada en algunos proyectos internacionales.
- **Barreras identificadas:** dificultad para alcanzar la escala comercial
- **Oportunidades identificadas:** interés en el desarrollo de policarbonatos alifáticos de bajo peso molecular con funcionalidad -OH de aplicación como productos intermedios para la fabricación de poliuretanos.

Tamaño de mercado mundial					Tamaño de mercado en España			
Agregado		Media anual			Agregado		Media anual	
2015-2020	2021-2030	2015-2020	2021-2030		2015-2020	2021-2030	2015-2020	2021-2030
5	20	0,83	2	CO2 gestionado (Mt/año)	0,82	2,55	0,14	0,26
6.830	20.858	1.138,33	2.085,8	Mercado (M€)	911	2.783	91,1	278,3
6.600	11.000	660	1.100	Coste del CO2 (€/t CO2)	6.600	11.000	660	1.100
		0,8	0,8	% valor capturado por el sector español			71,3	71,3

Figura 26. Síntesis Iniciativa Tecnológica Prioritaria (ITP) sobre Uso de CO2 en Producción de Polímeros (Fuente: PTCO2)

4. RESUMEN DE LA EVALUACIÓN DE GEVAL

El ejercicio de subjetividad compartida de las tecnologías CAUC, realizado por el Grupo de Evaluación GEVAL, cuyos resultados detallados se incluyen en el Apéndice I, se resume a continuación.

“Posicionamiento de la tecnología en España”

El 29 % de los participantes en el ejercicio opina que la industria española tiene un amplio e interesante nicho de mercado, en cuanto al diseño y fabricación de los principales componentes que necesita el sector CAUC

En España se ha generado en los últimos 10 años un tejido empresarial que tiene un mercado tecnológico inferior a 100 M€/año, para el que hay más de 10 empresas, que captan la mayoría del mercado interior, confiando el GEVAL en que esta captura se mantenga en el futuro.

Hay unanimidad en que las empresas españolas son capaces de dar respuesta a los desarrollos tecnológicos necesarios, en el corto y medio plazo, para desarrollar y aplicar las tecnologías de Captura, transporte, almacenamiento y Uso del CO₂, no previendo una creación significativa de nuevas empresas ni a corto (2022) ni a medio plazo (2022-2030).

En cuanto a la captura del mercado tecnológico internacional por las empresas españolas, se especulan cuotas menores del 33% a corto plazo y cuotas menores del 10% del mercado internacional a largo plazo (2022-2030), que es muy grande, lo cual no desmerece el alto valor tecnológico y comercial de nuestra industria.

La mayoría del GEVAL opina que la tecnología CAUC merece un mayor apoyo en políticas públicas, a través de proyectos de desarrollo tecnológico de colaboración público-privada a realizar por consorcios de empresas y agentes de I+D.

Al valorar el potencial de las CAUC asociado a una adecuada evolución de sus costes y de la superación de barreras identificadas, la mayoría del GEVAL le asigna un mercado de entre 10 y 500 M€/año tanto a corto plazo como a medio plazo. Aunque, en opinión de GEVAL el desarrollo del mercado de CAUC va a depender del precio de la tonelada del CO₂ en los mercados de emisiones. En opinión de PTECO₂: también va a depender del ritmo de sustitución de las tecnologías que emiten GEI y de la capacidad de adaptación del sistema a las energías renovables y electrificación de la sociedad manteniendo la gestionabilidad y seguridad de suministro al eliminar los fósiles.

El mercado tecnológico de mayor interés para la industria española se localiza principalmente en Europa y, como mercados secundarios en América del Norte, Oriente Medio y Latinoamérica tanto a corto (2022) como a medio plazo (2022-2030), siendo también estas regiones las preferentes para crear alianzas estratégicas con sus países para conseguir el mercado previsto y llevar a cabo la innovación necesaria

“Valor intrínseco de la tecnología”

Con reservas sobre la evolución de la CAUC en nuestro país, el GEVAL considera que esta área tecnológica merece concentrar un mayor esfuerzo inversor y el apoyo de otras políticas y generación de normativa e instrumentos para que nuestro país consiga una ventaja competitiva. Una mayoría del GEVAL (53%) considera que dicha área tecnología debe tener más recursos públicos para la innovación que otras, considerando la capacidad de arrastre industrial de las CAUC, para entrar en el mercado lo antes posible.

Hay unanimidad en considerar la aceptación social como un reto importante para el sector de Captura y Almacenamiento de CO₂, considerándose que debe trabajarse más para su superación. Para intentar mejora esta aceptación se confía a partes iguales en la información al público y en el desarrollo normativa y legislación.

PTCO₂ ha identificado las barreras regulatorias a reformar para mejorar la implantación industrial, aunque GEVAL no considera factible que la reforma se realice a corto plazo.

La Plataforma Tecnológica tiene, asimismo, clara y bien definida su estrategia tecnológica, particularmente los proyectos de demostración necesarios, para los que se solicita una estrategia nacional que combine capacidades nacionales de I+D+i y financiación adecuada, aunque no existe un estudio de financiación detallado.

“Base de I+D+i en España”

España tiene una base sólida de investigación en tecnologías CAUC, competitiva a nivel internacional, para asegurar niveles de eficiencia y eficacia en la consecución de los objetivos estratégicos, materializada en centros de investigación, grupos universitarios y empresas, así como en relevantes infraestructuras de I+D, que requiere apoyos especiales para mantenerla.

El sistema de I+D en CAUC aun no recoge adecuadamente las áreas de homologación y certificación necesarias, siendo necesario el desarrollo de estos instrumentos para facilitar el despliegue de las tecnologías CAUC.

En cuanto a la organización de la I+D+i en CAUC, el GEVAL considera que el apoyo público recibido para el desarrollo del sector es de carácter general y que estaría justificado crear líneas de priorización entorno a las CAUC.

En general, la valoración internacional de los centros de I+D españoles en CAUC, y de sus proyectos, es alta.

“Penetración de la tecnología en el mercado”

El GEVAL considera, mayoritariamente, que la capacidad de transferencia de conocimiento desde la ciencia a la tecnología y al mercado es aceptable, aunque se requerirá un largo periodo y una planificación estratégica persistente para la penetración de los nuevos desarrollos tecnológicos en el mercado.

PTCO2 ha definido, a requerimiento de ALINNE, con rigor, nueve (9) Iniciativas Tecnológicas Prioritarias (ITPs), aunque aún esta sin detallar, por su dificultad, el mecanismo financiero para llevarlas a cabo. Por otro lado, GEVAL considera mayoritariamente (87%) que sería útil para acelerar la entrada en el mercado de las CAUN el que la Administración definiera líneas prioritarias y propuestas de financiación específicas para las mismas.

Finalmente, se considera que la tecnología de Captura, Transporte, Almacenamiento y/o Uso del CO2 es clave para la transición energética, otorgándole un papel de apoyo coyuntural a la misma.

4.1. Conclusiones del GEVAL

Sin olvidar las incertidumbres que pesan sobre las tecnologías de Captura y Almacenamiento de CO2, estas, junto a las de Uso de CO2 se presentan como una opción tecnológica necesaria para que amplios sectores energéticos e industriales puedan cumplir con los requisitos de emisiones impuestos por los objetivos del cambio climático, especialmente durante el proceso de transición hacia una economía descarbonizada. Las tecnologías CAUC ofrecen soluciones de mitigación en sectores que aun necesitan combustibles fósiles en tanto se mantenga su presencia en el mercado.

El GEVAL dispuso de una información muy completa del sector para realizar su evaluación, y llegó a las siguientes conclusiones.

En términos de economía y creación de empleo, el PIB aportado por estas tecnologías comenzará a dejarse sentir de manera relevante en la próxima década en niveles en su conjunto cercanos a los 1.800 millones de euros anuales. Se espera en dicha década generar, con el desarrollo e implantación de estas tecnologías, un nivel de 8.000 a 12.000 empleos anuales directos y entre 6.000 y 12.000 empleos indirectos.

El transporte y el almacenamiento del CO₂ son muy conocidos y la viabilidad del almacenamiento geológico permanente de CO2 queda avalada por las experiencias de más de 40 años en aplicaciones afines, tanto para almacenamientos estratégicos como para recuperación de fracciones residuales de gas y petróleo (EEUU y Noruega).

Por otra parte, las tecnologías de Uso del CO2 se perfilan como una opción de generar emisiones negativas de CO2 al mismo tiempo que se contribuye al desarrollo socioeconómico, (por ejemplo, mediante la producción de H2, etc.)

El sector CAUC dispone de capacidades diversas de investigación y desarrollo en función de la aplicación tecnológica buscada (captura, almacenamiento, uso de CO2).

La I+D+i del conjunto de los sectores CAUC recibe unos 125 M€/año mantiene una amplia colaboración internacional y goza de una buena coordinación nacional, gracias a las iniciativas de la Plataforma Tecnológica PTCO2. Esta plataforma tiene bien definida su estrategia tecnológica para satisfacer las necesidades de nuestro país, y ha seleccionado unas Iniciativas Tecnológicas Prioritarias, cuya realización tiene un alto interés para la economía y el bienestar del país, colaborando a crear tejido industrial de alta tecnología.

Para las tecnologías de captura y almacenamiento los retos importantes del sector están, por un lado, en la reducción de costes para acercarse a la competitividad en los mercados de derechos de emisión (con cifras de 23 €/tCO₂ en febrero de 2019) y por otro lado en conseguir la aceptación social y el impulso decidido de las administraciones.

El sector CAUC ha identificado las barreras principales para su desarrollo tecnológico, que incluyen:

- Aceptación social
- Incertidumbre sobre las políticas que conducirán a la descarbonización de la economía
- Costes para optimizar
- Financiación de proyectos de I+D
- Formación y relevo generacional

Ha propuesto, asimismo, posibles soluciones a las barreras anteriores basadas en sus argumentos de valor:

1. Los **objetivos del cambio climático de París no pueden ser alcanzado sin CAUC.**
2. La CAUC es la **única tecnología limpia capaz de descarbonizar las principales industrias.**
3. Las tecnologías CAUC son el **camino hacia una nueva economía de la energía** que apueste por la producción de hidrógeno, por la Bioenergía con CAUC, Captura directa en aire y valorización del carbono con aplicaciones de reutilización de CO₂.
4. Las tecnologías CAUC **contribuyen a la creación de empleos y al sostenimiento de comunidades**
5. Hay una **abundante capacidad de almacenamiento** para apoyar un desarrollo amplio de instalaciones de almacenamiento de CO₂
6. Los **costes de CAUC son razonables y continúan disminuyendo** a medida que se comercializan más instalaciones.
7. Las **CAUC han estado trabajando de forma segura y eficiente durante 45 años.**

5. REFERENCIAS Y CONTRIBUCIONES

5.1. Contribuciones y Expertos Participantes

Redactor(es) del Anexo:

Felix M. Tellez
Javier Alonso

Contribución/Revisión desde la PTE CEIDEN:

Pedro Mora, Francisco García, Víctor de la Peña y Rosa Alonso

Otros Revisores del Anexo:

Jose Maria Sánchez

Miembros de GEVAL-ALINNE que han participado en el ejercicio de análisis de este ANEXO:

Marta Llinás (ACS), Ramón Gavela (ALINNE), Enrique Soria (ALINNE), Luisa Revilla (CDTI), Mercedes Ballesteros (CIEMAT), Nely Carreras (CIEMAT), Ignacio Cruz (CIEMAT), José Antonio Ferrer (CIEMAT), Félix Téllez (CIEMAT), José M^a Sánchez (CIEMAT), Alfonso Vidal (CIEMAT), Miguel Ángel Bañares (CSIC), Juan Avellaner (EYDESA), Diego García (IMDEA Energía), Lourdes Armesto (M^o Ciencia, Innovación y Universidades), Ana Lancha, (M^o Ciencia, Innovación y Universidades), Lorena Prado (M^o Transición Energética), Ingvar Hallste (Naturgy), Antonio Rodríguez (Red SUMAS México).

Secretaría Técnica de ALINNE:

Felix Tellez (ALINNE / CIEMAT)
Jorge de Berenguer (ALINNE)

5.2. Agradecimientos

Las actividades de ALINNE cuentan con **patrocinio público y privado**. Desde el sector público colaboran: **CIEMAT, CRUE, CSIC, IDAE, M^o de Ciencia, Innovación y Universidades (Agencia Estatal de Investigación, Dirección General de Política de la I+D+i y Dirección General de Industria y de la PYME), M^o para la Transición Ecológica (Subdirección General de Eficiencia Energética y Oficina Española de Cambio Climático) y la Universidad de Zaragoza**. Desde el sector privado se cuenta con la participación de ocho empresas: **ACS-SCE; ALBUFERA ENERGY STORAGE; ESTEYCO; GEOTER; IBERDROLA; NATURGY; REE y SIEMENS-GAMESA**.

Actualmente, estas actividades cuentan, además, con la financiación pública del proyecto “**Red de Excelencia ENE2017-90816-REDE**”

5.3. Referencias Bibliográficas

- [1]. IEA GREENHOUSE GAS R&D PROGRAMME (<https://ieaghg.org/education/116-news/newsflash/900-ieaghg-r-and-d-programme>)
- [2]. IPCC 2018: “Global Warming of 1,5 °C”. (https://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf)
- [3]. The Global Status of CCS 2018. Global CCS institute. <https://www.globalccsinstitute.com/resources/global-status-report/>
- [4]. Agencia Internacional de la Energía – Captura Almacenamiento y Utilización de CO₂. [https://www.iea.org/topics/carbon-capture-and-storage/.....Novel carbon capture and utilization. Scientific Advice Mechanism \(SAM\) Group of Chief Scientific Advisors Scientific Opinion 4/2018. Research and Innovation technologies. \[https://ec.europa.eu/research/sam/pdf/sam_ccu_report.pdf\]\(https://ec.europa.eu/research/sam/pdf/sam_ccu_report.pdf\)](https://www.iea.org/topics/carbon-capture-and-storage/.....Novel%20carbon%20capture%20and%20utilization.%20Scientific%20Advice%20Mechanism%20(SAM)%20Group%20of%20Chief%20Scientific%20Advisors%20Scientific%20Opinion%204/2018.%20Research%20and%20Innovation%20technologies.%20https://ec.europa.eu/research/sam/pdf/sam_ccu_report.pdf)
- [5]. Agrupación de fabricantes de cemento de España 2017. “Estado del arte de las tecnologías de captura y almacenamiento de CO₂ en la industria del cemento”
- [6]. CREARA-CIEMAT. 2017 indicadores de caracterización de las tecnologías energéticas españolas (documento interno ALINNE).

5.4. Abreviaturas

GEI	Gases de Efecto Invernadero
ALINNE	Alianza por la Investigación y la Innovación Energéticas
APDTE	Análisis del Potencial de Desarrollo de Tecnologías Energéticas
NDC	National Declared Contributions
CAUC	Captura, Almacenamiento y Uso de CO ₂
BECAUC	Bioenergía con Captura, Almacenamiento y Uso de CO ₂
IGME	Instituto Geológico y Minero de España
CIUDEN	Fundación Ciudad de la Energía
DAC	Captura directa en CO ₂ aire
C2V	valorización del carbono (CO ₂)

5.5. Apéndices

- Apéndice I: Datos Indicadores de Captura (a), Almacenamiento (b), Transporte (c) y Usos (d) de CO₂ aportados por PTE CO₂
- Apéndice II Presentación de la PTE CO₂
- Apéndice III Resultados del ejercicio de subjetividad compartida de GEVAL-PTCO₂

Historial de Cambios

(Este historial solo aparecerá en el Borrador)

Version	Fecha	Modificado por	Cambio realizado
0	14/12/18	ALINNE (FT)	Plantilla y propuesta contenidos del Anexo
1	30/01/19	Javier Alonso	Borrador Anexo Completo
1.1	6/02/19	ALINNE (FT)	Puesta en formato comun de Anexos.
1.2	6/02/19	ALINNE (FT)	Reordenamiento de la informacion según indice comun de los anexos. Complementos de informacion a partir de las hojas de datos y comentarios suministrados por PTCO2. Pies de figuras y tablas, formato y primera revision/edicion.
1.3	20/6/2019	ALINNE (FT)	Actualización "Contexto y Metodología"