



Consenso Científico sobre Captura y Almacenamiento de CO₂

Fuente:
IPCC (2005)

Resumen & Detalles:
GreenFacts

Nivel 2 - Detalles sobre Captura y Almacenamiento de CO₂

- 1. **¿Qué es la captura y almacenamiento de dióxido de carbono?.....3**
 - 1.1 ¿Qué es la captura y almacenamiento de CO₂ y cuáles pueden ser sus aplicaciones?.....3
 - 1.2 ¿Qué papel puede tener la captura y almacenamiento de CO₂ en la lucha contra el cambio climático?.....3
- 2. **¿Que fuentes de emisión de CO2 pueden ser capturadas y almacenadas?.....4**
 - 2.1 ¿Qué características tienen las fuentes de emisión adecuadas para la CAC?.....4
 - 2.2 ¿En qué medida pueden capturarse las futuras emisiones de CO₂?.....5
- 3. **¿Cómo puede capturarse el CO2?.....5**
 - 3.1 ¿Qué tecnologías de captura están disponibles en la actualidad?.....5
 - 3.2 ¿Cuáles son los costes de la captura de CO₂?.....6
- 4. **¿ Cómo puede transportarse el CO₂ una vez capturado?.....7**
 - 4.1 ¿Qué métodos existen para transportar el CO₂?.....7
 - 4.2 ¿Cuanto cuesta el transporte del CO₂?.....7
- 5. **¿Cómo puede almacenarse el CO₂ bajo tierra?.....8**
 - 5.1 ¿Cuáles son las posibilidades de almacenamiento geológico?.....8
 - 5.2 ¿Cuánto cuesta el almacenamiento geológico?.....9
- 6. **¿Podría almacenarse el CO₂ en las profundidades del océano?.....9**
 - 6.1 ¿Cuáles son los métodos de almacenamiento oceánico?.....9
 - 6.2 ¿Cuáles son los posibles costes e impactos del almacenamiento oceánico?.....10
- 7. **¿Cómo puede el CO₂ almacenarse en otros materiales?.....11**
 - 7.1 ¿Puede el CO₂ ser transformado y almacenado en una forma sólida?.....11
 - 7.2 ¿Cuáles son los usos industriales del CO₂ y pueden estos reducir las emisiones de CO₂?.....11
- 8. **¿Cuál es la rentabilidad de las distintas opciones de captura y almacenamiento de CO₂?.....11**
- 9. **¿Cómo puede cuantificarse la reducción de las emisiones?.....12**
- 10. **Conclusión: el futuro de la captura y almacenamiento de CO₂.13**
 - 10.1 ¿Qué vacíos de conocimiento siguen existiendo?.....13
 - 10.2 ¿En qué medida la CAC podría contribuir a la lucha contra el cambio climático?.....14

Este Dossier es un resumen fiel del destacado informe de consenso científico publicado en 2005 por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC): *"Informe especial sobre la captura y almacenamiento de dióxido de carbono: resumen técnico"*

El Dossier completo se encuentra disponible en: <https://www.greenfacts.org/es/captura-almacenamiento-co2/>



Este documento pdf corresponde al Nivel 2 de un Dossier de GreenFacts. Los Dossiers de GreenFacts, articulados en torno a preguntas y respuestas, se publican en varios idiomas y en un formato exclusivo de fácil lectura con tres niveles de complejidad creciente.

- El Nivel 1 responde a las preguntas de forma concisa.
- El Nivel 2 profundiza un poco más en las respuestas.
- El Nivel 3 reproduce la fuente original, un informe de consenso científico internacional resumido por GreenFacts en los niveles 1 y 2.

Todos los Dossiers de GreenFacts en español están disponibles en: <http://www.greenfacts.org/es/>

1. ¿Qué es la captura y almacenamiento de dióxido de carbono?

1.1 ¿Qué es la captura y almacenamiento de CO₂ y cuáles pueden ser sus aplicaciones?

El dióxido de carbono (CO₂) es un gas de efecto invernadero que se encuentra de forma natural en la atmósfera. Las actividades humanas están aumentando la concentración atmosférica de CO₂ y de esta manera contribuyen al calentamiento global del planeta. Las emisiones de CO₂ se producen cuando se quema combustible, ya sea en grandes centrales eléctricas, en motores de automóviles, o en sistemas de calefacción. También pueden producirse emisiones mediante otros procesos industriales, por ejemplo cuando se extraen y se procesan los recursos o cuando se queman los bosques.



La captura y almacenamiento de dióxido de carbono (CAC) es una de las técnicas que podrían utilizarse para reducir las emisiones de CO₂ provocadas por las actividades humanas. Esta técnica podría aplicarse para aquellas emisiones que provengan de grandes centrales eléctricas o plantas industriales.

El proceso consiste en tres etapas principales:

1. Capturar el CO₂ en su fuente, separándolo de los otros gases que se generan en los procesos industriales.
2. Transportar el CO₂ capturado a un lugar de almacenamiento apropiado (normalmente de forma comprimida).
3. Almacenar el CO₂ fuera de la atmósfera durante un largo periodo de tiempo, por ejemplo en formaciones geológicas subterráneas, en las profundidades oceánicas o dentro de ciertos compuestos minerales.

Algunas de las tecnologías que se requieren para este proceso están más avanzadas que otras. A mediados del año 2005 ya se habían desarrollado tres proyectos comerciales en los que el CO₂ capturado se almacena en formaciones geológicas subterráneas, en el marco de proyectos de extracción o procesamiento de gas y petróleo.

1.2 ¿Qué papel puede tener la captura y almacenamiento de CO₂ en la lucha contra el cambio climático?

La mayoría de escenarios relativos al consumo energético mundial, pronostican un aumento substancial de las emisiones de CO₂ a lo largo de este siglo de no tomarse medidas específicas para mitigar el cambio climático. También prevén que el abastecimiento de energía primaria seguirá siendo dominado por los combustibles fósiles, por lo menos hasta mediados de este siglo.

Por tanto, las técnicas para capturar y almacenar el CO₂ producido podrían, en combinación con otras opciones tecnológicas, desempeñar un papel importante en la lucha contra el cambio climático.

Sin embargo, ninguna opción tecnológica podrá, por sí sola, permitir toda la reducción de las emisiones necesaria para estabilizar la concentración atmosférica de gases de efecto

invernadero a un nivel suficiente para prevenir interferencias peligrosas con el sistema climático.

Existen otras opciones tecnológicas para estabilizar la concentración atmosférica de los gases de efecto invernadero que consisten en:

- reducir la demanda energética mediante el aumento de la eficiencia energética,
- pasar a utilizar combustibles que requieran menos cantidades de carbono (por ejemplo, pasando del carbón al gas natural),
- aumentar el uso de las fuentes de energías renovables y/o de la energía nuclear (cada una de las cuales emiten, a fin de cuentas, muy poco o nada de CO₂),
- fomentar los sumideros naturales de carbono (como los bosques), y,
- reducir gases de efecto invernadero aparte del CO₂ (como el metano).

La captura y almacenamiento de CO₂ sería una opción para los países desarrollados que necesitan reducir sus emisiones de CO₂ y que tienen importantes fuentes de CO₂ propicias a ser capturadas, acceso a los lugares de almacenamiento y experiencia con el tratamiento del gas y del petróleo. Sin embargo, existen muchas barreras para su expansión en dichos países. Por tanto, la creación de condiciones que faciliten la difusión de esta tecnología en los países en vías de desarrollo resultaría esencial para que la técnica de CAC se adopte a nivel mundial.

2. ¿Que fuentes de emisión de CO2 pueden ser capturadas y almacenadas?

2.1 ¿Qué características tienen las fuentes de emisión adecuadas para la CAC?

Varios factores determinan si la captura de dióxido de carbono es una opción viable para una determinada fuente de emisión:

- su talla
- si es fija o móvil,
- su proximidad con potenciales lugares de almacenamiento, y
- el grado de concentración de sus emisiones de CO₂.

El CO₂ podría capturarse de fuentes de emisión fijas de gran envergadura, como las centrales eléctricas o las plantas industriales. De encontrarse cerca de lugares de almacenamiento potenciales, por ejemplo de formaciones geológicas adaptadas, estas infraestructuras podrían ser elegidas para la temprana implementación de la captura y almacenamiento de CO₂ (CAC).

A estas alturas, todavía no se consideran las fuentes de emisión pequeñas o móviles, ya sea en hogares, comercios o medios de transporte, porque todavía no son adecuadas para la captura y almacenamiento.

En el año 2000, cerca del 60% de las emisiones de CO₂ derivadas del uso de los combustibles fósiles fueron producidas por fuentes de emisión fijas y de gran envergadura, como centrales eléctricas, plantas de extracción de petróleo y gas o industrias de tratamiento (Ver Tabla TS.2 [en] [véase el anexo 10, pág. 21] para más detalles).



La central de carbón de Gibson, un buen ejemplo de gran fuente fija. Fuente: John Blair, valleywatch.net [véase <http://valleywatch.net>]



Repartición mundial de las grandes fuentes de CO₂ [en] [véase el anexo 8, pág. 20]



Posibles lugares de almacenamiento [en] [véase el anexo 8, pág. 20]

Cuatro grandes núcleos de emisiones procedentes de tales fuentes fijas son: la región central y el Este de los E.E.U.U., la región noroeste de Europa, la costa este de China y el subcontinente indio (ver figura TS.2 [en] [véase el anexo 10, pág. 21]).

Las instalaciones de transformación de biomasa a gran escala, por ejemplo para la producción de bio-etanol, también generan emisiones con un alto contenido de CO₂. Pese a que estas instalaciones son mucho más pequeñas y escasas, también podrían adecuarse a la captura y almacenamiento de CO₂.

Muchas fuentes fijas de emisión se encuentran justo encima, o a una distancia razonable (menos de 300 km), de potenciales áreas de almacenamiento geológico (ver figuras TS. 2a/2b [en] [véase el anexo 8, pág. 20])

2.2 ¿En qué medida pueden capturarse las futuras emisiones de CO₂?

Si consideramos los diferentes escenarios de emisión, se prevé una captura potencial del 9-12% de las emisiones globales de CO₂ para 2020, y del 21-45% para 2050.

Además, en unas cuantas décadas, los **vectores energéticos** como la electricidad o el hidrógeno, cuyo uso no emite carbono, podrían empezar a remplazar los combustibles fósiles utilizados en la actualidad por las pequeñas fuentes de emisión no centralizadas en hogares, negocios o transportes.

Estos vectores energéticos podrían producirse a partir de combustibles fósiles y/o de biomasa en grandes plantas centralizadas que generarían amplias fuentes de CO₂ adaptadas a la captura de dióxido de carbono. Tales aplicaciones podrían reducir las emisiones diseminadas de CO₂ provenientes del transporte y de los sistemas de suministro de energía no centralizados, aumentando el potencial de captura y almacenamiento de dióxido de carbono (CAC).

3. ¿Cómo puede capturarse el CO₂?

3.1 ¿Qué tecnologías de captura están disponibles en la actualidad?

Para capturar el dióxido de carbono (CO₂) primero debe separarse de los demás gases resultantes de la combustión o del tratamiento. Luego se comprime y se purifica para facilitar su transporte y almacenamiento.

Cada uno de los tres sistemas siguientes permite capturar el dióxido de carbono resultante de la combustión, especialmente en el sector eléctrico:



Sistema	Avance	Importe neto de CO ₂ "evitado"
Post-combustión	Uso comercial hace décadas en otras aplicaciones relacionadas	80-90%
Pre-combustión		
Oxicombustión	Fase de demostración	90%

En los sistemas de **post-combustión**, los gases resultantes de la combustión del carburante en el aire (gases de combustión) tan sólo contienen pequeñas fracciones de CO₂. Éste se

captura por la inyección de los gases de combustión en un líquido que absorbe únicamente el CO₂ (como un solvente orgánico enfriado o comprimido). El CO₂ casi puro puede entonces ser liberado del líquido, al calentarlo o liberar la presión. Ya se están utilizando similares procesos de separación a gran escala para eliminar el CO₂ del gas natural

En los sistemas de **pre-combustión**, el combustible primario se transforma primero en gas mediante su calentamiento con vapor y aire u oxígeno. Esta transformación produce un gas compuesto esencialmente de hidrógeno y de CO₂, que pueden ser fácilmente separados. El hidrógeno puede entonces utilizarse para la producción de energía o calefacción.

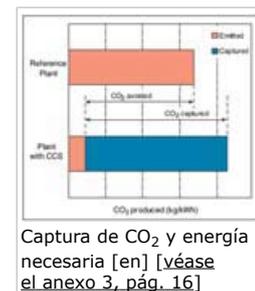
La **oxicombustión** utiliza el oxígeno puro para quemar el combustible en lugar de utilizar el aire, que únicamente contiene 20% del oxígeno y mucho nitrógeno. Su resultante es un gas mixto compuesto esencialmente de vapor de agua y de CO₂. El vapor de agua puede separarse fácilmente del CO₂ mediante el enfriamiento y la comprensión del flujo de gas. Sin embargo, al requerir una separación previa del oxígeno y del aire, este proceso resulta bastante complicado.

Ya se están utilizando sistemas de captura similares en varios procesos industriales, como la producción de hidrógeno o de urea y la gasificación del carbón.

3.2 ¿Cuáles son los costes de la captura de CO₂?

Los sistemas de captura reducen en un 80 o 90% las emisiones de CO₂ procedentes de centrales de combustión. Estos datos tienen en cuenta el consumo energético adicional que requieren los sistemas de captura (véase figura TS. 11).

Para las nuevas centrales eléctricas que funcionan con combustibles fósiles, la captura del CO₂ podría aumentar los costes de **producción de electricidad** en un 35 a 85% dependiendo de las diferentes posibilidades de diseño, operación y financiación de la central. Esto representa 0.01 a 0.03 US \$ por kWh de electricidad producida.



 	Costes en US \$/kWh
Nuevas centrales de combustibles fósiles sin captura	0.03 – 0.06
Nuevas centrales de combustibles fósiles con captura	0.04 – 0.09
Captura por sí sola.	0.01 – 0.03

Los costes de captura también pueden expresarse en dólares por tonelada neta de CO₂ capturado. Este coste unitario varía significativamente dependiendo de los diferentes tipos de plantas de combustión y de procesos industriales. Por norma general, dicho coste es menor cuando se produce una corriente de CO₂ relativamente pura, como ocurre en el tratamiento del gas natural y en la producción de hidrógeno o amoníaco.

4. ¿Cómo puede transportarse el CO₂ una vez capturado?

4.1 ¿Qué métodos existen para transportar el CO₂?

Salvo cuando la fuente de emisión se localice directamente encima del lugar de almacenamiento, el CO₂ deberá ser transportado. Existen varios modos de realizar este transporte.

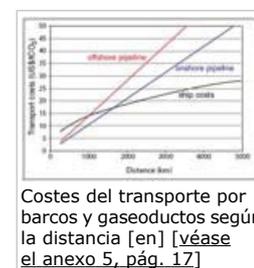
Las corrientes concentradas de CO₂ pueden transportarse de forma segura a través de **gasoductos** de alta presión. Dichos gasoductos llevan siendo utilizados en EEUU desde el inicio de los años 1970, para la recuperación asistida de petróleo (R.A.P) y actualmente, constituyen el principal método para transportar el CO₂. Experiencias realizadas en las pasadas décadas han demostrado la escasez de accidentes y de riesgos asociados con gasoductos convenientemente diseñados.

El CO₂ también puede transportarse como líquido, en barcos parecidos a los que transportan el Gas Licuado del Petróleo (GLP).

Técnicamente, el CO₂ en su forma líquida también puede ser transportado en camiones o vagones cisterna a través de tanques aislados a baja temperatura y a una presión mucho más baja que en los gaseoductos. Ahora bien, esta opción no es rentable para el transporte de grandes cantidades de CO₂.

4.2 ¿Cuanto cuesta el transporte del CO₂?

El coste del transporte de CO₂, ya sea por vía marítima o por gasoductos, depende de la distancia y de la cantidad transportada. En el caso de los gasoductos, los costes son mayores cuando son submarinos o cuando crucen zonas de fuerte densidad de población, montañas o ríos. Las fluctuaciones del precio del acero también tendrían un impacto sobre los costes del transporte por gasoducto. Para una distancia de 250 km, los costes estimados para el transporte por gasoducto oscilan entre 1 y 8 dólares por cada tonelada de CO₂.



Costes del transporte por barcos y gaseoductos según la distancia [en] [véase el anexo 5, pág. 17]

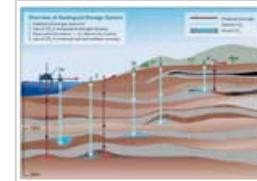
En cuanto al transporte por vía marítima, los costes dependen de las características del barco como por ejemplo, del volumen de la cisterna. Cuando el transporte por vía marítima es posible, es normalmente más económico que el transporte por gasoducto, para distancias superiores a los 1.000 km y para cantidades de CO₂ inferiores a unos cuantos millones de toneladas por año (ver Figura TS.6 [en] [véase el anexo 5, pág. 17]).

5. ¿Cómo puede almacenarse el CO₂ bajo tierra?

5.1 ¿Cuáles son las posibilidades de almacenamiento geológico?

5.1.1 Las formaciones geológicas aptas para el

almacenamiento de CO₂ son las reservas agotadas de gas y de petróleo, los acuíferos salinos profundos y los lechos de carbón inexplorables. Los lugares de almacenamiento deben estar generalmente localizados a profundidades iguales o superiores a los 800 m, donde la presión predominante mantiene el CO₂ en un estado tanto líquido como supercrítico. Bajo estas condiciones, el CO₂ tiene una densidad inferior a la del agua y debe ser bloqueado desde arriba para evitar su resurgimiento en la superficie. Por ejemplo, el CO₂ puede capturarse físicamente bajo una capa rocosa hermética, o en los espacios porosos del interior de la roca. Asimismo, puede capturarse químicamente al disolverse con agua y reaccionar con las rocas que le rodean para formar carbonatos minerales.



Síntesis de las opciones de almacenamiento geológico [en] [véase el anexo 6, pág. 18]

El CO₂ comprimido puede ser inyectado en los poros de las formaciones rocosas del subsuelo utilizando muchos de los métodos que actualmente se utilizan por las industrias del gas y del petróleo: tecnología de perforación, tecnología de inyección, simulación informática de la dinámica de los depósitos de almacenamiento y los métodos de vigilancia.

Se están desarrollando proyectos de almacenamiento a escala industrial en el Mar del Norte, en Canadá, Argelia y Tejas. En cada uno de estos lugares se almacenan más de un millón de toneladas de CO₂ por año, que de lo contrario, serían liberadas en la atmósfera.

5.1.2 Por todo el mundo existen potenciales lugares de almacenamiento geológico, tanto sobre la tierra firme como en el mar. Los pronósticos sobre el **espacio total de almacenamiento disponible** varían mucho, pero por norma general indican la existencia del espacio suficiente para cubrir de varias décadas a cientos de años de emisiones de CO₂, basándose en el ritmo actual de las emisiones. Además, gran parte de las centrales eléctricas y de las demás fuentes industriales de emisión existentes se sitúan a menos de 300 km de zonas con potencial de almacenamiento (ver figura TS. 2a/2b [en] [véase el anexo 8, pág. 20]).



Repartición mundial de las grandes fuentes de CO₂ [en] [véase el anexo 8, pág. 20]



Posibles lugares de almacenamiento [en] [véase el anexo 8, pág. 20]

Aunque la capacidad de almacenamiento de los depósitos geológicos sea posiblemente suficiente para contribuir significativamente a la reducción de las emisiones de CO₂, su verdadera capacidad todavía permanece desconocida.

5.1.3 Las **fugas de CO₂ desde el lugar de almacenamiento** implican riesgos para el clima a nivel mundial, pero también de riesgos locales para poblaciones, ecosistemas y aguas subterráneas en el caso de un escape súbito y rápido de CO₂. Se prevé que dichos riesgos sean bastante reducidos: la mayor parte del CO₂ debería permanecer bajo tierra durante siglos, y las fugas deberían poder controlarse adecuadamente antes de causar perjuicios a nivel local. Sin embargo, podría ser necesario el control de los lugares de almacenamiento durante periodos de tiempo muy largos, y se espera un desarrollo de nuevos métodos a medida que mejore la tecnología. También se requiere un marco legal a largo plazo, al extenderse el tiempo de almacenamiento a muchas generaciones. Parece que el público en general no sabe mucho de esta opción tecnológica y es reacio a aceptarla,

porque se percibe a veces que el almacenamiento de CO₂ resulta de una incapacidad para encontrar otras maneras de reducir las emisiones.

5.2 ¿Cuánto cuesta el almacenamiento geológico?

El almacenamiento en formaciones geológicas es la opción de almacenamiento de CO₂ menos costosa y más aceptable desde el punto de vista medioambiental. El coste de almacenamiento en las formaciones salinas y en las reservas agotadas de gas y petróleo suelen oscilar entre los 0.5 y los 8 dólares por tonelada de CO₂ inyectada, con un coste adicional de control de entre los 0.1 y los 0.3 dólares por tonelada de CO₂ inyectada. Los costes de almacenamiento más económicos se darán en aquellas reservas que estén dotadas de una gran permeabilidad, que se sitúen en tierra firme, a poca profundidad, y/o en aquellos lugares donde existan pozos e infraestructuras procedentes de la industria del gas y del petróleo que puedan ser reutilizadas. El almacenamiento geológico de CO₂ podría incluso generar beneficios, por ejemplo mediante la recuperación asistida de petróleo o de gas, donde se utiliza la inyección de CO₂ bajo tierra para desplazar y recuperar el combustible.

6. ¿Podría almacenarse el CO₂ en las profundidades del océano?

6.1 ¿Cuáles son los métodos de almacenamiento oceánico?

Al ser el CO₂ soluble en agua, se producen **intercambios naturales entre la atmósfera y la superficie de los océanos** hasta que alcanzan un equilibrio. Si aumenta la concentración atmosférica de CO₂, se prevé que los océanos tarden varios siglos en absorber el CO₂ adicional hasta alcanzar un nuevo equilibrio. En un primer momento, el CO₂ debería disolverse en las capas oceánicas superiores, y más tarde mezclarse con las aguas de las profundidades oceánicas. De esta forma, los océanos han absorbido unas 500 de las 1300 Gt de CO₂ liberadas en la atmósfera por las actividades humanas a lo largo de los últimos 200 años. Actualmente, los océanos absorben 7 Gt de CO₂ por año. Este dióxido de carbono se encuentra, en su mayor parte, en la capa superior del océano que, consecuentemente, se ha vuelto un poco más ácido (con una disminución del pH de 0.1). Sin embargo, hasta la fecha no se ha producido prácticamente ningún cambio en relación a la acidez de las profundidades oceánicas.



El **CO₂ capturado** podría potencialmente **inyectarse directamente en las profundidades oceánicas** y, en su mayor parte, permanecer aislado de la atmósfera durante centenares de años. Esto podría realizarse transportando el CO₂ al lugar de almacenamiento mediante gasoductos o barcos, donde sería inyectado en la columna de agua del océano o en el fondo del mar. El CO₂ disuelto y dispersado pasaría entonces a formar parte del ciclo del carbono a nivel mundial. Las posibilidades de almacenamiento de CO₂ en las profundidades oceánicas para periodos de tiempo incluso mayores, incluyen la formación de hidratos sólidos de CO₂ y/o de lagos de CO₂ líquido en el fondo del mar, y la disolución de minerales alcalinos, como la piedra caliza, para neutralizar la acidez producida por el CO₂.

6.2 ¿Cuáles son los posibles costes e impactos del almacenamiento oceánico?

La inyección de unas cuantas Gt de CO₂ produciría cambios perceptibles en la química de las aguas oceánicas próximas al lugar de inyección, mientras la inyección de centenares de Gt de CO₂ llegaría a producir cambios medibles en la totalidad del océano. A lo largo de los siglos, la mezcla de las aguas oceánicas podría provocar una emisión gradual de CO₂ en la atmósfera. Los experimentos han demostrado que la agregación de CO₂ puede dañar a los organismos marinos que se sitúen cerca de los puntos de inyección o de los lagos de CO₂. Todavía no se han estudiado los efectos a largo plazo que podrían derivarse de la inyección directa de CO₂ en grandes áreas oceánicas. Sin embargo se espera que aumenten las consecuencias sobre los ecosistemas oceánicos al aumentar las concentraciones de CO₂ y al disminuir el pH. Además, no se sabe si las especies y ecosistemas marinos podrían adaptarse a estos cambios químicos o cómo.



El CO₂ puede ser inyectado en las profundidades oceánicas desde las plataformas petrolíferas.
Fuente: Stephen Knowles

El **coste del almacenamiento oceánico** se ha calculado sobre la base de los costes de transporte por gasoductos submarinos o por barcos, además de un coste energético adicional de 6 a 31 dólares por tonelada inyectada de CO₂. Para distancias cortas (100 km de la costa), la opción más económica es la de los gasoductos fijos. Para distancias mayores (500 km de la costa) la opción más rentable es la inyección desde un barco móvil o el transporte marítimo hasta una plataforma donde podría realizarse la subsiguiente inyección.

Los tratados de ámbito regional y mundial que regulan el medio ambiente marino, como el Convenio OSPAR y el Convenio de Londres, también incumben el almacenamiento oceánico, pero todavía no se ha determinado el estatuto jurídico del almacenamiento oceánico intencional.

El almacenamiento oceánico sería, por tanto, una opción de almacenamiento de CO₂ más cara y menos aceptable desde el punto de vista medioambiental. En los escasos estudios que se han llevado a cabo hasta ahora sobre las percepciones sociales de estas medidas, la sociedad ha expresado muchas más reservas respecto al almacenamiento oceánico que respecto al almacenamiento geológico.

Nota del editor: Debido a sus consecuencias medioambientales, generalmente el almacenamiento oceánico de CO₂ ya no se considera una opción aceptable.

7. ¿Cómo puede el CO₂ almacenarse en otros materiales?

7.1 ¿Puede el CO₂ ser transformado y almacenado en una forma sólida?

Gracias a un proceso llamado carbonatación mineral, el CO₂ puede adoptar casi permanentemente una forma sólida mediante reacciones químicas con ciertos minerales extraídos que se encuentran en la naturaleza (proceso llamado carbonatación mineral), como el óxido de calcio (CaO) para producir piedra caliza (CaCO₃), o el óxido de magnesio (MgO) para producir dolomita (MgCO₃). Como resultado de esta reacción no habría emisión de CO₂ a la atmósfera, los lugares de eliminación no requerirían mucho control y los riesgos asociados serían muy bajos. Sin embargo se requieren grandes cantidades de energía y de minerales para aplicar esta tecnología. Se necesitan grandes mejoras antes de que se convierta en una opción real.



7.2 ¿Cuáles son los usos industriales del CO₂ y pueden estos reducir las emisiones de CO₂?

Técnicamente es posible explotar el CO₂ capturado en procesos químicos industriales, pero su capacidad de reducción de las emisiones es bastante modesta. El uso industrial total de 120 Mt de CO₂ por año representa una cantidad muy pequeña si se compara con las emisiones derivadas de las actividades humanas (más de 30.000 Mt de CO₂ por año). De esta cantidad, dos tercios se reservan a la producción de urea, utilizada para la producción de fertilizantes y otros productos. Otros usos incluyen: horticultura, refrigeración, embalaje de alimentos, soldadura, bebidas y dispositivos de extinción.

Además, la mayor parte de estos productos industriales vuelven a liberar su contenido de CO₂ en la atmósfera al cabo de unos días o meses. Tan sólo una pequeña proporción (unas 20 Mt de CO₂ por año) queda almacenada durante varias décadas como máximo y sólo 1 Mt de CO₂ por año queda almacenada durante un siglo o más. Por eso, la captura de CO₂ para uso industrial sólo podría contribuir de manera insignificante a la mitigación del cambio climático.

8. ¿Cuál es la rentabilidad de las distintas opciones de captura y almacenamiento de CO₂?

Existen muchas incertidumbres respecto a la estimación de los costes actuales y futuros de la captura y almacenamiento de CO₂. Aunque algunos componentes de la captura y almacenamiento de CO₂ ya se están aplicando para ciertas aplicaciones industriales en mercados maduros, esta tecnología todavía no ha sido utilizada en las grandes centrales eléctricas, donde su aplicación goza del mayor potencial.



Fuente: DONG Energy.

En un sistema completamente integrado, los procesos de captura y compresión serían los más costosos. De manera general se estima que el almacenamiento

geológico es más rentable que el almacenamiento oceánico, siendo la carbonatación mineral la tecnología más costosa.

Los costes totales no sólo dependerán del sistema de captura utilizado, del tipo de almacenamiento o de la distancia de transporte, sino también de otras variables como el diseño, la operación, la financiación, la talla y la localización de la planta, el tipo de combustible utilizado, así como los costes derivados del consumo de combustible y electricidad.

Bajo las condiciones actuales, la producción de electricidad cuesta aproximadamente de 0.04 a 0.06 dólares americanos por kWh. Si se adoptaran las tecnologías actuales de captura y almacenamiento de CO₂, se estima que su coste aumentaría de 0.01 a 0.05 dólares por kWh. Esta cifra podría reducirse de 0.01 a 0.02 dólares por kWh si los ingresos derivados de la recuperación asistida del petróleo compensasen estos costes.

Al comparar la captura y almacenamiento de CO₂ con las otras opciones tecnológicas para reducir las emisiones de CO₂, hay que tener en cuenta que se requiere de 10 a 40% de energía adicional para producir la misma cantidad de electricidad. Los costes por tonelada de CO₂ evitado suelen variar en un rango bastante amplio. Gran parte del potencial tecnológico está disponible a unos costes superiores a los de las demás opciones destinadas a mejorar la eficiencia energética, aunque sigue siendo inferior a la mayoría de las opciones de energía solar.

Cuando se planifica la construcción de una nueva planta, el cálculo de los costes que implica el establecimiento de los sistemas de captura y almacenamiento de CO₂ puede tener una influencia sobre el tipo de planta escogida. Esta tecnología puede aplicarse a las tecnologías actuales como el carbón pulverizado o el ciclo combinado de gas natural (CCGN). Sin embargo, los costes adicionales serán inferiores cuando la tecnología de captura y almacenamiento de CO₂ se integre dentro de nuevas tecnologías como el ciclo combinado con gasificación integrada (CCGI) o las instalaciones para la producción de hidrógeno (durante la pre-combustión). Aunque la mayoría de las instalaciones existentes podrían ser modernizadas para integrar los sistemas de CAC, resultaría mucho más caro frente a las nuevas plantas que ya incorporen dichos sistemas.

Los futuros costes de la captura y almacenamiento de CO₂ podrían disminuir a medida que avance la tecnología y una vez que se utilicen a gran escala, quizás en un 20 o 30% durante la próxima década. Sin embargo, el aumento del precio de los combustibles fósiles podría aumentar sus costes. Como las plantas de biomasa tienen en la actualidad un tamaño pequeño, los costes para la captura y almacenamiento de CO₂ deberían ser relativamente altos. Los costes de captura y almacenamiento de CO₂ a partir de procesos industriales que no sean la producción de electricidad, pueden ser inferiores a los de las centrales eléctricas, sobretudo en aquellos procesos, como la producción de hidrógeno o amoníaco, que ya separan el CO₂.

9. ¿Cómo puede cuantificarse la reducción de las emisiones?

Uno de los aspectos más importantes de la captura y almacenamiento de CO₂, es el desarrollo y la aplicación de métodos para estimar y notificar las cantidades en que las emisiones de gases de efecto invernadero son reducidas, evitadas o eliminadas de la atmósfera.

Esto requiere:

- realizar estimaciones e informes sobre las emisiones actuales para los inventarios nacionales sobre gases de efecto invernadero.

- inscribir la captura y almacenamiento de CO₂ en el marco de acuerdos internacionales destinados a limitar las emisiones netas.

Ante la ausencia de acuerdos internacionales, no queda claro si las diversas formas de captura y almacenamiento de CO₂ serán tratadas como reducción de emisiones o como eliminación de las emisiones de la atmósfera. La técnica de la captura y almacenamiento de CO₂ se diferencia claramente y en muchos aspectos del secuestro de CO₂ en sumideros biológicos de carbón (bosques, suelo, etc), a la vez que las diferentes formas de captura y almacenamiento se diferencian claramente las unas de las otras. Mientras que una tonelada de CO₂ almacenada de forma permanente ofrece las mismas ventajas en términos de concentraciones atmosféricas de CO₂ que una tonelada de CO₂ no emitida, una tonelada de CO₂ almacenada de forma temporal ofrece muchos menos beneficios. Esta diferencia debería reflejarse en todos los sistemas que contabilizan las reducciones netas de gases de efecto invernadero. Actualmente, no existe ningún método disponible en el marco de CMNUCC para controlar, medir y contabilizar las fugas físicas desde los lugares de almacenamiento.

Cuadro TS. 12. Diferencias entre las formas de CAC y los sumideros biológicos que pueden influir en la manera de efectuar la contabilidad [véase el anexo 9, pág. 21]

Aunque los métodos actualmente disponibles para los inventarios nacionales sobre emisiones puedan integrar los sistemas de captura y almacenamiento o ser revisados para ello, la contabilidad del CO₂ almacenado atañe cuestiones relativas a la aceptación y a la transferencia de responsabilidades para las emisiones almacenadas. Estas cuestiones pueden ser abordadas mediante procesos políticos nacionales e internacionales.

10. Conclusión: el futuro de la captura y almacenamiento de CO₂.

10.1 ¿Qué vacíos de conocimiento siguen existiendo?

La técnica de la captura y almacenamiento de CO₂ es tecnológicamente factible y podría tener un papel importante en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo de este siglo. Aunque partes de esta tecnología ya son de eficacia probada, sería esencial ampliar la experiencia y el conocimiento, así como reducir las incertidumbres acerca de ciertos aspectos de la CAC para permitir su despliegue a gran escala.

En primer lugar, esta tecnología requiere una mayor madurez. Mientras que los componentes individuales de la CAC ya están bien desarrollados, todavía falta integrarlos a todos en proyectos a gran escala del sector eléctrico. Dichos proyectos podrían demostrar si esta tecnología funciona a gran escala, y aumentar así el conocimiento y la experiencia. También se requieren más estudios, tanto para analizar y reducir los costes, como para estimar la capacidad potencial de almacenamiento de los sitios geológicos adecuados. En cuanto a las otras formas de almacenamiento, hacen falta experimentos pilotos sobre carbonatación mineral para reducir los costes y los requisitos energéticos netos. Asimismo, es preciso realizarse estudios sobre los impactos ecológicos que el CO₂ puede producir en las profundidades oceánicas.

También debe desarrollarse el marco legal y reglamentario adecuado, que tiene que incluir métodos concertados para informar sobre la cantidad de CO₂ que se han evitado gracias a la CAC, y para estimar las cantidades susceptibles de fugarse a largo término. Asimismo, es necesario tomar en cuenta las desventajas a largo término del almacenamiento geológico, así como los posibles obstáculos legales al almacenamiento en el medio marino.

Otras de las cuestiones que quedan por resolver son el potencial de transferencia y de difusión de las tecnologías de captura y almacenamiento de CO₂, las oportunidades que tienen los países en vías de desarrollo a la hora de explotarlas, la aplicación de estas tecnologías en las fuentes de biomasa de CO₂ y las posibles interacciones entre la inversión en la CAC y las otras opciones de mitigación.

10.2 ¿En qué medida la CAC podría contribuir a la lucha contra el cambio climático?

Si se dan ciertas condiciones y se colman los vacíos de conocimiento, los sistemas de captura y almacenamiento de CO₂ podrían implementarse a gran escala dentro de unas décadas, siempre y cuando se establezcan políticas que limiten considerablemente las emisiones de gases de efecto invernadero.

Una cuestión que sigue siendo de importancia especialmente crítica es la de los incentivos. La implementación de un precio del carbón por unidad de gas de efecto invernadero emitido podría fomentar las inversiones en aquellos procesos que emitan menos gases de efecto invernadero. Los sistemas de CAC sólo son susceptibles de ser adoptados a larga escala para la producción de electricidad (el sector con mayor potencial con diferencia) cuando el precio de emisión de una tonelada de CO₂ sobrepase los 25-30 dólares (valor del dólar del 2002) durante todo el tiempo de existencia del proyecto. Tasar las emisiones de CO₂ requiere una voluntad política de limitar dichas emisiones. Los sistemas de CAC podrían competir con las demás opciones de mitigación a gran escala, como la energía nuclear y las energías renovables.

Como parte integrante del conjunto de acciones para la mitigación del cambio climático, la captura y almacenamiento de CO₂ podría reducir en un 30%, o incluso más, los costes de estabilización de la concentración atmosférica de los gases de efecto invernadero. La mayor parte de los escenarios que evalúan la posibilidad de conseguir dicha estabilización a un coste mínimo estiman que, a lo largo de este siglo es posible almacenar, bajo tierra y en los océanos, una cantidad de CO₂ que oscile entre 220 y 2.200 Gt de CO₂. Para ello, se requiere el establecimiento de cientos de miles de sistemas CAC por todo el mundo, cada uno de ellos capturando de 1 a 5 Mt de CO₂ por año. Habrá que construir muchos de dichos sistemas durante la primera mitad de este siglo, aunque la mayoría se construirán en la segunda mitad del mismo. En ausencia de medidas para limitar las emisiones de CO₂, las tecnologías de CAC sólo tendrán oportunidades de despliegue reducidas y específicas, y alcanzarán, como máximo, un potencial aproximativo de 360 Mt de CO₂ por año. A no ser que se extiendan al sector eléctrico, dichas oportunidades por sí solas, no podrán contribuir significativamente a la mitigación del cambio climático.

En cuanto a las fugas a largo plazo desde los lugares de almacenamiento, deberá establecerse un tope para la cantidad de pérdidas que pueden permitirse, si la CAC pasase a considerarse como una medida de mitigación del cambio climático. Si se consigue retener el CO₂ en una fracción de 90-99% durante 100 años, o de 60-95% durante 500 años, estos almacenamientos temporales todavía podrían ser considerados como una opción válida para la mitigación del cambio climático.

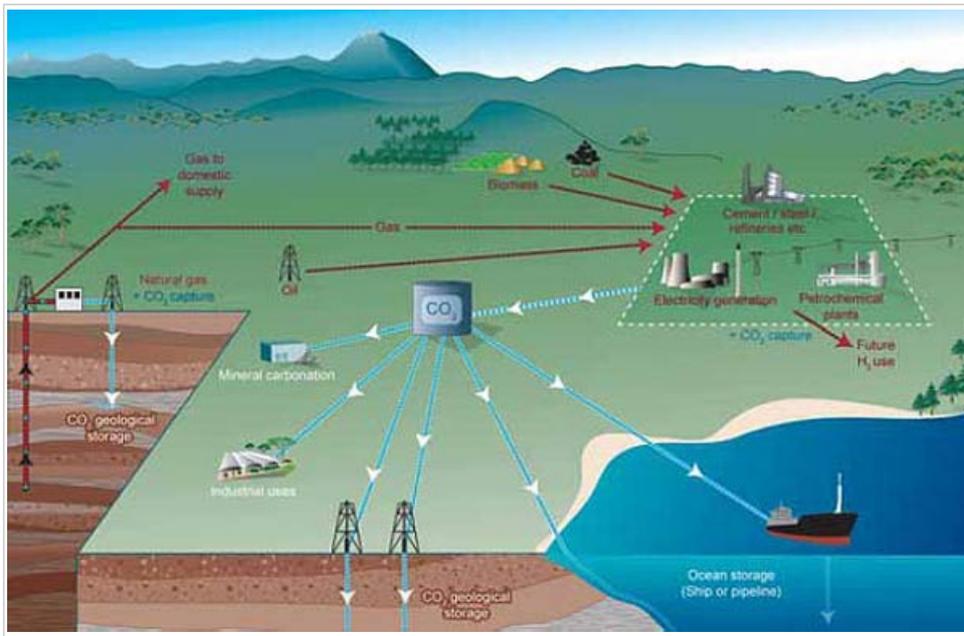
El conjunto de los textos publicados, sugiere que la técnica de la captura y almacenamiento de CO₂ podría ser un aspecto importante de las muchas medidas políticas y tecnológicas que serán necesarias si el cambio climático ha de ser combatido con éxito y a un coste mínimo.

Anexo

Annex 1:

Figure TS.1. Schematic diagram of possible CCS systems

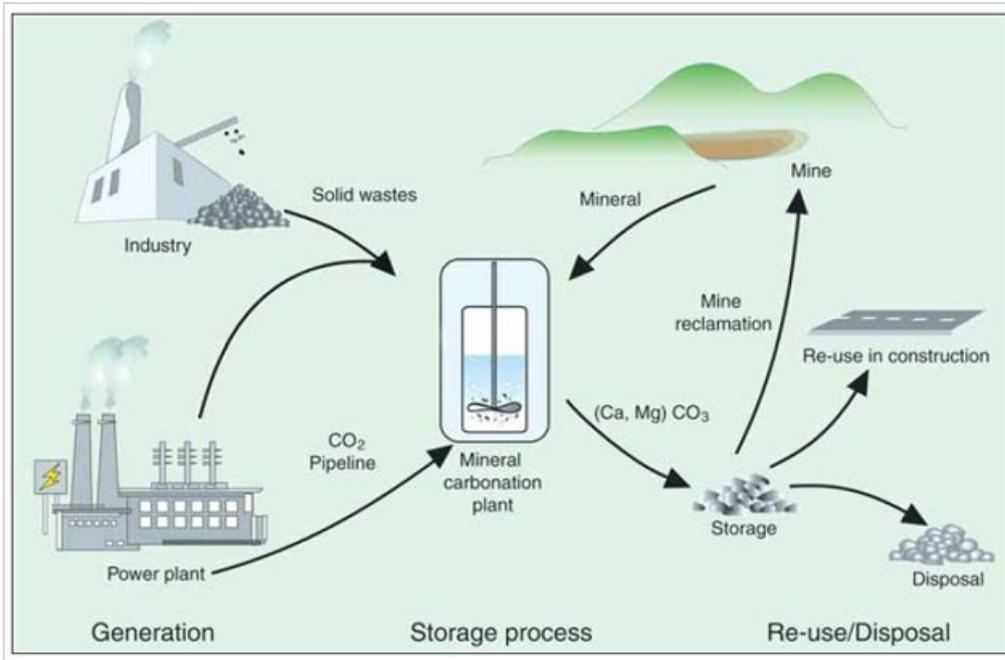
Schematic diagram of possible CCS systems showing the sources for which CCS might be relevant, transport of CO₂ and storage options (Courtesy of CO₂CRC).



Source: IPCC Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005) [see http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/SRCCS_TechnicalSummary.pdf]
1. Introduction and framework of this report, p. 18

Annex 2:

Figure TS.10. Material fluxes and process steps associated with the mineral carbonation of silicate rocks or industrial residues (Courtesy ECN).

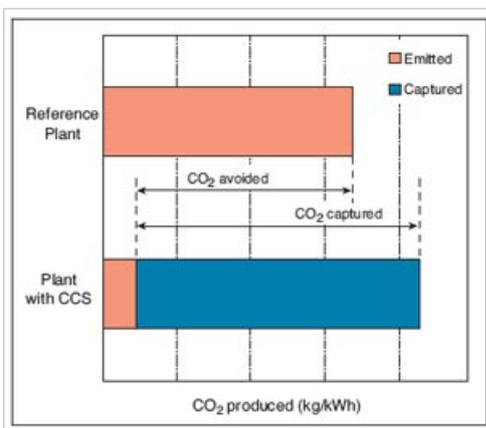


Source: IPCC Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005) [see http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/SRCCS_TechnicalSummary.pdf] 7. Mineral carbonation and industrial uses, p. 37

Annex 3:

Figure TS.11. CO₂ capture and storage from power plants

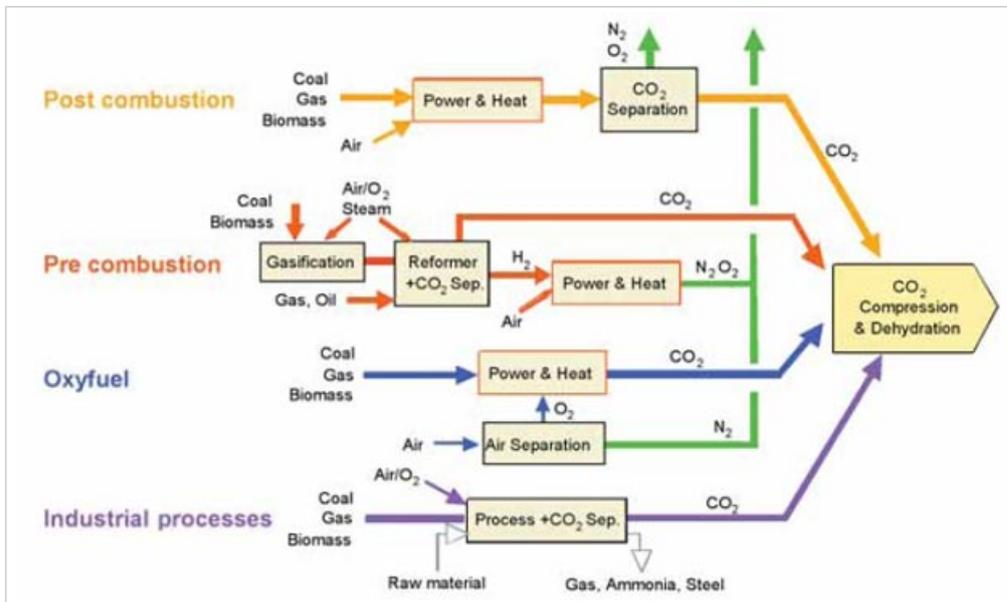
CO₂ capture and storage from power plants. The increased CO₂ production resulting from loss in overall efficiency of power plants due to the additional energy required for capture, transport and storage, and any leakage from transport result in a larger amount of “CO₂ produced per unit of product” (lower bar) relative to the reference plant (upper bar) without capture.



Source: IPCC Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005) [see http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/SRCCS_TechnicalSummary.pdf] 8. Costs and economic potential, p. 41

Annex 4:

Figure TS.3. Overview of CO₂ capture processes and systems

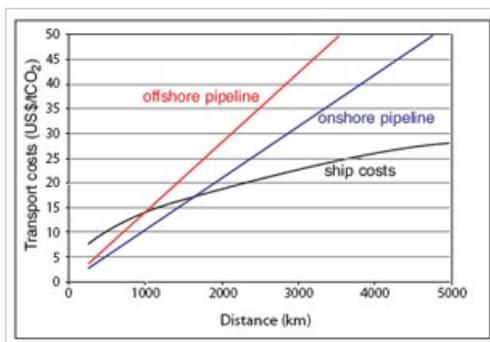


Source: IPCC Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005) [see http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/SRCCS_TechnicalSummary.pdf]
3. Capture of CO₂, p. 25

Annex 5:

Figure TS.6. Costs, plotted as US\$/tCO₂ transported against distance, for onshore pipelines, offshore pipelines and ship transport

Costs, plotted as US\$/tCO₂ transported against distance, for onshore pipelines, offshore pipelines and ship transport. Pipeline costs are given for a mass flow of 6 MtCO₂ yr⁻¹. Ship costs include intermediate storage facilities, harbour fees, fuel costs, and loading and unloading activities. Costs include also additional costs for liquefaction compared to compression.

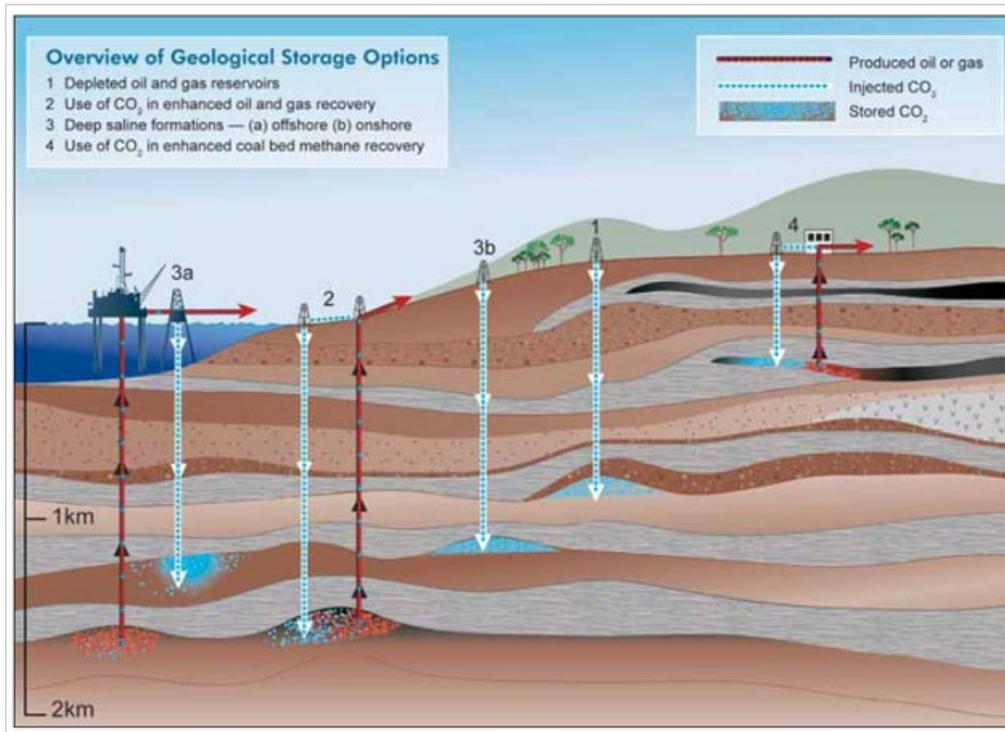


Source: IPCC Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005) [see http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/SRCCS_TechnicalSummary.pdf]
4. Transport of CO₂, p. 28

Annex 6:

Figure TS.7. Methods for storing CO₂ in deep underground geological formations

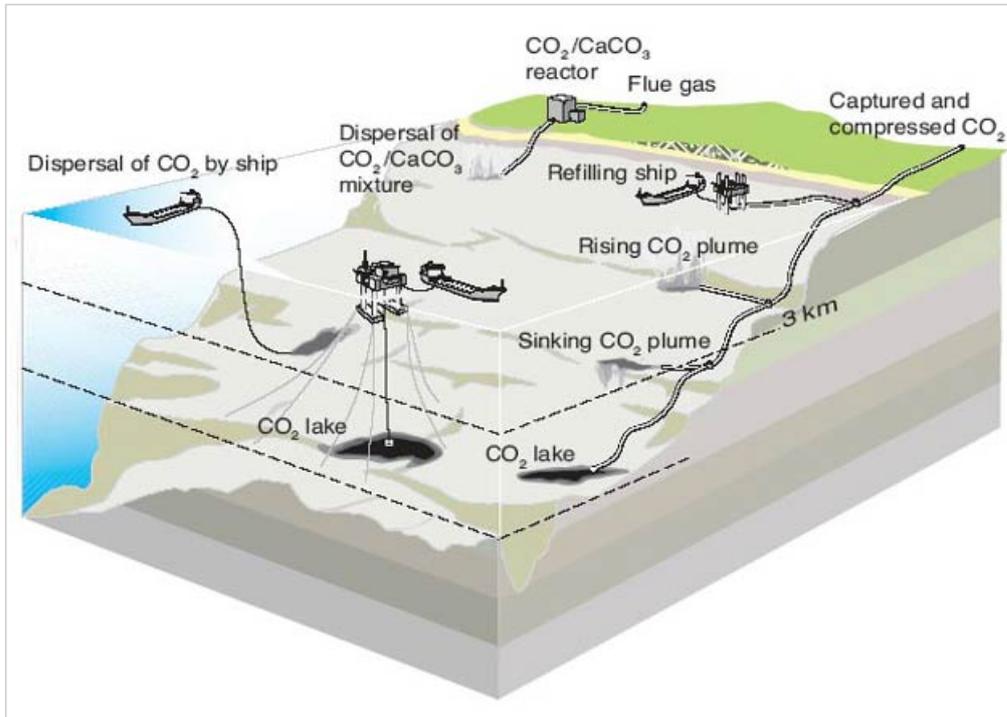
Methods for storing CO₂ in deep underground geological formations. Two methods may be combined with the recovery of hydrocarbons: EOR (2) and ECBM (4). See text for explanation of these methods (Courtesy CO₂CRC).



Source: IPCC Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005) [see http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/SRCCS_TechnicalSummary.pdf]
5. Geological storage, p. 29

Annex 7:

Figure TS.9. Methods of ocean storage

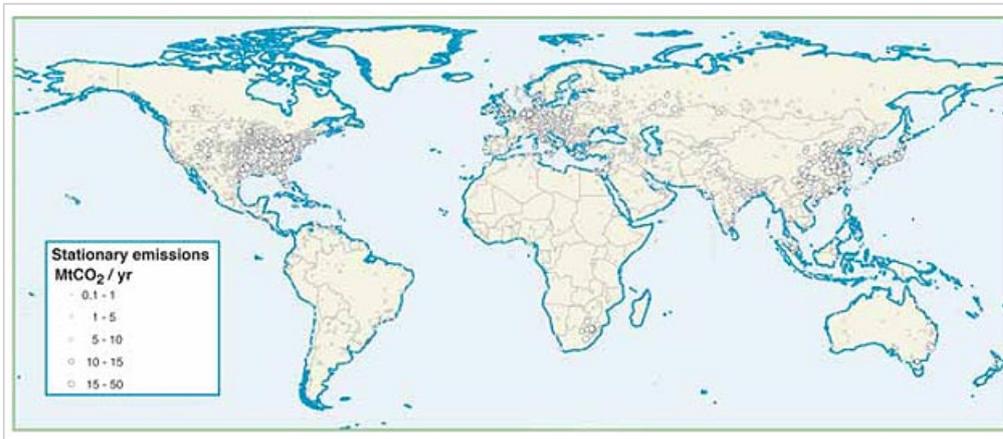


Source: IPCC Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005) [see http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/SRCCS_TechnicalSummary.pdf]
6. Ocean storage, p. 34

Annex 8: Figures TS.2a. & TS.2b.

Figure TS.2a. Global distribution of large stationary sources of CO₂

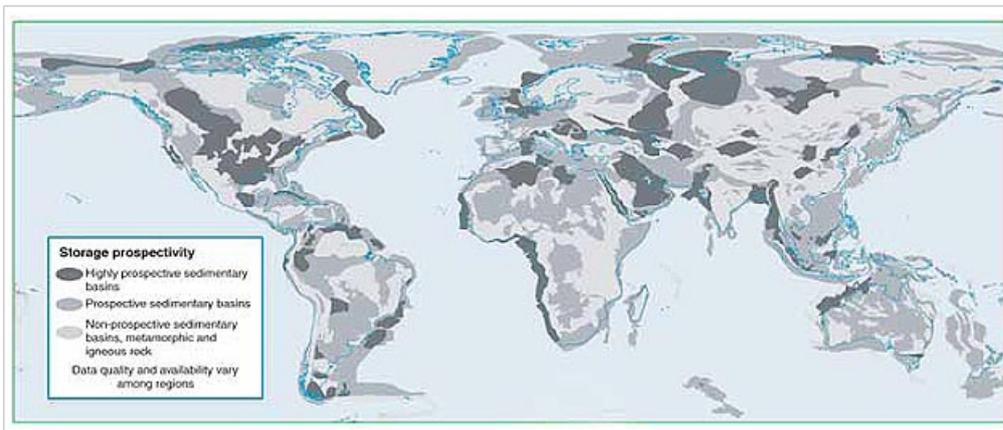
Global distribution of large stationary sources of CO₂ (based on a compilation of publicly available information on global emission sources, IEA GHG 2002)



Source: IPCC Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005) [see http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/SRCCS_TechnicalSummary.pdf]
2. Sources of CO₂, p. 20

Figure TS.2b. Prospective areas in sedimentary basins

Prospective areas in sedimentary basins where suitable saline formations, oil or gas fields, or coal beds may be found. Locations for storage in coal beds are only partly included. Prospectivity is a qualitative assessment of the likelihood that a suitable storage location is present in a given area based on the available information. This figure should be taken as a guide only, because it is based on partial data, the quality of which may vary from region to region, and which may change over time and with new information (Courtesy of Geoscience Australia).



Source: IPCC Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005) [see http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/SRCCS_TechnicalSummary.pdf]
2. Sources of CO₂, p. 21

Annex 9:

Table TS.12. Differences in the forms of CCS and biological sinks that might influence the way accounting is conducted.

Property	Terrestrial biosphere	Deep ocean	Geological reservoirs
CO ₂ sequestered or stored	Stock changes can be monitored over time.	Injected carbon can be measured.	Injected carbon can be measured.
Ownership	Stocks will have a discrete location and can be associated with an identifiable owner.	Stocks will be mobile and may reside in international waters.	Stocks may reside in reservoirs that cross national or property boundaries and differ from surface boundaries.
Management decisions	Storage will be subject to continuing decisions about land-use priorities.	Once injected there are no further human decisions about maintenance once injection has taken place.	Once injection has taken place, human decisions about continued storage involve minimal maintenance, unless storage interferes with resource recovery.
Monitoring	Changes in stocks can be monitored.	Changes in stocks will be modelled.	Release of CO ₂ can be detected by physical monitoring.
Expected retention time	Decades, depending on management decisions.	Centuries, depending on depth and location of injection.	Essentially permanent, barring physical disruption of the reservoir.
Physical leakage	Losses might occur due to disturbance, climate change, or land-use decisions.	Losses will assuredly occur as an eventual consequence of marine circulation and equilibrium with the atmosphere.	Losses are unlikely except in the case of disruption of the reservoir or the existence of initially undetected leakage pathways.
Liability	A discrete land-owner can be identified with the stock of sequestered carbon.	Multiple parties may contribute to the same stock of stored CO ₂ and the CO ₂ may reside in international waters.	Multiple parties may contribute to the same stock of stored CO ₂ that may lie under multiple countries.

Source: IPCC Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005) [see http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/SRCCS_TechnicalSummary.pdf]
9. Emission inventories and accounting, p. 44

Annex 10:

Table TS.2. Profile by process or industrial activity of worldwide large stationary CO₂ sources with emissions of more than 0.1 MtCO₂ per year.

Process	Number of sources	Emissions (MtCO ₂ yr ⁻¹)
Fossil fuels		
Power	4,942	10,539
Cement production	1,175	932
Refineries	638	798
Iron and steel industry	269	646
Petrochemical industry	470	379
Oil and gas processing	N/A	50
Other sources	90	33
Biomass		
Bioethanol and bioenergy	303	91
Total	7,887	13,466

Source: IPCC Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005) [see http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/SRCCS_TechnicalSummary.pdf]
2. Sources of CO₂, p. 20

Entidad colaboradora en esta publicación

Los niveles 1 y 2 son resúmenes elaborados por GreenFacts con el apoyo financiero de la **Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE)**.

