
Falsas Esperanzas

Por qué la Captura
y Almacenamiento
de Carbono
no salvará el clima

greenpeace.es

GREENPEACE

Activando la [R]evolución energética

Autor principal: Emily Rochon
Editor: Jo Kuper
Colaboradores: Dr Erika Bjureby, Dr Paul Johnston, Robin Oakley,
Dr David Santillo, Nina Schulz,
Dr Gabriela vom Goerne
Edición española: Raquel Montón,
Isabel Rivera y Patricia Bermejo
Traducción: Cristina Pinto Gabinete de Traducciones

Impreso en papel 100% reciclado postconsumo.

Publicado en mayo 2008
por Greenpeace Internacional
Ottho Heldringstraat 5
1066 AZ Amsterdam
The Netherlands
Tel: +31 20 7182000
Fax: +31 20 5148151

greenpeace.es

Diseño: Neo
Communications for Positive Change
Maquetación: Rebeca Porras

foto portada CENTRAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA SITUADA CERCA DE MIDLAND, PENNSYLVANIA, USA.

©GREENPEACE / R. VISSER



COLUMNAS DE HUMO DEL ALTO HORNO DE LTV STEEL CO., CLEVELAND, OHIO, EE.UU.

©GREENPEACE / R. VISSER

Contenido

Secciones

1. Resumen ejecutivo	4
2. Introducción	10
3. La tecnología de CAC desde un punto de vista técnico	12
4. Disipar la cortina de humo	20
4.1 La tecnología de CAC no puede ofrecer una solución a tiempo para salvar el clima	21
4.2 La tecnología de CAC despilfarra energía	23
4.3 Almacenamiento en la tecnología de CAC: ¿dónde irá todo el CO ₂ ? ¿se mantendrá allí para siempre?	25
4.4 La tecnología de CAC es demasiado cara	30
4.5 CAC y responsabilidad civil: un negocio arriesgado	33
5. El mundo ya tiene las soluciones al cambio climático	40
6. Bibliografía	44

Lista de tablas

1. Mecanismos de retención geológica	17
2. Rendimiento de centrales térmicas de carbón pulverizado mediante soplado de aire con y sin tecnología de CAC	24
3. Impacto del sistema de CAC en el consumo de recursos y las tasas de emisión	24
4. Estimaciones sobre la capacidad de almacenamiento geológico	26
5. Oscilación de los costes de los componentes del sistema de CAC	30

Lista de figuras

1. Mecanismos de retención	17
----------------------------	-----------



IMAGEN PANORÁMICA DE LA CENTRAL
TÉRMICA DE PRUNEROV DONDE ACTIVISTAS
DE GREENPEACE REALIZARON UNA
PROTESTA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO.

©GREENPEACE / K DAVISON

Resumen Ejecutivo

La Captura y Almacenamiento de Carbono (CAC o CCS del inglés *Carbon Capture and Storage*) tiene por objeto reducir los impactos del cambio climático debidos a la quema de los combustibles fósiles mediante la captura del CO₂ procedente de las chimeneas de las centrales térmicas y su almacenamiento en depósitos subterráneos. Su desarrollo futuro ha sido muy promovido por el sector del carbón, como justificación para la construcción de nuevas centrales térmicas de carbón.

El presente informe, basado en estudios científicos independientes revisados externamente por expertos, demuestra lo siguiente:

La tecnología de CAC no ofrece una solución que evite a tiempo un cambio climático peligroso. No se prevé que el desarrollo de la tecnología de CAC por las compañías eléctricas se pueda llevar a cabo antes de 2030, como muy pronto.¹ Para evitar los peores impactos del cambio climático, las emisiones globales de gases de efecto invernadero tienen que empezar a reducirse en 2015, es decir, dentro de tan solo siete años.

La tecnología de CAC despilfarra energía. Esta tecnología utiliza entre el 10% y el 40% de la energía producida por una central térmica.² Se prevé que su adopción a gran escala acabe con las ventajas en eficiencia conseguidas en los últimos 50 años y aumente en un tercio el consumo de recursos.³

El almacenamiento subterráneo de carbono es arriesgado. No es posible garantizar el almacenamiento seguro y permanente de CO₂. Incluso unos niveles de fugas muy bajos podrían minar cualquier esfuerzo para mitigar el cambio climático.

La tecnología de CAC es cara. Podría dar lugar a que los costes de las centrales se duplicaran y a que el precio de la electricidad aumentara entre un 21% y un 91%.⁴ El dinero invertido en CAC alejará las inversiones de las soluciones sostenibles para el cambio climático.

La tecnología de CAC entraña riesgos significativos en materia de responsabilidad civil. Esta tecnología constituye una amenaza para la salud, los ecosistemas y el clima. No está clara cuál será la gravedad de estos riesgos.

La crisis climática exige una actuación urgente. Los científicos expertos en cuestiones climáticas advierten de que, para evitar los peores impactos, las emisiones globales de gases de efecto invernadero deberán alcanzar sus cotas máximas en 2015 para, luego, empezar a reducirse hasta llegar a una disminución de, al menos, el 50% en 2050, con respecto a los niveles alcanzados en 1990. El carbón es el más contaminante de los combustibles fósiles y la mayor amenaza para el clima. Si se llevan a cabo los planes actuales de invertir cientos de miles de millones de dólares en centrales térmicas, las emisiones de dióxido de carbono habrán aumentado en un 60% para 2030.

La viabilidad, los costes, la seguridad y la responsabilidad civil hacen que la CAC sea un juego peligroso. Una encuesta a mil "personas relevantes e influyentes en materia de clima" de todo el mundo revela una duda sustancial sobre la capacidad de la CAC para estar disponible. Únicamente el 34% estaba seguro de que mejorando 'la tecnología del carbón-limpio' en las centrales térmicas existentes se podrían reducir las emisiones de CO₂ en los próximos 25 años sin efectos

“La CAC llegará al campo de batalla demasiado tarde para ayudar al mundo a evitar un cambio climático peligroso”

Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo 2007

secundarios inaceptables, y sólo el 36% estaba seguro de la capacidad de la tecnología para producir energía baja en carbono mediante las nuevas centrales térmicas.

Las verdaderas soluciones para detener un cambio climático peligroso se encuentran en las energías renovables y la eficiencia energética, que pueden comenzar a proteger el clima desde hoy mismo. Es posible conseguir reducciones enormes en la demanda de energía con medidas de eficiencia que permitan ahorrar más dinero de lo que cuesta ponerlas en funcionamiento. Las fuentes de energías renovables técnicamente disponibles (como la energía eólica, las de las olas y la solar) tienen capacidad para multiplicar por seis y de manera permanente la energía suministrada que se consume actualmente en el mundo.

La [R]evolución energética de Greenpeace⁵ ofrece una guía práctica que muestra el modo en el que las energías renovables, junto con una mayor eficiencia energética, pueden reducir las emisiones globales de CO₂ en casi la mitad y satisfacer el 50% de las necesidades mundiales de energía en 2050.

¿Qué es la tecnología de CAC?

La Captura y Almacenamiento de Carbono (CAC) es un proceso integrado que está formado por tres etapas diferenciadas: captura del carbono, transporte y almacenamiento (que incluye su medición, vigilancia y verificación).

La tecnología de la captura tiene por objeto obtener una corriente concentrada de CO₂ que se pueda comprimir, transportar y almacenar. Lo más probable es que el transporte del CO₂ capturado a los lugares de almacenamiento se realice a través de tuberías y gaseoductos.

El almacenamiento del carbono capturado es la última parte del proceso. Se prevé que la mayor parte del almacenamiento de CO₂ se realice en formaciones geológicas terrestres o submarinas. También se ha propuesto la eliminación de los residuos de CO₂ en el océano, pero este método ha quedado ampliamente descartado debido a los efectos significativos que tendría el CO₂ en el ecosistema de los océanos y a las disposiciones jurídicas que lo prohíben (véase el apartado 3, La tecnología de CAC desde un punto de vista técnico, almacenamiento, en la página 16).

La tecnología de CAC no puede ofrecer una solución a tiempo.

La urgencia del cambio climático hace que las soluciones deban estar listas para su uso a gran escala lo antes posible, pero la tecnología de CAC no puede ofrecer a tiempo estas soluciones. Como afirma el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), “la tecnología de CAC llegará al campo de batalla demasiado tarde para ayudar al mundo a evitar un cambio climático peligroso”.⁶ En la actualidad, no hay en el mundo centrales térmicas a gran escala que capturen carbono, y mucho menos alguna que tenga integradas operaciones de almacenamiento.⁷

La tecnología de CAC puede ser técnicamente factible en las compañías eléctricas en 2030 como muy pronto.⁸ El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) no prevé que la tecnología de CAC sea comercialmente viable hasta, al menos, la segunda mitad de este siglo.⁹ Aún entonces, entre el 40% y el 70% de las emisiones del sector de la electricidad no serían aptas para la captura de carbono.¹⁰

A pesar de ello, la compañías energéticas y eléctricas están utilizando como excusa la tecnología de CAC para seguir adelante con los planes para construir nuevas centrales térmicas, calificándolas como “listas para capturar” (“*capture-ready*”). La Agencia Internacional de la Energía (AIE) describe una central ‘lista para capturar’ como aquella que se puede modernizar para permitir la captura de CO₂ si se aplican los factores económicos o reguladores necesarios.¹¹ Esta definición es lo suficientemente amplia como para convertir cualquier central en ‘lista para capturar’ en teoría y hacer que este término carezca de sentido.

El peligro real de las centrales ‘listas para capturar’ es que no es probable que cumplan las promesas de modernización. Los sistemas de modernización son muy caros y pueden llevar aparejados unas pérdidas de eficiencia tan altas que las centrales dejen de ser rentables.¹² Asimismo, aun en el caso de que una central sea técnicamente apta para la captura de carbono, no hay garantías de que dispondrá de ubicaciones accesibles para el almacenamiento.

La propuesta de construcción de una nueva central térmica en Kingsnorth (Kent, Reino Unido) se ha vendido como ‘lista para capturar’, con capacidad para incorporar la tecnología de CAC en el caso de que alguna vez



Columnas de humo procedentes del lignito quemado en la central térmica de Mae Moh, Lampang, provincia de Thailandia. Greenpeace y los ciudadanos del distrito tienen serias quejas respecto a la central insistiendo en que causa problemas respiratorios y lluvia ácida que daña la agricultura de los alrededores.

estuviera disponible en el futuro pero se desconoce si esto podría ocurrir alguna vez. Mientras ocurre esto y en el caso de que llegara a construirse, durante todo su ciclo de vida Kingsnorth emitirá unos 8 millones de toneladas de CO₂ al año, una cantidad equivalente al total de emisiones anuales de CO₂ de Ghana.¹³

Si la tecnología de CAC llega a estar lista para su uso alguna vez, será demasiado tarde y ofrecerá demasiado poco.

La tecnología de CAC despilfarra energía

La Captura y el Almacenamiento de Carbono requiere mucha energía, que suele oscilar entre el 10% y el 40% de la capacidad de una central.¹⁴ Una pérdida de tan solo el 20% de la energía en una central exigiría la construcción de una central adicional por cada cuatro construidas.¹⁵

Estas reducciones de eficiencia exigirán la extracción de más carbón en las minas, así como su transporte y combustión, para que una central pueda producir la misma cantidad de energía que producía sin la tecnología de CAC.

Esta tecnología también hará uso de recursos más valiosos. Las centrales equipadas con tecnología de captura necesitarán un 90% más de agua dulce que las que no estén equipadas con ella. Esto empeorará la escasez de agua, ya agravada por el cambio climático.¹⁶ En conjunto, se prevé que la adopción a gran escala de la tecnología de CAC ponga fin a las ventajas en eficiencia conseguidas en los últimos 50 años y aumente en un tercio el consumo de recursos.¹⁷

El almacenamiento subterráneo de carbono es arriesgado

La Agencia Internacional de la Energía (AIE) calcula que la cantidad de CO₂ que será preciso capturar y almacenar en 2050 para conseguir mitigar de forma significativa el cambio climático exigirá 6.000 proyectos, cada uno de los cuales deberá inyectar en el subsuelo un millón de toneladas métricas de CO₂ al año.¹⁸ Por el momento, no está claro si será técnicamente factible capturar y enterrar tanto carbono, es decir, si habrá suficientes lugares de almacenamiento o si estarán situados suficientemente cerca de las centrales. Es probable que el transporte de CO₂ a distancias superiores a 100 kilómetros sea tan costoso que resulte prohibitivo.¹⁹

Los esfuerzos por capturar CO₂ no tienen sentido si no se dispone de espacio accesible suficiente para almacenarlo de forma permanente. Incluso en el supuesto de que sea factible enterrar cientos de miles de gigatoneladas de CO₂, no hay modo de garantizar que los emplazamientos para almacenamiento sean debidamente diseñados y gestionados durante los plazos de tiempo necesarios.

Mientras el CO₂ se mantenga en formaciones geológicas, existe riesgo de fugas. Aunque, en la actualidad, no es posible cuantificar los riesgos exactos, cualquier fuga de dióxido de carbono puede afectar al entorno circundante: el aire, las aguas subterráneas o el suelo. Una fuga continuada, aunque fuera a un ritmo tan bajo como un 1%, podría acabar con los esfuerzos para mitigar el cambio climático.²⁰ Quizás estas fugas de CO₂ podrían subsanarse pero no hay antecedentes ni estimaciones de costes de las medidas que habría que adoptar para ello.²¹

Un ejemplo, proporcionado por la propia naturaleza, del peligro que entrañan las fugas de CO₂ se produjo en el Lago Nyos, Camerún, en 1986. Tras una erupción volcánica, de pronto se liberaron grandes cantidades de CO₂ que se habían acumulado en el fondo del lago, lo que causó la muerte de 1.700 personas y miles de cabezas de ganado en un área de 25 Km².²²

La tecnología de CAC es cara y socava la financiación de soluciones sostenibles

Aunque las estimaciones de costes de la tecnología de CAC varían considerablemente, hay algo seguro: es muy cara. Esta tecnología exigirá una financiación sustanciosa para construir la central térmica y las infraestructuras necesarias para el transporte y almacenamiento del carbono. Tendría que aumentar el número de mecanismos políticos existentes, como gravar el carbono, (multiplicando el actual por cinco, por lo menos) y complementar estos mecanismos con compromisos políticos e incentivos económicos adicionales.²³

El Departamento de Energía de EE.UU. calcula que la instalación de sistemas de captura de carbono prácticamente duplicaría los costes de las centrales²⁴, lo que haría que el precio de la electricidad subiera entre el 21% y el 91%.²⁵

Los considerables niveles de apoyo necesarios para que la tecnología de CAC despegue se proporcionarán a costa de las soluciones reales. Los estudios actuales demuestran que la electricidad generada por centrales

Respecto a la viabilidad, los costes, la seguridad y la responsabilidad civil hacen que CAC sea un juego peligroso. Un estudio de 1.000 personas relevantes e influyentes en materia de clima alrededor del mundo revela una duda sustancial sobre la capacidad de CAC para estar disponible.

térmicas equipadas con la tecnología de CAC será más cara que la procedente de otras fuentes menos contaminantes, como centrales eólicas y muchos tipos de biomasa sostenible.²⁶

En los últimos años, la parte del presupuesto destinada a investigación y desarrollo en países que desean instalar la tecnología de CAC se ha disparado. Mientras, los fondos destinados a tecnologías renovables y eficiencia se han reducido o estancado.

En Estados Unidos, el Departamento de Energía ha solicitado un aumento del 26,4% en el presupuesto para programas relacionados con la tecnología de CAC (hasta 623,6 millones de dólares), al mismo tiempo que reducía los fondos destinados a investigación en eficiencia y energías renovables en un 27,1% (a 146,2 millones de dólares).²⁷ Australia tiene tres centros de investigación sobre combustibles fósiles, incluido uno dedicado a tecnología de CAC; no hay ninguno dedicado a tecnología de energías renovables.²⁸ El Gobierno noruego destinó recientemente 20.000 millones de coronas noruegas (4.000 millones de dólares) a dos proyectos de CAC a costa de la inversión en tecnologías renovables (véase el apartado 4.4, La tecnología de CAC es demasiado cara, en la página 30).

El dinero invertido en CAC está formado por el desvío urgente de fondos de inversiones en soluciones basadas en energías renovables para combatir el cambio climático. Si sucediera que, en algún momento, la captura de carbono llegase a ser técnicamente factible, comercialmente viable y segura para el medio ambiente y fuera acompañada de la posibilidad de almacenamiento a largo plazo, seguiría teniendo un impacto limitado y se pagaría un alto precio por ella. En cambio, como el informe de Greenpeace *Inversión de futu[r]o (Futu[r]e Investment)* señala, la inversión en un futuro de energías renovables ahorraría 180 millones de dólares al año y reduciría las emisiones de CO₂ a la mitad en 2050.²⁹

CAC y responsabilidad civil: un negocio arriesgado

Las aplicaciones a gran escala de la tecnología de CAC entrañan riesgos significativos en materia de responsabilidad civil, incluidos efectos negativos sobre la salud y daño a los ecosistemas, contaminación de las aguas subterráneas y del agua potable y aumento de las

emisiones de gases de efecto invernadero como consecuencia de fugas. No hay una base fiable para calcular la probabilidad o gravedad de estos riesgos. Como las normativas vigentes no están pensadas para gestionar adecuadamente estos riesgos, no hay respuesta a preguntas importantes relativas a la cuestión de sobre quién recae la responsabilidad.³⁰

El sector ve la responsabilidad como una barrera al despliegue más amplio de la tecnología de CAC³¹ y se muestra reacio a invertir únicamente en ella sin un marco jurídico que lo proteja de la responsabilidad a largo plazo. El riesgo es tan grande que algunas compañías eléctricas son reacias al almacenamiento de CO₂ a menos que la titularidad de éste deje de estar sus manos en el momento del transporte.³² Los posibles operadores instan a que la responsabilidad jurídica sólo se mantenga 10 años para el carbono almacenado permanentemente.³³

Los defensores de la tecnología de CAC exigen una protección jurídica casi completa por parte de los gobiernos, la cual deberá incluir mecanismos que blinden completamente a los operadores frente a problemas legales, permitan la transmisión de la titularidad al Estado y limiten la cantidad de dinero que se debería pagar en concepto de indemnización en el caso de que se produjeran daños.³⁴ Se espera que el Estado asuma el riesgo de los proyectos de almacenamiento de CO₂ y pague las indemnizaciones por daños y perjuicios.

El alcance del apoyo ofrecido al proyecto FutureGen en Estados Unidos, que se ha hundido hace poco, da una idea de los costes reales de la tecnología de CAC. FutureGen era el buque insignia de los proyectos de tecnología de CAC de la Administración de Bush, una alianza de los sectores público y privado entre el gobierno norteamericano y los gigantes de la industria, entre ellos Rio Tinto y *American Electric Power Service Corp.* FutureGen no sólo recibió una cantidad de fondos públicos sin precedentes (alrededor de 1,3 mil millones de dólares), sino que gozaba de protección en materia de responsabilidad jurídica y económica en caso de fugas imprevistas de dióxido de carbono,³⁵ se le abonaría cualquier indemnización a la que tuviera que hacer frente como consecuencia de demandas interpuestas e incluso se le abonaban las pólizas de seguro contratadas.³⁶

El mundo ya tiene las soluciones a la crisis climática

La inversión en tecnología de CAC hace que el mundo corra el riesgo de quedar atrapado en un futuro energético que no pueda salvar el clima. Es preciso dar prioridad a las tecnologías con mayor potencial para ofrecer seguridad y reducir emisiones: las energías renovables y la eficiencia energética.

La [R]evolución energética de Greenpeace ofrece una guía práctica que muestra el modo en el que las energías renovables, combinadas con una mayor eficiencia energética, pueden reducir las emisiones globales de CO₂ en casi la mitad y satisfacer el 50% de las necesidades mundiales de energía para 2050.³⁷

Décadas de progreso tecnológico han sido testigo de cómo las tecnologías de energías renovables, como turbinas eólicas, paneles solares fotovoltaicos, centrales de biomasa y colectores de calor solar han ido avanzando con paso firme hasta situarse entre las principales opciones. Los propios responsables de la formulación de políticas climáticas que mostraban su escepticismo con respecto a la tecnología de CAC han tenido mucha más confianza en la capacidad de las tecnologías renovables para ofrecer reducciones de las emisiones de gases de efecto invernadero. El 74% ha expresado su confianza en el agua caliente solar, el 62%, en los parques eólicos marinos y el 60%, en los parques eólicos terrestres.³⁸

El mercado de las energías renovables está en alza. Décadas de progreso tecnológico han sido testigo de cómo las tecnologías de energías renovables, como turbinas eólicas, paneles solares fotovoltaicos, centrales de biomasa y colectores térmicos solar han ido avanzando con paso firme hasta situarse entre las principales opciones. El mercado de las energías renovables está creciendo espectacularmente; en 2007, la inversión anual en el mundo en energías renovables superó los cien mil millones de dólares.³⁹

Muchos países han reconocido las posibilidades de estas soluciones reales para combatir el cambio climático y están sacando adelante ambiciosos planes para conseguir una revolución energética dentro de sus fronteras. Nueva Zelanda tiene la intención de conseguir la neutralidad en materia de emisiones de carbono para mediados de siglo. Las energías renovables y la eficiencia energética, no la tecnología de CAC, lideran el sector. Nueva Zelanda ya obtiene el 70% de su electricidad de recursos renovables y quiere aumentar este porcentaje al 90% en 2025.⁴⁰ En Alemania, el uso de las energías renovables ha aumentado el 300% en los últimos diez años. En Estados Unidos, se instalaron más de 5.200 megavatios de energía eólica en 2007, lo que representa el 30% de las nuevas energías instaladas ese año y supone un aumento del 45% en un año.⁴¹ España es uno de los países líderes en el desarrollo e implantación de las energías renovables, es el primer país de Europa en el desarrollo de la energía solar termoeléctrica, y el primer país del mundo en desarrollar centrales de torre para esta tecnología. Las energías renovables ya cubrían el 19% de la producción eléctrica en 2006, y la energía eólica alcanzó en marzo de 2008 un nuevo récord cubriendo el 28% de la demanda eléctrica.⁴²

La urgencia del cambio climático hace que las soluciones deban estar listas para su despliegue a gran escala a corto plazo. Pero la tecnología de CAC no puede ofrecer a tiempo estas soluciones. Es muy especulativa y arriesgada y no es probable que sea técnicamente factible en los próximos veinte años. Permitir que la tecnología de CAC se utilice como cortina de humo para construir nuevas centrales térmicas es inaceptable y una falta de responsabilidad. Las centrales 'listas para capturar' (*"capture-ready"*) suponen una amenaza significativa para el clima.

El mundo puede combatir el cambio climático, pero sólo si reduce su dependencia de los combustibles fósiles, en especial del carbón. Las energías renovables y la eficiencia energética son soluciones seguras y rentables que no entrañan ninguno de los riesgos de la tecnología de CAC y están disponibles ya para reducir emisiones y salvar el clima.



Greenpeace realiza una proyección en la central térmica del Fórum 2004, en Sant Adrià del Besòs, cerca de Barcelona, para recordar a los países que participan en la Conferencia Internacional sobre Energías Renovables en Bonn, Alemania, el cumplimiento del Protocolo de Kioto y la necesidad de hacer frente al cambio climático. 1 de junio de 2004.

©GREENPEACE/P. ARMESTRE

Introducción

El informe *Falsas Esperanzas* comienza con una introducción técnica a la Captura y Almacenamiento de Carbono (CAC), en la que se explican las partes del proceso, así como los componentes del sistema. A continuación, explica por qué la tecnología de CAC no estará lista a tiempo para salvar el clima. En esta sección también se explica cómo el sector está utilizando la tecnología de CAC como cortina de humo para conseguir luz verde para construir nuevas centrales térmicas. El informe pasa a continuación a examinar el modo en el que la tecnología de CAC despilfarra energía, lo que hace que las centrales térmicas resulten menos eficientes.

Luego, el informe considera las cuestiones fundamentales asociadas al almacenamiento a gran escala del CO₂, incluido el hecho de que no esté claro si se dispone de espacio suficiente para un almacenamiento de calidad, y los riesgos de las fugas de CO₂, y se explica cómo incluso unos niveles bajos podrían minar los efectos de la mitigación del cambio climático con la tecnología de CAC. Tras ello, el informe señala cómo las aplicaciones a gran escala de esta tecnología son tan caras que resultan prohibitivas y cómo el gasto en proyectos de CAC amenaza con minar las inversiones en medidas asociadas a energías renovables y eficiencia energética, que se necesitan con urgencia para salvar el clima.

A continuación, el informe analiza los significativos riesgos ambientales, económicos, jurídicos, políticos, tecnológicos y de sostenibilidad asociados a la CAC. Detalla el modo en el que las normativas vigentes no están pensadas para gestionar adecuadamente estos riesgos, lo que deja sin respuesta preguntas importantes relativas a la cuestión de sobre quién recaen las responsabilidades.

Por último, el informe destaca que el mundo ya tiene soluciones reales ante el cambio climático. La [R]evolución energética de Greenpeace ofrece una guía práctica que muestra el modo en el que las energías renovables, combinadas con una mayor eficiencia energética, pueden reducir las emisiones globales de CO₂ en casi la mitad y suministrar el 50% de la energía mundial en 2050.⁴³ En el caso de España se puede ir más allá, tal y como demuestra el informe *Renovables 100%*. *Un sistema eléctrico renovable para la España peninsular y su viabilidad económica*, que revela que es viable plantearse un sistema de generación basado al 100% en energías renovables, tanto para cubrir la demanda eléctrica como la demanda de energía total, con unos costes totales perfectamente asumibles y muy favorables respecto a los que podemos esperar en 2050.



Escape de cianuro al medio ambiente en las tuberías de la mina de oro de Aurul (Rumanía).

©GREENPEACE/JIM HODSON

La tecnología de CAC desde un punto de vista técnico

La descripción que se incluye a continuación no pretende ser exhaustiva, pero sí ofrecer una comprensión general de las diferentes etapas de la captura, transporte y almacenamiento de carbono, así como de los componentes del sistema.

El objetivo de la tecnología de CAC es capturar el dióxido de carbono derivado de diversos procesos industriales y de la combustión, y almacenarlo bajo tierra o bajo el fondo marino. Se propone su aplicación a grandes fuentes puntuales de CO₂, como centrales de combustibles fósiles.

La tecnología de Captura y Almacenamiento de Carbono es un proceso integrado que consta de tres partes diferenciadas: captura del carbono, transporte y almacenamiento (que incluye su medición, vigilancia y verificación). A continuación se explican estas partes con mayor detalle.

Captura

La captura del carbono, que es con diferencia la parte que requiere más energía de todo el proceso de CAC, produce una corriente concentrada de CO₂ que puede ser comprimida, transportada y, finalmente, almacenada. En función del proceso o de la central en cuestión, existen tres métodos de captura: precombustión, postcombustión y combustión de oxígeno-gas. Las tasas de captura mediante precombustión y postcombustión suelen oscilar entre el 85% y el 95% del CO₂ emitido, mientras que las tasas de captura por combustión de oxígeno-gas se sitúan en cifras próximas al 98%.⁴⁴

Los sistemas de captura mediante **precombustión** extraen el CO₂ antes de la combustión. Esto se consigue mediante gasificación. La gasificación de combustibles fósiles produce un "gas de síntesis", que es básicamente una mezcla de monóxido de carbono, metano e hidrógeno. Antes de la combustión, el gas de síntesis se hace reaccionar con vapor para producir el CO₂ que, a continuación, se depura de la corriente de gas, por lo general mediante un proceso de absorción física o química.⁴⁵ Los sistemas de precombustión no son una tecnología que cuente con un mercado maduro, pero se pretende conseguir su despliegue en unión de las centrales con tecnología de gasificación integrada con ciclo combinado (IGCC, del inglés *Integrated Gasification and Combined Cycle*). No obstante, es preciso superar algunas dificultades técnicas importantes antes de que se pueda producir la integración a gran escala de la tecnología de CAC con la tecnología de IGCC basada en el carbón.⁴⁶

Las técnicas de **postcombustión** son la práctica habitual para la extracción de contaminantes, como sulfuro, del gas de salida de las centrales térmicas. El gas de salida suele contener hasta un 14% de CO₂, que es necesario separar bien mediante absorción (química o física), criogenia o tecnologías de membrana. Para la captura de CO₂, la absorción química con aminas, como

“No se ha experimentado su funcionamiento con la captura de carbono en centrales térmicas y por supuesto no hay una operación integrada de captura. Aunque ya hay planes para construir instalaciones en las que llevar a cabo una demostración, se cree que puede que esto no sea factible hasta 2030 como muy pronto”

Instituto de Tecnología de Massachusetts, 2007

monoetanolamina (MEA), es el proceso utilizado en la actualidad.⁴⁷ Una vez recuperado, el CO₂ se enfría, se seca y se comprime para su transporte. Se está impulsando el uso de sistemas de postcombustión como una posible alternativa en todo el mundo a las centrales térmicas existentes, para mitigar los efectos del carbón.

La combustión de **oxígeno-gas** quema combustibles fósiles en un 95% de oxígeno puro en vez de hacerlo en el aire. Ello da lugar a un gas de salida con concentraciones elevadas de CO₂ (superiores al 80%) que se puede condensar y comprimir para su transporte y almacenamiento. Antes de que esta tecnología sea viable, es preciso superar algunas dificultades de importancia asociadas al control de la combustión y al coste de la producción de oxígeno.⁴⁸ Hasta la fecha, esta forma de captura de carbono ha estado limitada al laboratorio y a proyectos piloto (de hasta 3 megavatios (MW)).⁴⁹

Transporte

Una vez capturado el CO₂ es preciso transportarlo hasta su lugar de almacenamiento. Las opciones para trasladar el gas de un lugar a otro incluyen gaseoductos, barcos y transporte por ferrocarril y por carretera. Los costes y la proximidad a las aguas dejan los gaseoductos como la elección más probable para la mayoría de las operaciones de CAC.⁵⁰

El transporte de dióxido de carbono por gaseoductos exige la compresión del gas a un estado líquido o supercrítico (denso) para reducir su volumen. Asimismo, requiere una corriente seca y pura de CO₂ para reducir el riesgo de corrosión del gaseoducto. Aunque se pueden transportar corrientes húmedas de CO₂, para hacerlo se podría necesitar acero resistente a la corrosión, que es más caro que los materiales habituales.⁵¹ Los peligros asociados al transporte de CO₂ son relativamente escasos, dado que el CO₂ no es ni inflamable ni explosivo. No obstante, el CO₂ es más denso que el aire y suele concentrarse en áreas bajas mal ventiladas, lo que supone un peligro para la salud humana si alcanza niveles superiores al 3% por volumen.⁵²

El transporte de CO₂ por gaseoductos se utiliza actualmente en EE.UU. En la mitad occidental del país, existen más de 2.500 Km de gaseoductos destinados al transporte de CO₂, por los que se transportan 50 millones de toneladas de CO₂/año⁵³ (una cantidad equivalente a una producción anual de unas 16 centrales térmicas de 500 MW) para la mejora de la producción de petróleo (*Enhanced Oil Recovery*, EOR) en el oeste de Texas y en otras zonas.⁵⁴ Actualmente no existe una infraestructura de este tipo en Europa.⁵⁵ Es probable que la construcción de una red de gaseoductos exclusiva para el traslado de CO₂ desde las centrales hasta emplazamientos para su almacenamiento requiera un desembolso considerable de capital.⁵⁶



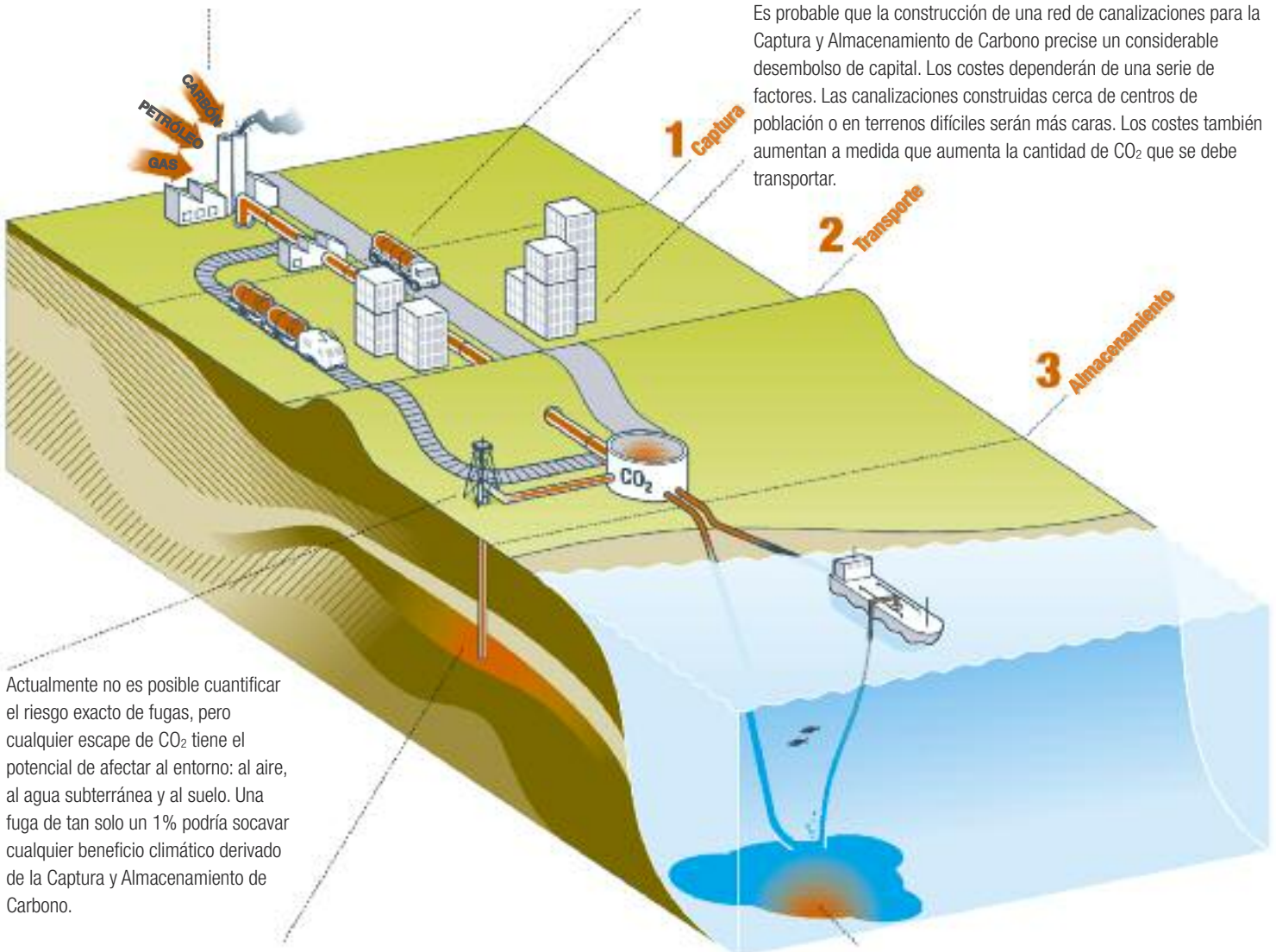
Escape de petróleo y tuberías en Nizhnevartovsk, Siberia occidental

Visión general de la Captura y Almacenamiento de Carbono

La captura de carbono es la parte que precisa más energía de todo el proceso. Los sistemas de captura de carbono aún no se han aplicado a escala de una única instalación en ninguna central térmica del mundo. Se ha estimado que los costes de instalación ascienden a casi el doble de los costes de la planta. Las reconversiones resultarían aún más caras.

El CO₂ puede transportarse a una ubicación de almacenamiento mediante canalizaciones, por vía marítima, por ferrocarril o por carretera. Las consideraciones de los costes y la proximidad a la costa o a cauces fluviales hacen que las canalizaciones sean la opción más probable para la mayoría de operaciones de captura y almacenamiento de carbono.

Es probable que la construcción de una red de canalizaciones para la Captura y Almacenamiento de Carbono precise un considerable desembolso de capital. Los costes dependerán de una serie de factores. Las canalizaciones construidas cerca de centros de población o en terrenos difíciles serán más caras. Los costes también aumentan a medida que aumenta la cantidad de CO₂ que se debe transportar.



Mediante el almacenamiento geológico, el CO₂ se inyecta en formaciones rocosas permeables por debajo de la superficie de la Tierra. La Agencia Internacional de la Energía estima que en 2050 se necesitará que haya como mínimo 6.000 proyectos de almacenamiento en marcha, cada uno de los cuales inyectará un millón de toneladas de CO₂ al año en el subsuelo. Actualmente sólo hay tres proyectos de almacenamiento de este tipo en todo el mundo.

El almacenamiento de CO₂ en el océano ya se ha descartado ampliamente debido a los impactos negativos inevitables sobre el entorno oceánico como consecuencia de la acidificación y de otros cambios producidos en las propiedades químicas del océano.

Si se da por sentado que se alcanza la viabilidad comercial, diversos estudios de situaciones hipotéticas indican que, para 2050, sólo entre el 20% y el 40% de las emisiones globales de CO₂ procedentes de combustibles fósiles podrían ser aptas técnicamente para su captura. Esto incluye entre el 30% y el 60% de las emisiones del sector energético. Por lo tanto, hasta el 70% de las emisiones procedentes de la generación de energía pueden ni siquiera ser técnicamente aptas para la tecnología de CAC en 2050.

Almacenamiento

El componente último de la tecnología de CAC es el almacenamiento, es decir, el aislamiento a largo plazo del CO₂ de la atmósfera. Son varias las “opciones de almacenamiento” y técnicas asociadas a ellas que están en diferentes etapas de investigación y desarrollo. Incluyen métodos para almacenamiento geológico y marino. Además del almacenamiento físico real del CO₂ en estos emplazamientos, están en fase de desarrollo los procesos subsiguientes de medición, vigilancia y verificación que son necesarios para garantizar que se mantiene la integridad del emplazamiento elegido como lugar de almacenamiento.

El almacenamiento **marino** es, en teoría, el almacenamiento de CO₂ en el interior de una columna de agua o en el fondo del mar en aguas profundas. Sin embargo, diversas cuestiones relativas a la eficacia y el impacto negativo directo en torno al sitio de inyección hacen que este método haya quedado ahora en gran medida desacreditado.

Sin duda los océanos sirven como depósitos naturales para el carbono; el CO₂ de la atmósfera se disuelve gradualmente en las aguas superficiales de los océanos hasta que se alcanza un equilibrio. En los últimos 200 años, los océanos han absorbido unas 500 gigatoneladas (Gt) de CO₂ de un total de 1300 Gt emitidas mediante procesos llevados a cabo por el hombre.⁵⁷ Los defensores del almacenamiento de CO₂ en el océano tratan de “acelerar” este proceso natural mediante la inyección de CO₂ directamente en el agua o en el lecho marino a través de gaseoductos. Sin embargo, este almacenamiento no es permanente. Una vez en el océano, el CO₂ termina por disolverse, dispersarse y volver a la atmósfera dentro del ciclo global del carbono. Algunos modelos apuntan a que el CO₂ inyectado se mantendría aislado de la atmósfera durante varios cientos de años en el mejor de los casos y sería la profundidad de la inyección lo que determinaría la duración del almacenamiento.⁵⁸

Además de no ser permanente, el almacenamiento marino plantea otros muchos problemas de importancia. El CO₂ almacenado de este modo no puede ser fácilmente vigilado ni controlado y es inevitable el impacto negativo en el entorno marino como consecuencia de la acidificación y de otros cambios en la química del océano.⁵⁹ El almacenamiento en los océanos sigue estando en fase de investigación y aún no ha sido

desarrollado ni se ha demostrado siquiera en proyectos piloto.⁶⁰ De hecho, hay instrumentos jurídicos internacionales, como el Protocolo de Londres⁶¹ y el convenio OSPAR, que ya lo prohíben.

El almacenamiento **geológico** supone inyectar el CO₂ en formaciones rocosas permeables selladas con unidades de roca densa impermeable (cubiertas de roca impermeable) a más de 800 metros de profundidad. En la práctica, tanto las formaciones sedimentarias marinas como terrestres pueden servir como depósitos. El almacenamiento geológico comprende una combinación de mecanismos de retención físicos y geológicos (véase la Figura 1). Uno de estos mecanismos supone la retención del CO₂ en forma de precipitados o en fases adsorbidas mediante reacciones con los sólidos del acuífero. Este proceso, conocido como retención mineral, es lento ya que tarda mucho en realizarse si se compara con la retención por solubilidad. En este último método, el mecanismo de almacenamiento se basa en la disolución o mezcla del CO₂ con el agua presente en la formación geológica. Cuando el CO₂ se inyecta en un depósito, también desplaza el agua presente en la formación geológica. Los procesos químicos exactos que tienen lugar dependen tanto de la formación rocosa como de la pureza de la corriente de CO₂.

Los cuatro tipos de depósitos geológicos que han recibido más atención son: acuíferos salinos profundos, pozos de petróleo y gas agotados, proyectos de mejora de la producción de petróleo y filones de carbón profundos.

- Los **acuíferos salinos profundos** son roca porosa que contiene agua muy salina. Su profundidad y sus elevadas concentraciones de sólidos hacen que tengan escaso valor económico; por ello, resultan muy atractivos como emplazamientos para el almacenamiento. Las estimaciones sobre su capacidad no son nada claras, pero, en la mayoría de los casos, se da por sentado que tienen un potencial técnico de almacenamiento de CO₂ de al menos 1000 Gt.⁶² El principal obstáculo a la explotación al máximo de esta opción de almacenamiento es demostrar que es posible garantizar la seguridad y la protección del medio ambiente.⁶³

Desde 1996, se está llevando a cabo un gran proyecto de almacenamiento en acuíferos salinos profundos, denominado *Sleipner*, frente a las costas de Noruega, en el Mar del Norte. *Sleipner* es una aplicación de



Activistas de Greenpeace escalan la chimenea de la térmica *Hatfield's Ferry* (EE.UU.), para denunciar el plan de Bush sobre energías sucias.

Esta central es un ejemplo y un símbolo de la política energética sucia de la Administración Bush que favorece los combustibles fósiles respecto de las fuentes de energías limpias. Está bajo investigación por la EPA por violar la ley sobre Aire Limpio. La investigación fue abandonada en 2001. Greenpeace demanda investigación federal en energías limpias.

Figura 1 Mecanismos de retención

El almacenamiento subterráneo de CO₂ se basa en la capacidad de los mecanismos de retención física y química para inmovilizar permanentemente el CO₂ y almacenarlo para siempre. Este es el proceso físico de retención del CO₂ residual y el proceso químico de retención mineral y mediante solubilidad que transcurre a lo largo del tiempo.

Fuente: IPCC, 2005

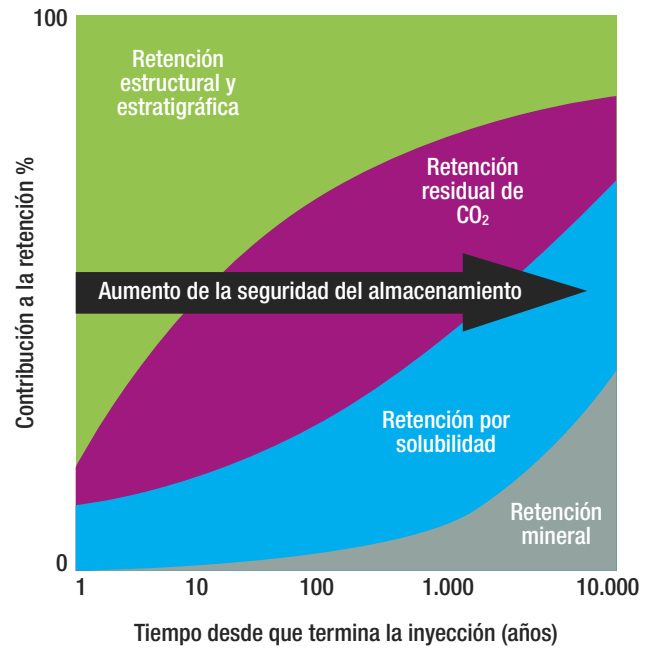


Tabla 1 Mecanismos de retención geológica

Estructural	Cuando el CO ₂ se inyecta bajo tierra a una gran profundidad, flota más que el agua, en principio, y se elevará a través de las rocas porosas hasta que alcance la parte superior de la formación, donde puede quedar atrapado por una capa impermeable formada por una cubierta de roca impermeable, como esquisto.
Residual	A medida que el CO ₂ migra a través de una formación, parte de él queda retenido en el espacio poroso por fuerzas capilares. Esto puede hacer que queden inmovilizadas cantidades significativas de CO ₂ .
Retención por solubilidad	Cuando el CO ₂ se disuelve en el agua presente en la formación geológica. El CO ₂ deja de existir como fase distinta y la fuerza de empuje que lo impulsa hacia arriba queda eliminada. Su disolución es rápida cuando el agua presente en la formación geológica y el CO ₂ comparten el mismo espacio poroso.
Mineral	El CO ₂ , cuando está disuelto en agua, es levemente ácido y puede reaccionar con minerales en la formación geológica. Esto puede dar lugar a la conversión de CO ₂ en carbonatos minerales estables, la forma más permanente de almacenamiento geológico.

Fuente: IPCC, 2005

almacenamiento de carbono no destinado a la generación de energía que despoja el CO₂ del gas natural mientras es transportado desde el fondo del mar y lo reinyecta en una formación salina profunda, conocida como la formación de arenisca Utsira. La tasa de inyección en este proyecto es de aproximadamente una tonelada métrica (Mt) de CO₂ al año,⁶⁴ una cantidad igual a las emisiones de CO₂ de una central térmica típica de 150 MW situada en EE.UU.⁶⁵

- **Los yacimientos de petróleo y gas agotados**

contienen una combinación de agua e hidrocarburos en sus espacios porosos, dado que, durante la explotación, no se puede extraer todo el gas y el petróleo. Estos depósitos son, probablemente, los que mejor se han descrito de todas las opciones de almacenamiento disponibles. El Informe Especial sobre CAC del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) calcula que el potencial técnico de almacenamiento de estos depósitos oscila entre las 675 Gt y las 900 Gt de CO₂.⁶⁶

- **El mejoramiento de la producción de petróleo (EOR)**

supone inyectar en formaciones geológicas para conseguir un aumento de la extracción de petróleo. El proyecto más conocido de mejora de la producción de petróleo con CO₂ se localiza en el sudeste de Saskatchewan, en Canadá, en el yacimiento Weyburn. Este proyecto utiliza residuos de CO₂ transportados desde una planta de gasificación de Dakota del Norte. Hasta hoy es el único proyecto de este tipo que cuenta con vigilancia con el único fin de comprender el almacenamiento de CO₂. En Weyburn, el almacenamiento de CO₂ con respecto al índice de producción de petróleo está en una proporción uno a uno, por tonelada base.⁶⁷ Se prevé que, durante 25 años de duración del proyecto, unos 18 millones de toneladas del CO₂ inyectado en el subsuelo produzcan aproximadamente 130 millones de barriles de crudo.⁶⁸

Los defensores de la tecnología de CAC abogan por el valor potencial de esta forma de almacenamiento geológico, dado que proporciona unas fuentes de ingresos suplementarias (mediante la venta del crudo extraído), lo que reduce los costes globales del proceso de CAC. Aunque esto puede ser verdad en el caso de algunos proyectos de pequeña envergadura puestos en marcha en las fases iniciales del desarrollo de la CAC, "los puntos con mejora de la producción de petróleo son, en última instancia, demasiado pocos y están demasiado aislados geográficamente como para dar cabida a gran parte del CO₂ procedente de las operaciones industriales generalizadas de captura de CO₂".⁶⁹ A su vez, aunque el petróleo no costea la tecnología de CAC, (como se muestra en la página 29), la mejora de la producción de petróleo no siempre permite compensar los costes de la CAC.

- Los **filones de carbón profundos** son depósitos de carbón que no se han podido extraer debido a limitaciones económicas o tecnológicas. El CO₂ se almacena en estos enclaves mediante un mecanismo de adsorción de gases que da lugar a la liberación de metano. Este metano contenido en las capas de carbón (ECBM, del inglés *Enhanced Coalbed Methane*) se podría extraer, potencialmente, y utilizarse para compensar los costes de la tecnología de CAC. El atractivo inmediato de estos emplazamientos está limitado por problemas técnicos de importancia asociados a la inyección de CO₂ y a los subsiguientes procesos de almacenamiento.⁷⁰ Se desconoce la capacidad técnica de almacenamiento y podría ser de tan solo 3 Gt de CO₂ o llegar a 200 Gt.⁷¹

Central de lignito de RWE, en Frimmersdorf,
la central térmica de carbón alemana más contaminante.

©GREENPEACE/SABINE VIELMO



Ingentes columnas de humo salen por la chimenea, en Portrait. El plástico se usa como combustible en la cementera y por lo tanto emite compuestos orgánicos persistentes tras la combustión.

©GREENPEACE / J CUNNINGHAM



Disipar la cortina de humo

La tecnología de CAC no es la panacea para el cambio climático como sus defensores aseguran y, en cualquier caso, tendrán que pasar años para que esté lista para su comercialización. Por el momento, “hay aún muchas preguntas sin respuesta relativas a las aplicaciones seguras, socialmente compatibles y ecológica y económicamente sólidas de la tecnología de CAC”.⁷² El sector tiende a pasarlas por alto cuando propone construir centrales 'listas para capturar' que agravarán la crisis climática.

A continuación, se exponen cinco razones por las cuales la tecnología de CAC no debería admitirse como justificación para construir nuevas centrales térmicas ni para continuar con la dependencia del carbón a largo plazo.

4.1

La tecnología de CAC no puede ofrecer una solución a tiempo para salvar el clima

Todas las decisiones adoptadas sobre nuevas centrales hoy en día influirán en la combinación de fuentes de energía de los próximos 30 a 40 años. La urgencia del cambio climático hace que las soluciones deban estar listas para su despliegue a gran escala a corto plazo. Pero la tecnología de CAC no puede ofrecer a tiempo estas soluciones.

A pesar de que algunos componentes del sistema de CAC ya se están comercializando (la mayoría en la industria del petróleo y del gas), "no se ha experimentado su funcionamiento con la captura de carbono en centrales térmicas y por supuesto no hay una operación integrada de captura".⁷³ Aunque ya hay planes para construir instalaciones en las que llevar a cabo una demostración, se cree que puede que esto no sea

factible hasta 2030 como muy pronto.⁷⁴

El Programa para el Desarrollo de las Naciones Unidas (PDNU) llega a la conclusión de que la tecnología de CAC "llegará al campo de batalla demasiado tarde para ayudar al mundo a evitar el peligroso cambio climático".⁷⁵

Centrales 'listas para capturar'

Los defensores de la CAC pasan por alto el hecho de que la tecnología no está a punto al proponer la construcción de centrales 'listas para capturar' ("capture-ready"). Este término no hace referencia a un tipo concreto de tecnología, sino, más bien, a una forma de funcionamiento de una central generadora de energía. Aunque no hay una definición fijada de 'lista para capturar', la Agencia Internacional de la Energía (AIE) lo describe como aquella central que se puede modernizar para permitir la captura de CO₂ cuando se aplican los factores económicos o reguladores necesarios.⁷⁶ Esta definición es lo suficientemente amplia como para convertir cualquier central en 'lista para capturar' en teoría y hacer que este término carezca de sentido.

El concepto de centrales 'listas para capturar' permite que, hoy en día, se construyan nuevas centrales térmicas sin ofrecer garantía alguna de que las emisiones quedarán mitigadas en el futuro. En vez de ofrecer una solución concreta para combatir el cambio climático, confía en la promesa de una tecnología no demostrada y

En un informe realizado para el Ministerio de Medio Ambiente de Alemania, el *Fraunhofer Institut* considera que la adopción a gran escala de la tecnología de CAC podría acabar con las ventajas de eficiencia conseguidas en los últimos 50 años y aumentar en un tercio el consumo de recursos.

hace correr el riesgo de quedar atrapados en un futuro energético que no pueda proteger el clima.

En el Reino Unido, por ejemplo, una nueva central térmica en Kingsnorth (Kent) que se pretende construir se está vendiendo como 'lista para capturar'. Sin embargo, esto no quiere decir que la nueva central pueda capturar y almacenar carbono; simplemente estará preparada para incorporar la tecnología de CAC en caso de que llegue a ser viable en el futuro y nadie tiene la más mínima idea de si esto se producirá. Mientras tanto, y posiblemente durante todo su ciclo de vida, Kingsnorth (si llega a construirse) emitirá unos 8 millones de toneladas de CO₂ al año, una cantidad equivalente a la cantidad total de emisiones anuales de CO₂ de Ghana.⁷⁷

Algunas cancelaciones recientes de proyectos permiten resaltar algunos de los problemas técnicos y económicos asociados a la tecnología de CAC. En 2007, se abandonaron al menos once proyectos de CAC; se estancaron los planes de nuevos proyectos; y el ritmo de desarrollo de los proyectos existentes se ralentizó considerablemente.⁷⁸ Hace poco, el Departamento de Energía de EE.UU. abandonó su buque insignia en CAC, el proyecto FutureGen, alegando dificultades con los costes (véase EE.UU. abandona su buque insignia en CAC, página 37). Los retrasos y el exceso de costes ha originado también cancelaciones de proyectos en el Reino Unido, Canadá y Noruega.

Asimismo, es significativo que la tecnología de CAC no recibiera el voto de confianza en una encuesta llevada a cabo entre 1000 "responsables de políticas climáticas y personalidades influyentes" de todo el mundo. El estudio, llevado a cabo por *GlobeScan*, la Unión Mundial para la Naturaleza (IUCN) y el Banco Mundial, revela dudas considerables sobre la CAC. Sólo el 34% de los encuestados confiaba en que la modernización con tecnología de "carbón limpio" pudiera reducir las emisiones de CO₂ en los próximos 25 años sin efectos secundarios inaceptables y sólo el 36% confiaba en la capacidad de la tecnología de "carbón limpio" para suministrar a las nuevas centrales energía baja en carbono. En cambio, el 74% expresó su confianza en la capacidad del agua caliente solar para ofrecer esta solución; el 62%, en los parques eólicos marinos; el 60%, en los parques eólicos terrestres; y el 51%, en centrales que combinaran la electricidad y el calor.⁷⁹

Una central térmica construida hoy en día, sea o no 'lista para capturar', agrava la crisis climática. Mantener el

status quo con la esperanza de que la CAC pueda ser la solución algún día no es una estrategia para mitigar el cambio climático.

Potencial de reducción de emisiones

Aunque la tecnología de CAC estuviera lista, el IPCC señala que su despliegue sólo se produciría si se aplicaran los mecanismos de financiación y las políticas apropiadas (incluido un gravamen sobre el carbono). Como consecuencia, considera que la adopción de esta tecnología no se produciría a gran escala hasta la segunda mitad de este siglo.⁸⁰

Si se da por sentado que se alcanza la viabilidad comercial, diversos estudios de situaciones hipotéticas indican que, para 2050, sólo entre el 20% y el 40% de las emisiones globales de CO₂ procedentes de combustibles fósiles podrían ser aptas técnicamente para su captura.⁸¹ Esto incluye entre el 30% y el 60% de las emisiones del sector energético.⁸² Por lo tanto, hasta el 70% de las emisiones procedentes de la generación de energía no pueden ser ni siquiera técnicamente aptas para la tecnología CAC en 2050. Además, este porcentaje no tiene en cuenta que, con frecuencia, las centrales estarán alejadas de los lugares de almacenamiento.

En Australia, la tecnología de CAC daría lugar, en el mejor de los casos, a una reducción de las emisiones en un 9% en 2030 y a una reducción acumulada de las emisiones de tan sólo el 2,4% entre 2005 y 2030.⁸³ Ello se debe en parte a la falta de emplazamientos adecuados para el almacenamiento. Por ejemplo, en el área de Newcastle-Sydney-Wollongong en Nueva Gales del Sur y en Port Augusta en el sur de Australia, que en total producen alrededor del 39% de las emisiones netas de CO₂ de Australia en la actualidad, procedentes de la generación de electricidad, no hay emplazamientos identificados para el almacenamiento en un área de 500 Km en torno a las centrales térmicas.⁸⁴ En cambio, un aumento modesto de la eficiencia energética podría reducir en 2030, con un coste cero o incluso negativo, las emisiones en un porcentaje muy similar, y las emisiones acumuladas serían dos veces menores.⁸⁵

Los científicos expertos en cuestiones climáticas advierten de que las emisiones globales deberán alcanzar sus cotas máximas en 2015, tan solo dentro de siete años. La tecnología de CAC no puede conseguir las reducciones necesarias de emisiones de gases de efecto invernadero para alcanzar este objetivo.



Central de lignito de RWE, en Frimmersdorf, la central térmica de carbón alemana más contaminante.

4.2

La tecnología de CAC despilfarra energía

Confiar en la tecnología de CAC para mitigar las emisiones de CO₂ supone aceptar una pérdida de energía comprendida entre el 10% y el 40% en la central, dependiendo del tipo de tecnología usada.⁸⁶ Una pérdida de energía de tan solo el 20% exigirá la construcción de una central adicional por cada cuatro centrales del mismo tamaño construidas con CAC, con el fin de mantener la misma producción neta antes de que se implantara la tecnología de CAC.⁸⁷

Estas reducciones de eficiencia exigirán la extracción de más carbón en las minas, así como su transporte y combustión, para producir la misma cantidad de energía que una central sin la tecnología de CAC. Una nueva central térmica de 500 MWe de carbón pulverizado subcrítico (CP) con captura de carbono tendrá que quemar 76.000 kg de carbón adicionales cada hora para mantener la misma producción neta que una central de tamaño similar sin captura. Una unidad de CP ultracrítico exigirá un aumento de la tasa de alimentación de carbón de 44.000 kg/hora (véase la tabla 2).⁸⁸ La tecnología de CAC no sólo agravaría los problemas de seguridad de los combustibles, sino que intensificaría los principales problemas ambientales identificados asociados a la extracción y transporte del carbón, incluida la destrucción de hábitats, el daño a los ríos y cauces y la contaminación atmosférica.

Las pérdidas de eficiencia de las centrales serían más acusadas cuando se modernizaran las infraestructuras existentes con sistemas de captura. Ello se debe a que los desequilibrios técnicos entre las centrales y los sistemas de captura hacen que los componentes funcionen por debajo de sus niveles de capacidad reales. Estos desequilibrios son más acusados con unidades de carbón pulverizado subcrítico. Según un estudio llevado a cabo por *Alstom Power, Inc.*, la adición de la depuración del gas de escape MEA a una unidad de carbón pulverizado de 500 MWe reduciría la eficiencia en 14,5 puntos porcentuales (de una eficiencia del 35% al 20,5%) y los costes en 1600 dólares/KWe.⁸⁹ La pérdida sustancial de eficiencia unida al elevado coste de modernización de estos tipos de centrales para permitir la captura de carbono hace pensar que es probable que un

gran porcentaje de las centrales térmicas existentes nunca pueda ser modernizado para permitir la captura de carbono.

La decisión acerca de modernizar o no las centrales para permitir la captura de carbono también depende de la proximidad de la central a un enclave de captura, las infraestructuras necesarias para hacer llegar el CO₂ y la disponibilidad de recursos adicionales, como agua. Lo más probable es que nunca se capture el carbono emitido por las numerosas centrales térmicas que está previsto que se construyan desde ahora hasta el momento en que la tecnología de CAC pueda estar lista para su despliegue comercial y que éstas sigan contaminando por igual hasta su cierre.

La tecnología de CAC no sólo reduce la eficiencia energética, sino que también aumenta el consumo de recursos. Un estudio realizado por Rubin y sus colaboradores (2005) cuantificaba el impacto de los sistemas de captura sobre el consumo de recursos de la central y las tasas de emisión. Para una central térmica de CP de 500 MWe equipada con captura de carbono, se aceptó que una pérdida energética del 24% había dado lugar a un aumento de aproximadamente el 25% del consumo de combustible, piedra caliza (para el sistema de desulfuración de los gases de salida) y amoníaco (para el control de óxido de nitrógeno) (véase la Tabla 3).⁹⁰ Según un análisis del Departamento de Energía estadounidense sobre las necesidades de agua dulce para la captura de carbono, el despliegue de la tecnología de CAC en centrales térmicas de CP con lavadores de gas y centrales con la tecnología de IGCC aumentaría el consumo de agua en un 90% (entre 8,3 y 16,2 mil millones de litros de agua al día) en 2030 en todas las situaciones estudiadas.⁹¹ En un informe realizado para el Ministerio de Medio Ambiente de Alemania, el *Fraunhofer Institut* considera que la adopción a gran escala de la tecnología de CAC podría acabar con las ventajas de eficiencia conseguidas en los últimos 50 años y aumentar en un tercio el consumo de recursos.⁹²

El 50% de la solución al problema de la crisis climática es conseguir una mayor eficiencia energética.⁹³ El uso de una tecnología que reduzca la eficiencia energética de las centrales térmicas no dará lugar al futuro de energía sostenible necesario para proteger el clima.

La Agencia Internacional de la Energía (AIE) calcula que la cantidad de CO₂ que será preciso capturar y almacenar en 2050 para conseguir mitigar de forma significativa el cambio climático exigirá 6.000 proyectos, cada uno de los cuales deberá inyectar en el subsuelo un millón de toneladas métricas de CO₂ al año. Actualmente sólo existen tres proyectos como estos en todo el mundo.

Tabla 2 Rendimiento de centrales térmicas de carbón pulverizado (CP) mediante soplado de aire con y sin tecnología de CAC

	CP subcrítico		CP supercrítico		CP ultrasupercrítico	
	sin captura	con captura	sin captura	con captura	sin captura	con captura
Rendimiento						
Eficiencia generada (HHV)	34,3%	25,1%	38,5%	29,3%	43,3%	34,1%
Tasa de alimentación de carbón, Kg/h	208.000	284.000	185.000	243.000	164.000	209.000
CO ₂ emitido, Kg/h	466.000	63.600	415.000	54.500	369.000	46.800
CO ₂ emitido, g/kWe-h*	931	127	830	109	738	94

La central de referencia tiene 500 MWe, factor de capacidad del 85%; *supone una tasa de captura del 90%
Fuente: MIT 2007

Tabla 3 Impacto del sistema de CAC en el consumo de recursos y las tasas de emisión

Parámetro de la central con captura	Central de referencia*	Central de referencia con captura
	Tasa	Incremento
Consumo de recursos (todos los valores en Kg/MWh)		
Combustible	390	93
Piedra caliza	27.5	6.8
Amoníaco	0.80	0.19
Reactivos para CAC	2.76	2.76
Residuos sólidos/subproductos		
Cenizas/escoria	28.1	6.7
Residuos de la desulfuración de los gases de combustión (FGD)	49.6	12.2
Sorbente de CAC gastado	–	4.05

* La central de referencia es una nueva central térmica de carbón pulverizado de 500 MWe. Se supone que la pérdida de energía asociada a la instalación de la tecnología de CAC es del 24%.
Fuente: Rubin y col., 2005b



Clausura de tuberías de residuos industriales que durante más de 25 años han vertido más de 1000 toneladas diarias al Mediterráneo en la Bahía de Portman, cerca de Cartagena, España.

4.3

Almacenamiento en la tecnología de CAC: ¿dónde irá todo el CO₂? ¿se mantendrá allí para siempre?

La mayoría de las hipótesis sobre estabilización de los niveles atmosféricos de CO₂ entre 450 y 750 partes por millón (ppm) sitúan el potencial económico de la CAC entre 220 y 2200 gigatoneladas (Gt) de CO₂ de forma acumulada.⁹⁴ Es probable que una gran parte del CO₂ capturado se almacene en formaciones geológicas. El reto de almacenar muchas gigatoneladas de dióxido de carbono bajo tierra es garantizar que permanecerá allí de forma indefinida: para obtener un posible beneficio climático, el CO₂ enterrado deberá permanecer bajo tierra para siempre. Sin embargo, no es posible garantizar un almacenamiento seguro y permanente. El mundo no tiene experiencia en almacenar nada de forma deliberada durante un plazo de tiempo prolongado, y mucho menos en almacenar CO₂. El proyecto de almacenamiento que lleva más tiempo en marcha, *Steipner* en Noruega, sólo tiene 12 años de vida. Aunque algunos depósitos geológicos podrían reunir la combinación específica de características físicas y procesos químicos que atrapan el CO₂ inyectado y, básicamente, lo retienen para siempre, no se dispone de datos suficientes ni de experiencia en la práctica para saber si son suficientes.

Estimaciones sobre almacenamiento

Los esfuerzos por capturar dióxido de carbono no tienen sentido si no se dispone de espacio suficiente para almacenarlo de forma permanente. Las emisiones globales antropogénicas de CO₂ rondan las 26 Gt al año y crecen a un ritmo del 0,5% anual aproximadamente.⁹⁶ Desde un punto de vista exclusivamente técnico, las estimaciones que no incluyen factores económicos y de transporte indican que hay capacidad suficiente para almacenar las emisiones de CO₂ durante varias décadas o varios cientos de años.⁹⁷ Se cree que los acuíferos salinos profundos ofrecen el mayor potencial, seguidos por yacimientos de gas y petróleo agotados y filones de carbón.

No obstante, según el informe *The Future of Coal* del *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), hay muchas dudas en las estimaciones sobre almacenamiento. Aunque la mayoría respalda la opinión de que hay capacidad suficiente para almacenar entre muchos

cientos y muchos miles de gigatoneladas de CO₂, este rango impreciso es demasiado amplio como para conformar una política razonable.⁹⁸ Esto se debe al uso de una metodología inadecuada, a la falta de datos fiables y al carácter diverso de las formaciones geológicas. Se dispone de muy poca información para evaluar la mayor parte de los posibles depósitos de almacenamiento disponibles; los cálculos de niveles en cada país se basan generalmente en valores promedio modelados y, por lo tanto, siguen siendo una fuente de dudas considerable.⁹⁹

La mayor parte de estas estimaciones cuantifican la capacidad técnica partiendo de la base de que la totalidad de un depósito sea accesible para almacenar CO₂ en su volumen poroso.¹⁰⁰ Esto puede llevar fácilmente a cifras elevadas que poco tienen que ver con la realidad, dado que la parte de volumen poroso que se puede utilizar para el almacenamiento de CO₂ es específica del emplazamiento y depende de factores como el ritmo de inyección, la permeabilidad relativa, la densidad y movilidad de los fluidos y la heterogeneidad de las rocas.¹⁰¹ Un depósito geológico con capacidad enorme pero sin inyectividad se incluiría, por ejemplo, en una estimación de la capacidad técnica, aunque nunca pudiera utilizarse.¹⁰²

Las limitaciones técnicas, normativas y económicas que impedirán siempre el uso íntegro de la capacidad de almacenamiento reduce rápidamente las estimaciones sobre capacidad. Por ejemplo, las formaciones salinas profundas parecen tener el mayor potencial de almacenamiento (véase la tabla 4), pero diversas estimaciones de capacidad que tienen en cuenta limitaciones tecnológicas y económicas sitúan la capacidad real de almacenamiento factible entre 200 Gt y 500 Gt de CO₂.¹⁰³ Si se añaden las limitaciones de la ubicación conjunta de las fuentes de CO₂ y de los emplazamientos para almacenamiento (también conocida como combinación de la fuente con el depósito), se podrían reducir fácilmente esas cifras, además de que esa adición es un factor determinante.

Los costes aumentan cuanto más lejos hay que transportar el CO₂. Según la *Commonwealth Scientific and Industry Research Organisation* (CSIRO) de Australia, “el transporte de dióxido de carbono a distancias superiores a cien kilómetros puede resultar muy caro y prohibitivo... Salvo que el coste se pueda reducir considerablemente, no será factible transportar el dióxido

Visión general de las opciones de almacenamiento geológico

1. Vetas carboníferas profundas

En estas formaciones, el CO₂ se almacena mediante un mecanismo que provoca la liberación de metano. Importantes problemas técnicos relacionados con la inyección de CO₂ y los procesos de almacenamiento subsiguientes limitan el atractivo inmediato de estos emplazamientos.

2. Reservas de petróleo y gas agotadas

Estas reservas suelen ser las que ofrecen mejores características entre todas las opciones de almacenamiento disponibles. Sin embargo, los múltiples agujeros y pozos taladrados para encontrar y extraer el petróleo y el gas pueden aumentar el riesgo de que se produzcan fugas en las operaciones de almacenamiento.

3. Recuperación mejorada del petróleo (EOR)

La EOR implica la inyección de CO₂ en las formaciones geológicas para mejorar la recuperación del petróleo. Los emplazamientos de EOR son muy escasos y demasiado aislados geográficamente como para poder contener buena parte del CO₂ procedente de las dispersas operaciones de captura.

4. Formaciones salinas profundas (a) en tierra (b) mar adentro

Los acuíferos salinos profundos son roca porosa que contienen agua muy salina. Los obstáculos más importantes para la explotación completa de esta opción de almacenamiento son su caracterización precisa y la demostración de que se pueda asegurar la seguridad y la protección medioambiental.

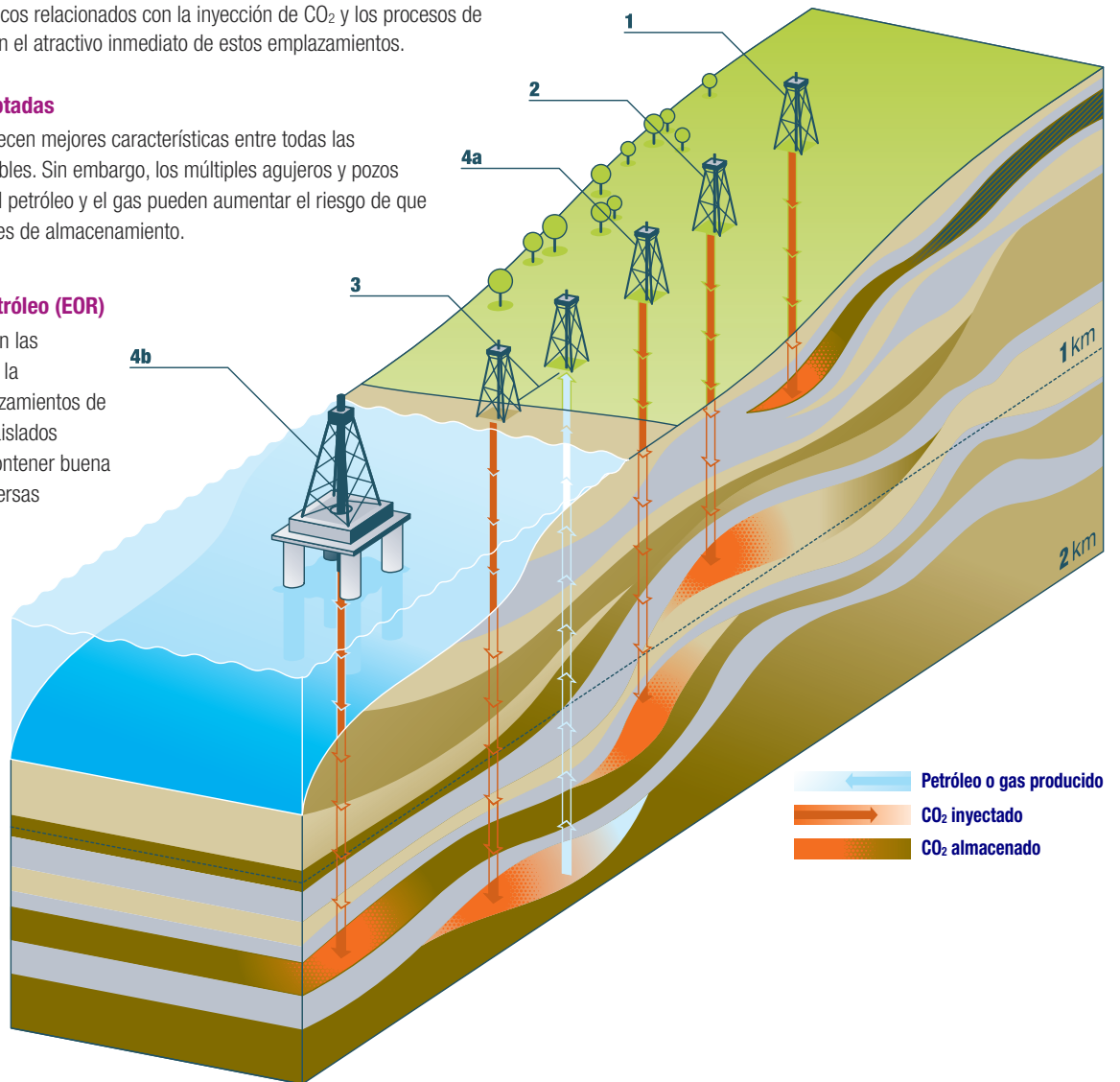
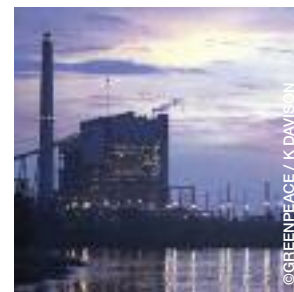


Tabla 4 Estimación de la capacidad de almacenamiento geológico

Tipo de depósito	Ámbito (Gt de CO ₂)
Formaciones salinas profundas	1000 incierto, pero posiblemente 10.000
Campos petrolíferos y de gas	675-900
Vetas carboníferas profundas	3-200

Fuente: IPCC, 2005



La mayor central térmica de carbón de Filipinas, en Sual, en la provincia de Pangasinan.

de carbono largas distancias".¹⁰⁴ Los emplazamientos para almacenamiento de calidad no son de utilidad si la fuente de CO₂ está demasiado alejada de ellos. Es obvio que las estimaciones actuales no reflejan de forma realista la capacidad de almacenamiento de la que se dispone para la captura de CO₂.

Implantación progresiva

Lograr las reducciones sustanciales de emisiones de CO₂ necesarias para evitar un cambio climático peligroso exigirá un amplio despliegue de la tecnología de CAC en un periodo relativamente corto de tiempo. Las emisiones globales del carbón son en la actualidad 2,5 Gt de carbono al año. La captura y almacenamiento de tan solo 1 Gt de carbono (3,6 Gt de CO₂) requeriría la inyección de aproximadamente 50 millones de barriles de CO₂ supercrítico al día procedente de unas 600 centrales térmicas de 1.000 MWe.¹⁰⁵ La AIE estima que la cantidad de emisiones de CO₂ que es preciso capturar y almacenar para 2050 está en torno a los 6.000 proyectos, cada uno de los cuales inyectaría un millón de toneladas de CO₂ al año en el subsuelo.¹⁰⁶ También sería preciso construir la gran infraestructura necesaria para capturar y transportar el CO₂ desde fuentes puntuales diversas y distribuidas por una amplia zona.

Sólo en EE.UU., reducir las emisiones de CO₂ procedentes del sector de la electricidad podría requerir 200 proyectos, cada uno con tasas de inyección 10 veces superiores a las de *Sleipner*.¹⁰⁷ El Departamento de Energía estadounidense calcula que el país dispone de capacidad técnica suficiente para almacenar CO₂ durante un periodo de tiempo que va de decenas a cientos de años.¹⁰⁸ Sin embargo, un informe reciente de los Servicios de Investigación del Congreso estadounidense (*Congressional Research Services*) muestra que, en la práctica, los hechos complican enormemente el panorama. Este informe examina varias hipótesis para el desarrollo de gaseoductos en una región de siete estados. La hipótesis modelo consideraba emisiones de CO₂ procedentes de las once mayores fuentes de CO₂, todas ellas centrales térmicas.¹⁰⁹

En el informe, la primera opción de almacenamiento considerada es la formación de arenisca *Rose Run*, una formación salina profunda, muy próxima a las fuentes de CO₂. Aunque su proximidad es perfecta, el emplazamiento presenta muchos problemas, incluida una capacidad de almacenamiento limitada, escasa permeabilidad e integridad dudosa (es decir, riesgo

elevado de fugas).¹¹⁰ La segunda opción de almacenamiento examinada incluye una combinación de capas de carbón y yacimientos de gas y petróleo agotados en la zona. En zonas más alejadas de *Rose Run*, estos emplazamientos tendrían una utilidad escasa. Las capas de carbón carecen de suficiente capacidad de almacenamiento y la viabilidad de almacenar CO₂ en filones de carbón prácticamente no se ha probado. Los yacimientos de gas y de petróleo carecen de la capacidad suficiente y la posibilidad de fugas es un problema ocasionado principalmente por los numerosos orificios realizados para extraer combustibles fósiles de ellos.¹¹¹ La tercera opción de almacenamiento es la formación del *Monte Simon*, que resulta muy atractiva porque es más amplia y, al mismo tiempo, está menos fracturada que el emplazamiento de *Rose Run*. No obstante, la distancia es un factor negativo; el *Monte Simon* requeriría la construcción de gaseoductos con una longitud media de 374 Km.¹¹²

A la hora de implantar la tecnología de CAC desde las fases de demostración, es probable que estas situaciones hipotéticas se repitan una y otra vez en numerosas ocasiones.

La captura y el almacenamiento de tan solo 1 Gt de carbono requerirá la inyección de aproximadamente 50 millones de barriles de CO₂ al día procedente de unas 600 centrales térmicas de carbón supercrítico de 1.000 MWe¹⁰⁵.

Fugas de CO₂

El almacenamiento subterráneo de CO₂ se fundamenta en la capacidad de los mecanismos de retención física y química para inmovilizar el CO₂ de forma permanente y almacenarlo para siempre. Los mecanismos de retención funcionan de forma diversa y a velocidades diferentes, desde cubiertas de roca con escasa permeabilidad que actúan como barreras al desplazamiento del CO₂ a la disolución del CO₂ en agua.¹¹³ El primer mecanismo es eficaz desde el primer momento, mientras que el segundo puede tardar miles de años en completarse. La eficiencia de los mecanismos de retención depende de la "velocidad de migración del CO₂, que depende por sí sola en gran medida de las propiedades de la roca y los fluidos y de las características geológicas de cada emplazamiento".¹¹⁴ Esto supone que sería necesario realizar un estudio detallado de cada emplazamiento para almacenamiento para determinar su idoneidad, así como para evaluar la probabilidad de fugas.

Mientras haya CO₂ en formaciones geológicas, hay riesgo de fugas: puede migrar lateralmente o hacia arriba hasta la superficie. En contacto con el agua, el CO₂ se hace corrosivo y puede poner en peligro la integridad de las rocas impermeables, entubaciones de pozos y tapones de cementación. Las fracturas no detectadas en las rocas impermeables o las creadas al inyectar CO₂ a una presión demasiado elevada pueden proporcionar otra vía de escape al CO₂. También pueden crear oportunidades de fuga un diseño y construcción inadecuados de los pozos.¹¹⁵ Las consecuencias a la hora de mitigar el cambio climático así como los demás riesgos para el medio ambiente y la salud pública (véase apartado 4.5, CAC y responsabilidad civil, riesgos medioambientales, página 21) convierten las fugas en un grave problema.

La prevención de las fugas dependerá, en gran medida, de decisiones prudentes en materia de tecnología, del diseño del proyecto, del funcionamiento de la central y de la selección del depósito. El IPCC señala que la porción de CO₂ que se mantiene almacenada en "depósitos geológicos es muy probable que supere el 99% en 100 años y que sobrepase el 99% en 1000 años".¹¹⁶ No obstante, estos datos son sólo válidos para ubicaciones de almacenamiento bien seleccionadas, completamente caracterizadas y diseñadas y gestionadas de forma correcta. Por el momento, no es posible garantizar una capacidad suficiente en depósitos de calidad, ni tampoco un diseño y gestión apropiados de estos depósitos. Es

probable que parte del almacenamiento de CO₂ se lleve a cabo en emplazamientos de menor calidad, sin una gestión correcta. En estos casos, el riesgo de fugas podría ser aún mayor.

Por ejemplo, en un experimento con CAC en Texas (véase la historia paralela en página 32) se observó que el CO₂ inyectado en acuíferos sedimentarios salinos hacía que los carbonatos y otros minerales se disolviesen rápidamente. Esto podría permitir que el CO₂ y el agua salada se filtrasen en la capa freática¹¹⁷.

Aunque, en la actualidad, no es posible cuantificar el riesgo exacto de fugas, cualquier fuga de dióxido de carbono puede afectar al entorno circundante: el aire, las aguas subterráneas o el suelo. La mayoría de los modelos hacen pensar que las fugas se producirían antes en los primeros 50 a 100 años de un proyecto, antes de que surtan efecto los mecanismos de captura. Otros indican que es poco lo que ocurre en los primeros 1.000 años y que lo más probable es que las fugas se produzcan en los siguientes 3.000 a 5.000 años.¹¹⁸ En cualquier caso, incluso una tasa de fugas insignificante podría minar cualquier posible beneficio climático atribuido a la CAC. Un índice de fugas de tan sólo el 1% en 600 Gt de carbono almacenado (2.160 Gt de CO₂ o el equivalente a 100 años de emisiones de CO₂ procedentes de combustibles fósiles) podría liberar en la atmósfera hasta 6 Gt de carbono (21,6 Gt de CO₂) al año. Estas cifras equivalen aproximadamente a las emisiones globales totales de CO₂ en la actualidad procedentes de combustibles fósiles.¹¹⁹ Puede ser posible remediar las fugas de CO₂, pero no hay antecedentes ni estimaciones de costes de las medidas de este tipo.¹²⁰

La falta de un método fiable de gestión de riesgos es un problema, dado que los riesgos de fugas siguen existiendo tras el cierre de un sitio de inyección. Sería precisa una vigilancia durante un largo periodo de tiempo tras el cierre, posiblemente para siempre. Por ello, será esencial disponer de herramientas apropiadas para detectar fugas y protegerse de ellas.

El petróleo no cubre los gastos de la Captura y el Almacenamiento de Carbono

Aunque la Captura y el Almacenamiento de Carbono (CAC) estuvieran disponibles, los costes de una aplicación a gran escala son prohibitivos. A menudo la solución propuesta es la recuperación mejorada del petróleo (EOR, por sus siglas del inglés *Enhanced Oil Recovery*). Sus defensores argumentan que los beneficios del petróleo recuperado podrán cubrir los costes de la captura del carbono.

Sin embargo, no sólo hay muy pocos emplazamientos de EOR y están demasiado alejados entre sí como para almacenar el carbono procedente de las dispersas operaciones de captura¹, sino que la cancelación de proyectos de EOR para este fin, debido a los costes que representan y a los bajos beneficios obtenidos, demuestra que esta opción no siempre permite compensar los costes adicionales.

En 2005, cuando la producción en el yacimiento de petróleo y gas de *British Miller* dejó de ser rentable, BP solicitó ayudas gubernamentales para

iniciar un proyecto de EOR. Con un proceso de EOR, la vida útil del yacimiento de petróleo podría haberse ampliado hasta 20 años, retrasando el caro proceso de su cierre definitivo y permitiendo el acceso a unos 57 millones de barriles de un petróleo que actualmente es irrecuperable².

Los beneficios potenciales del petróleo recuperado, no obstante, no podían compensar la diferencia entre el coste del proceso de Captura y Almacenamiento del Carbono (38 € por tonelada), y el precio actual de los créditos por el carbono (21 € por tonelada en la UE). BP intentó convencer al gobierno británico para que cubriera esta diferencia solicitando una reducción de impuestos de más del 50% y una tasa de rendimiento subvencionada y garantizada. Cuando el gobierno británico decidió que todos los proyectos de CAC propuestos debían competir para obtener financiación y reducciones de impuestos, BP canceló sus planes.

El gobierno noruego abandonó un proyecto similar después de que se retiraran las compañías *Statoil-Hydro* y *Shell*. El sector argumentó que aunque la Captura y Almacenamiento de Carbono habría sido técnicamente viable, nunca tendría sentido desde un punto de vista económico.

Construir la tecnología de CAC habría significado cerrar la producción de petróleo durante un año y modificar por completo las instalaciones. En general, la producción de petróleo sólo habría aumentado un 2%, muy lejos de poder cubrir los costes de instalar la tecnología necesaria para capturar y almacenar carbono.

La opción de EOR es una de las principales formas propuestas por el sector para hacer que la Captura y el Almacenamiento de Carbono sea asequible, pero como señalan los casos anteriores a menudo es poco probable que los proyectos puedan cubrir los costes. Financiar la Captura y el Almacenamiento del Carbono es una inversión muy poco inteligente.

¹ Kharaka Y K, Cole D R, Hovorka S D, Gunter W D, Knauss K G & Freifeld B M, 'Gas-water-rock interactions in frió formation following CO₂ injection: Implications for the storage of greenhouse gases in sedimentary basins', *Geology*, vol., 34, no. 7, 2006, pp. 577-580.

² Kharka, Yousif, 2007, USGS, Research Hydrologist, Entrevista por correo electrónico.

El Departamento de Energía de EE.UU. calcula que la instalación de sistemas de captura de carbono prácticamente duplicaría los costes de las centrales, lo que haría que el precio de la electricidad subiera entre un 21% y un 91%.

4.4

La tecnología de CAC es demasiado cara

Las estimaciones de costes correspondientes a la tecnología de CAC varían considerablemente en función de factores como la configuración de la central generadora de energía, la tecnología en sí, los costes de combustible, la envergadura del proyecto y la ubicación. Pero hay algo cierto: la CAC es cara. Exige una financiación sustanciosa para construir las centrales térmicas y las infraestructuras necesarias para el transporte y almacenamiento del carbono. El IPCC sitúa los costes entre los 15 y los 75 dólares por tonelada capturada de CO₂.¹²¹ Según un informe reciente del Departamento de Energía estadounidense, la instalación de sistemas de captura de carbono en las centrales con una tecnología más moderna casi duplicaba los costes de las centrales.¹²² Se estima que estos costes incrementarán el precio de la electricidad entre un 21% y un 91%.¹²³

Para el transporte, será preciso construir redes de gaseoductos que trasladen el CO₂ a los emplazamientos de almacenamiento. Es probable que la construcción de una red de gaseoductos para la CAC requiera un desembolso considerable de capital.¹²⁴ Los costes variarán en función de diversos factores, que incluyen la longitud de los conductos, su diámetro y los

componentes de acero específicos (resistentes a la corrosión), así como el volumen de CO₂ que se vaya a transportar. Los conductos construidos cerca de centros de población o en terrenos difíciles (como zonas pantanosas o rocosas) son más caros.¹²⁵ El IPCC estima que el coste de los conductos oscilará entre 1 dólar y 8 dólares por tonelada de CO₂ transportada (véase la tabla 5).¹²⁶ Un informe de los Servicios de Investigación del Congreso estadounidense calculó que los costes de capital para un conducto de 17,699 Km construido en la región norcentral del país sería de unos 6 millones de dólares. Según el mismo informe, una red interestatal de conducciones exclusivas para este fin construida en Carolina del Norte costaría más de 5 millones de dólares debido al escaso potencial de almacenamiento geológico en esa parte del país.¹²⁷

Se calcula que los costes de almacenamiento y de la vigilancia y verificación subsiguientes oscilan entre 0,5 y 8 dólares por tonelada de CO₂ inyectada y 0,1 y 0,3 dólares por tonelada de CO₂ inyectada, respectivamente.¹²⁸ El coste total de la CAC podría ser otra barrera a su despliegue.¹²⁹ Se ha señalado que el mejoramiento de la producción de petróleo podría ser una forma de compensar los costes, pero como "el crudo no permite cubrir los gastos de la tecnología CAC", como se muestra en (la página 29), "por lo que, en realidad, esto es cuestionable".¹³⁰

Tabla 5 Oscilación de los costes de los componentes del sistema de CAC

Componentes del sistema de CAC	Rango de costes	Comentarios
Captura desde centrales de gas o carbón	Entre 15 y 75 dólares USD* por tonelada de CO ₂ neta	Costes netos del CO ₂ capturado en comparación con la misma central sin captura
Transporte	Entre 1 y 8 USD por tonelada de CO ₂ transportada	Por 250 Km de gaseoductos por tierra o mar para caudales máxicos comprendidos entre 8 (extremo superior) y 40 (extremo inferior) Mt de CO ₂ /año
Almacenamiento geológico	Entre 0,5 y 8 USD por tonelada de CO ₂ neta inyectada	Excluidos los posibles ingresos procedentes del EOR o ECBM.
Vigilancia y verificación	Entre 0,1 y 0,3 USD por tonelada de CO ₂ inyectada	Cubre la vigilancia durante la inyección y antes y después de esta y depende de la normativa reguladora

* Durante todo el informe los dólares USD hacen referencia a dólares de EE.UU.
Fuente: IPCC 2005

Cómo la tecnología de CAC ha paralizado el debate sobre la energía en Noruega

A pesar de que Noruega genera casi el 100% de su electricidad a partir de energías renovables, los fondos públicos destinados a investigación en energías renovables no llegan a la sexta parte de los recibidos por la industria del petróleo.¹

Durante los últimos 10 años, la tecnología de Captura y Almacenamiento de Carbono (CAC) ha centrado el debate de la energía en Noruega, lo que ha hecho que se desvíen los recursos y la atención política de las medidas de eficiencia energética y de generación de energías renovables. Aunque el Parlamento noruego ha anunciado hace poco un aumento de los fondos totales destinados a investigación en energías renovables, la tecnología de CAC se considera parte de estas energías.²

Recientemente, el Gobierno noruego se ha comprometido a cubrir todos los costes adicionales de construcción y funcionamiento para garantizar la captura y almacenamiento del carbono procedente de dos centrales de gases fósiles en la costa occidental de Noruega, *Kårstø* y *Mongstad*. Se ha calculado que esto ascenderá a más de veinte mil millones de coronas noruegas (unos cuatro mil

millones de dólares estadounidenses) durante su vida útil.³

La central de *Kårstø*, que tanta polémica ha generado y emite alrededor de 1 millón de toneladas de CO₂ al año, comenzó a funcionar en noviembre de 2007. El que los costes del gas sean tan elevados y los ingresos por la electricidad generada tan bajos se ha traducido en que la central apenas ha funcionado. Se ha prometido la captura de carbono a gran escala desde 2009, pero ahora se ha pospuesto hasta 2012. Es probable que las significativas limitaciones tecnológicas hagan que se retrase aún más. Aún quedan por construir la central para la captura, los gaseoductos para transportar el carbono hasta el lugar de almacenamiento y las instalaciones para controlar el proceso de almacenamiento.⁴

Teniendo en cuenta que el mismo dinero se podría haber invertido mucho mejor en otros proyectos de desarrollo relacionados con la energía y el clima, el director de Instituto de Investigación en Energías, *Institute for Energy Research (IFE)*, de Noruega consideró que la decisión de acelerar el desarrollo de la central de *Kårstø* era "casi inmoral".⁵

En la refinería de *Mongstad*,

conocida como el "centro europeo de pruebas de la tecnología de CAC", se están construyendo dos centrales piloto utilizando procesos de captura distintos (amina y carbonato), que se prevé que puedan capturar 100.000 toneladas de CO₂ al año desde 2011. Sin embargo, hasta 2014 como muy pronto, se limitará a liberar el CO₂ capturado y reenviarlo a la atmósfera. Ello se debe a que no se prevé que los gaseoductos para transporte a los emplazamientos para almacenamiento del carbono estén terminados antes de 2014. De hecho, puede que ni siquiera estén terminados en esa fecha, dado que los posibles retrasos en las decisiones sobre inversiones amenazan con posponer su finalización.⁶

En Noruega, como en otros países que tienen por objetivo la Captura y Almacenamiento de Carbono, esta tecnología no está cumpliendo lo prometido. Las energías renovables y la eficiencia energética son soluciones seguras y rentables para abordar el cambio climático. El alcance de la crisis climática hace que detener el desarrollo de estas tecnologías en espera de la tecnología de CAC sea una auténtica inmoralidad.

¹ Artículo basado en las cifras del Consejo de Investigación de Noruega; http://www.klassekampen.no/49135/mod_article/item/null

² Acuerdo sobre el libro blanco del clima <http://www.stortinget.no/diverse/klimaforlik.html>

³ Informe de *Kårstø*: http://nve.no/modules/module_111/news_item_view.asp?iNewsId=32570&iCategoryId=1604

⁴ Rapport nr 13, CO₂-håndtering på *Kårstø*, Norges vassdrags- og energidirektorat, Olav Falk-Pedersen, Mari Hegg Gundersen, Asle Selfors and Pål Tore Svendsen. Diciembre de 2006, páginas 31 y 42. http://www.nve.no/FileArchive/388/NVErapport13-06_b.pdf

⁵ Comentario a la radio NRK31.01.2008. Véase la declaración de fondo, en la que se indica una estrategia más gradual, en http://www.ife.no/ife_nyheter/2007/IFE_nei_til_CO2-haandtering_pa_Kaarstoe/view?set_language=no&cl=no

⁶ Technology Weekly, "Frykter store forsinkelser på *Kårstø*", <http://www.tu.no/energi/article148205.ece>, recuperado el 3 de abril de 2008

El almacenamiento subterráneo de carbono puede tener consecuencias inesperadas

Uno de los retos fundamentales de la tecnología de Captura y Almacenamiento de Carbono (CAC) es el almacenamiento seguro y permanente del carbono capturado. Incluso unos niveles de fugas muy bajos podrían minar completamente cualquier esfuerzo para mitigar el cambio climático.

El mundo no tiene experiencia en el almacenamiento prolongado de ninguna materia, ni tampoco del CO₂.

Como muestran los resultados de un experimento de campo correspondiente a 2006 reflejado en la *United States Geological Survey (USGS)*,¹ hay muchas probabilidades de que el carbono se comporte de un modo totalmente inesperado. Los científicos de la *USGS* estaban tratando de comprobar el almacenamiento de carbono en formaciones geológicas profundas, en un proyecto piloto en Frío, Texas (EE.UU.).

Los investigadores se sorprendieron cuando el CO₂ enterrado disolvió grandes cantidades de los minerales

circundantes que eran los que debían mantenerlo concentrado.

El CO₂ reaccionó con agua salada en la formación geológica y la hizo tan ácida como el vinagre. Esta agua salada acidificada disolvía entonces otros minerales, incluidos metales, como hierro y manganeso, materiales orgánicos y cantidades relativamente grandes de materiales carbonatos. Los carbonatos sellan poros y fracturas de forma natural en las formaciones geológicas; la reacción del agua salada ácida con ellos es muy preocupante. El carbonato también está presente en los cementos utilizados para tapar pozos de gas y petróleo abandonados. Si éstos se abrieran, el dióxido de carbono podría emitirse a la atmósfera y el agua salina contaminada podría filtrarse en los acuíferos que suministran agua potable y para el riego.

En una entrevista con Greenpeace, el científico *Yousif Kharaka* advirtió de que los resultados son "un aviso": para estudios detallados y exhaustivos de sitios de inyección y

un programa de vigilancia bien preparado para detectar fugas tempranas de CO₂ en las aguas subterráneas potables superficiales o en la atmósfera".²

Los resultados de la *UGCS* demuestran que no sabemos suficiente sobre el modo en el que el carbono almacenado se comportará, como para poder garantizar su almacenamiento seguro y permanente.

¹ Kharaka Y K, Cole D R, Hovorka S D, Gunter W D, Knauss K G y Freifeld B M, 'Gas-water-rock interactions in frío formation following CO₂ injection: Implications for the storage of greenhouse gases in sedimentary basins', *Geology*, vol., 34, nº 7, 2006, pp. 577-580.

² Kharaka, Yousif, 2007, USGS, Hidrólogo, entrevista realizada por correo electrónico.



Columnas de humo del Alto
Horno de LTV Steel Co.,
Cleveland, Ohio, EE.UU.

La tecnología de CAC desvía los recursos de las soluciones reales

En los últimos años, la parte del presupuesto destinada a investigación y desarrollo en países que desean instalar la tecnología de CAC se ha disparado y, con frecuencia, esta tecnología se incluye dentro de paquetes de energías renovables. Mientras, los fondos destinados a tecnologías reales como las renovables y la eficiencia se han reducido o estancado.

El presupuesto del Departamento de Energía estadounidense correspondiente al ejercicio fiscal 2009 trata de conseguir un incremento del 26,4% (de 493,4 millones de dólares en el ejercicio fiscal 2008 a 623,6 millones en el ejercicio fiscal 2009) en la financiación de programas asociados a la CAC, al tiempo que realiza recortes en programas vinculados a investigación en energías renovables y eficiencia y establece recortes presupuestarios del 27,1% (de 211,1 millones de dólares en el ejercicio fiscal 2008 a 146,2 millones en el ejercicio fiscal 2009).¹³¹ Australia cuenta con tres Centros de Investigación cooperativa para combustibles fósiles, uno de los cuales está dedicado especialmente a la tecnología de CAC. No hay ninguno dedicado a tecnología de energías renovables.¹³²

En Noruega, la investigación relacionada con el petróleo recibe una financiación cinco veces mayor que las energías renovables. El desequilibrio aumenta aún más al haberse destinado recientemente más de veinte mil millones de coronas noruegas (cuatro mil millones de dólares) a dos proyectos de CAC que tienen por objeto capturar 2 Mt de CO₂ al año (véase la experiencia noruega en página 31).

4.5

CAC y responsabilidad civil: un negocio arriesgado

La tecnología de CAC entraña significativos riesgos ambientales, económicos, jurídicos, políticos, tecnológicos y de sostenibilidad. En primer lugar, está el peligro de que se aprueben y construyan nuevas centrales térmicas porque sean 'listas para capturar', pero nunca se instale en ellas la tecnología. Los riesgos secundarios se pueden derivar de las enormes cantidades de CO₂ que se inyecten y de la duración prolongada del almacenamiento, necesaria para obtener

un beneficio real para el clima. Además, los pozos de inyección y otras imperfecciones geológicas y de infraestructuras pueden ocasionar fugas de CO₂.

Riesgos medioambientales

Entre los riesgos medioambientales del almacenamiento geológico del CO₂ están:

- Fugas en los depósitos: la liberación lenta y prolongada de CO₂ desde los lugares de almacenamiento, por ejemplo, a través de fallas geológicas.
- Una fuga repentina con consecuencias catastróficas: la liberación a gran escala de CO₂ desde los lugares de almacenamiento, por ejemplo, por fallos de pozos de inyección activos o abandonados.
- El escape de CO₂ y sustancias afines en aguas subterráneas poco profundas.
- El desplazamiento de aguas saladas y la movilización de metales tóxicos y compuestos orgánicos hacia el exterior, lo que da lugar a la contaminación del agua potable, sedimentos suprayacentes, suelos o el agua del mar.
- El escape de otros gases de salida capturados peligrosos.

Los riesgos medioambientales específicos asociados a las fugas de CO₂ se pueden dividir en dos categorías: globales y locales. A escala global, las fugas continuas de CO₂ pueden socavar los esfuerzos por mitigar el cambio climático. Aunque algunas fugas pueden ser aceptables, se suele convenir en que sólo se pueden tolerar dentro de ciertos límites.¹³³ Hasta índices de fugas de tan solo un 1% al año podrían ser demasiado elevados. Las fugas a un ritmo así reducirían una cantidad dada de CO₂ almacenado al 37% de la cantidad original al cabo de 100 años.¹³⁴

A escala local, las fugas de CO₂ en los lugares de almacenamiento suponen una amenaza para la salud humana. El CO₂ es más denso que el agua y, por ello, suele concentrarse en zonas bajas y mal ventiladas, lo que supone un peligro si alcanza niveles superiores al 3% por volumen.¹³⁵ Este riesgo también se aplica al transporte de CO₂ por gaseoductos a través de áreas pobladas, que plantea problemas de gran importancia relativos a la selección de la ruta, la protección frente a la sobrepresión y la detección de fugas.¹³⁶

Un ejemplo, proporcionado por la propia naturaleza, del

peligro que entrañan las fugas de CO₂ se produjo en una zona volcánicamente activa en el Lago Nyos, en Camerún, en 1986. Se liberaron de pronto grandes cantidades que se habían acumulado en el fondo del lago, que causaron la muerte de 1700 personas y miles de cabezas de ganado en un área de 25 Km.¹³⁷

El CO₂ que asciende hasta las capas más superficiales puede tener efectos letales en plantas y animales del subsuelo y contaminar las aguas subterráneas. En las zonas volcánicas y con actividad sísmica se ha constatado acidificación de los suelos y supresión de la respiración en las zonas radicales. En el monte *Mammoth*, en California, la liberación de CO₂ tras varios terremotos de pequeña intensidad, destruyó 100 acres de árboles.¹³⁸ La migración del CO₂ puede acidificar las aguas y producir el desplazamiento de metales pesados tóxicos. Su inyección puede aumentar la presión, desplazar aguas saladas y causar actividad sísmica.¹³⁹

Otro riesgo es un aumento de los daños al medio ambiente como consecuencia de una mayor extracción de combustibles fósiles. Las necesidades más elevadas de energía por parte de las centrales que utilizan la captura de carbono exigen un uso mayor de carbón y otros combustibles fósiles. Según esto, también aumentarán los grandes problemas medioambientales ya definidos que plantean la extracción y el transporte de combustibles fósiles, incluida la destrucción de hábitats, el daño a ríos y cauces (por hundimiento como consecuencia de sistemas de arranque de frente largo) y la contaminación atmosférica.

Riesgos en materia de responsabilidad civil

Las aplicaciones a gran escala de la tecnología de CAC plantean riesgos significativos en materia de responsabilidad civil. Las normativas vigentes no están pensadas para gestionar adecuadamente estos riesgos, por lo que quedan sin respuesta preguntas importantes relativas a la cuestión de sobre quién recaen las responsabilidades.¹⁴⁰ Como mínimo, cualquier normativa reguladora de la CAC debería abordar la captura, el transporte, la caracterización del sitio, las normas de funcionamiento, que incluirán la vigilancia, medición y verificación y planes de subsanación de fallos, la imputación de la disminución de CO₂ y medidas para resolver la cuestión del almacenamiento prolongado. En la formulación de un marco de este tipo, los intereses del sector (limitación de la responsabilidad y los costes) pueden ser contrarios al interés público (seguridad

durante un periodo de tiempo ilimitado).

El sector ve la responsabilidad como una barrera al despliegue más amplio de la tecnología de CAC¹⁴¹ y se muestra reacio a invertir únicamente en ella a menos que esté protegido de los riesgos asociados al almacenamiento prolongado de CO₂. Los riesgos son tan grandes que muchas compañías eléctricas muestran dudas sobre el almacenamiento de CO₂ a menos que la titularidad de éste deje de estar en manos de la central generadora en el momento del transporte.¹⁴² Los posibles operadores instan a que la responsabilidad jurídica sólo se mantenga 10 años para el carbono almacenado permanentemente.¹⁴³

Son muchos los factores que influyen en el alcance de la responsabilidad asociada a la CAC. A modo de ejemplo, se puede citar la clasificación y pureza del CO₂ capturado, la definición de derechos de propiedad y la titularidad del CO₂ inyectado. Así, el CO₂ capturado puede ser etiquetado como recurso, desecho o, incluso, residuo peligroso. Estas últimas denominaciones ponen en marcha normativas reguladoras más estrictas para la manipulación, transporte y eliminación del CO₂ y aumentan el precio de la tecnología de CAC.¹⁴⁴

Otra cuestión es la pureza de la corriente de CO₂. Es frecuente que el CO₂ capturado contenga diversos subproductos de los procesos de combustión, como óxidos de nitrógeno (NO_x) y dióxido de sulfuro (SO₂), así como trazas de metales pesados, incluidos plomo, mercurio y cadmio.¹⁴⁵ Permitir la inyección de corrientes mixtas en el subsuelo resulta atractivo, puesto que precisan menos depuración en las centrales, lo que reduce los costes. No obstante, permitir el almacenamiento de componentes distintos a CO₂ altera el perfil de riesgo del almacenamiento geológico, así como las respuestas jurídicas y normativas.¹⁴⁶ Por ejemplo, el almacenamiento conjunto de CO₂ y dióxido de sulfuro (SO₂) aumenta el riesgo de fugas debido a sus propiedades químicas. En contacto con el agua, el SO₂ forma ácido sulfúrico, muy corrosivo, que disuelve más fácilmente los materiales, como el cemento usado para sellar pozos. A mayor riesgo de fugas, mayor probabilidad de daños y responsabilidad. Queda por determinar la cantidad de SO₂ que pueden contener las corrientes de CO₂ capturado, si puede contener alguna. Las normativas tendrán que tener en cuenta su carácter más corrosivo en el transporte por gaseoductos y el almacenamiento prolongado, con el fin de minimizar el riesgo.¹⁴⁷



Gran escape de petróleo,
árboles muertos, tuberías en
Nizhnevartovsk, Siberia
occidental

Quizá las cuestiones más esenciales hacen referencia a derechos de propiedad y a quién es responsable del CO₂ capturado, especialmente una vez que termina el proyecto de CAC en cuestión. La respuesta determinará quién paga los daños causados por la CAC. Entre los posibles riesgos están la responsabilidad civil por efectos sobre la salud y daños a los ecosistemas causados por fugas a la superficie; contaminación de las aguas subterráneas, incluida la contaminación del agua potable; actividad sísmica inducida; y efectos sobre el clima derivados de un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero como consecuencia de fugas a la superficie. Para limitar la responsabilidad de los que participan en actividades relacionadas con la CAC, se han propuesto limitaciones de responsabilidad, programas federales de exoneración de responsabilidad y una transmisión completa de la responsabilidad del sector privado al público.¹⁴⁸ Estos mecanismos blindan por completo a los operarios ante problemas jurídicos, transmiten la titularidad al Estado y limitan la cuantía que se abonará en concepto de indemnización en caso de que se produzcan daños. Hay quien argumenta que estas medidas son necesarias, dado que los proyectos no podrán garantizar la financiación ni permitir la contratación de un seguro sin ellas.¹⁴⁹

El proyecto *FutureGen* en Estados Unidos, que se ha hundido hace poco (véase “EE.UU. abandona su buque insignia en CAC”, página 37), estaba protegido ante cualquier responsabilidad jurídica y económica en caso de una liberación imprevista de dióxido de carbono.¹⁵⁰ Los abogados también convinieron en exonerar a *FutureGen* de cualquier responsabilidad nacida de demandas y en abonar las pólizas de seguro contratadas para cubrir la central.¹⁵¹

Riesgos económicos

Ya se han gastado cantidades considerables de dinero para financiar las centrales de combustibles fósiles, que son las que más contribuyen al cambio climático. La aplicación de la tecnología de CAC exigirá a los gobiernos no sólo continuar con este apoyo, sino aumentarlo con fondos y mecanismos políticos adicionales. La adopción de la tecnología de CAC sólo será posible con incentivos muy potentes. Esta tecnología es muy cara y no hay garantías de que alguna vez llegue a funcionar. El análisis económico de los costes absolutos de la CAC está caracterizado por la existencia de muchas dudas. Para la centrales generadoras de energía, el IPCC estima unos

costes comprendidos entre 14 y 91 dólares por tonelada de CO₂ no consumido para el proceso completo de CAC.¹⁵² Según una evaluación más reciente, sólo el coste de capturar el CO₂ se situaba entre 24 y 75 euros por tonelada de CO₂ no consumido.¹⁵³

Los defensores de la tecnología de CAC han impulsado los programas “*cap-and-trade*” (programas de fijación de límites y comercio de derechos de emisión), basados en el establecimiento de límites máximos y la concesión de permisos para la emisión de carbono, con el fin de reducir las barreras que imponen los costes a la adopción de esta tecnología.¹⁵⁴ Sin embargo, para que pueda ser rentable, el precio por las emisiones de carbono tendría que ser aún más elevado que los costes adicionales asociados a su despliegue. Los precios de mercado actuales para el CO₂, que están en torno a 21 euros por tonelada, así como las previsiones de futuro para el periodo 2008-2012 correspondientes al Sistema de Comercio de Derechos de Emisión, son insuficientes para incentivar el despliegue de la tecnología de CAC;¹⁵⁵ podrían ser precisos precios del orden de 100 euros por tonelada para respaldar los proyectos iniciales.¹⁵⁶ No obstante, ni siquiera un gravamen elevado sobre el carbono bastaría para garantizar el futuro de la CAC.¹⁵⁷

No obstante, para que los proyectos sean viables, los precios tendrían que ir asociados a compromisos políticos e incentivos económicos adicionales.¹⁵⁸ Otros mecanismos propuestos para complementar los precios del carbono incluyen un apoyo a la inversión directa, garantías en los créditos y alianzas entre los sectores público y privado.¹⁵⁹ Con estos programas, en lugar de hacer que quienes contaminan paguen, se permite concebir un programa para el despliegue de la tecnología de CAC según el cual los Estados, y en última instancia los contribuyentes, paguen a quienes contaminan para que no lo hagan. Si los costes resultan ser más elevados de lo previsto, puede que nunca se den las condiciones para la viabilidad comercial y el dinero se habrá gastado inútilmente.

Ofrecer niveles sustanciales de apoyo para conseguir que la tecnología de CAC despegue plantea un grave problema sobre prioridades, dado que los estudios actuales demuestran que la electricidad generada por el carbón equipado con tecnología de CAC será más caro que otras fuentes menos contaminantes, como el gas, la energía eólica y muchos tipos de biomasa sostenible. Además, resulta mucho más caro que aumentar la

eficiencia energética.¹⁶⁰ Aun cuando se parta de la base de que, en un momento dado, la captura de carbono llegará a ser técnicamente factible, segura para el medio ambiente y comercialmente viable y permitirá un almacenamiento prolongado, su impacto sería escaso y se pagaría un precio elevado por ella.

Mientras, como el informe de Greenpeace *Inversión de Futu[r]o (Futu[r]e Investment)*¹⁶¹ señala, la inversión en un futuro de energías renovables ahorraría 180 millones de dólares al año y reduciría las emisiones de CO₂ a la mitad en 2050.

FutureGen – EE.UU. abandona su buque insignia en CAC

FutureGen, el buque insignia de la administración de Bush en Captura y Almacenamiento de Carbono (CAC), fue presentado por todo lo alto como un programa basado en la primera central térmica de su clase que no produce prácticamente emisiones contaminantes.¹ Sin embargo, en enero de 2008, tras repetidos retrasos y costes una y otra vez superiores a lo previsto, el gobierno estadounidense tiró la toalla con este programa, alegando que “cuando un proyecto duplica su coste, es hora de sentarse y volver a estudiar los acuerdos”.²

Se preveía que *FutureGen*, que se dio a conocer en 2003, estuviera en marcha en 2012 pero nunca salió de la fase de desarrollo. La relación entre el sector público y el privado en la que se sustentaba el proyecto incluía al Departamento de Energía estadounidense (DOE) y a los gigantes empresariales *American Electric Power Service Corp.*, *Anglo American*, *BHP Billiton*, *Rio Tinto* y la mayor compañía de China dedicada a la generación de energía a partir de carbón, *China Huaneng Group*.

El apoyo del gobierno federal a *FutureGen* iba a complementarse con un generoso paquete del Estado de Illinois. Este paquete incluía una beca de 17 millones de dólares, una exención fiscal en materiales de construcción y determinados equipos y 50 millones de dólares destinados a créditos al proyecto a tipos inferiores a los del mercado. El Estado de Illinois también aprobó una ley para proteger a *FutureGen* de responsabilidades en materia económica y jurídica, en el caso de una liberación imprevista de dióxido de carbono.³ Los legisladores también acordaron exonerar a *FutureGen* de cualquier responsabilidad nacida de demandas y abonar las pólizas de seguro contratadas para cubrir la central.⁴

En 2007, el Departamento de Energía estadounidense volvió a evaluar el diseño del proyecto, después de que los costes se hubieran incrementado⁵ en un 85% en tres años, hasta alcanzar 1,8 mil millones de dólares.⁶ El Departamento, que en un principio estaba previsto que cubriera el 74% de los costes,

pidió al sector que asumiera una parte mayor de la carga económica para “prevenir una mayor escalada de los costes”.⁷ No funcionó. El director de *FutureGen* calculó que cada mes de retraso costaba al proyecto 10 millones de dólares, “debido únicamente a la inflación”.⁸

No está claro qué pasará ahora con *FutureGen*. Los socios del sector, a los que se había prometido que sus gastos se reducirían y serían de 400 millones de dólares, tendrán que financiarlo para poder continuar. Teniendo en cuenta que gran parte del proyecto dependía de fondos públicos y de que la responsabilidad recayera en el sector público, su continuación parece muy improbable. *FutureGen* se ha hundido a pesar de haber recibido un apoyo sin precedentes, un total de 1,3 mil millones de dólares procedentes de fondos públicos, y de haber sido blindado frente a toda responsabilidad jurídica. La debacle debería servir de dura advertencia a los gobiernos y al sector si están pensando en invertir en esta técnica.

¹ FutureGen Alliance, <http://www.futuregenalliance.org/faqs.stm>, retrieved 11.03.08

² Helenair.com, “Senators press official on carbon projects”, http://www.helenair.com/articles/2008/02/01/national/100na_080201_carbon.txt, retrieved 27.02.08.

³ Departamento de Comercio y Oportunidades Económicas de Illinois, “Gov. Blagojevich Applauds the Passage of Important Legislation to Continue Illinois’ Strong Bipartisan Push to Bring FutureGen to Illinois”, <http://www.ildceo.net/dceo/News/pr07262007-2.htm>, recuperado el 23 de enero de 2008.

⁴ Servicio de Noticias Gatehouse, “Mattoon gets FutureGen nod, but hurdles remain”, http://www.gatehousenewsservice.com/regional_news/midwest/illinois/x1414531785, recuperado el 23 de enero de 2008.

⁵ Departamento de Energía estadounidense, “Statement from US Department of Energy Acting Principal Deputy Assistant Secretary for Fossil Energy James Slutz”, <http://www.energy.gov/news/5779.htm>, retrieved 23.1.08

⁶ USA Today, “Emissions-free coal plant’s costs worries feds”, http://www.usatoday.com/money/industries/energy/2008-01-06-futuregen_N.htm retrieved 23.1.08

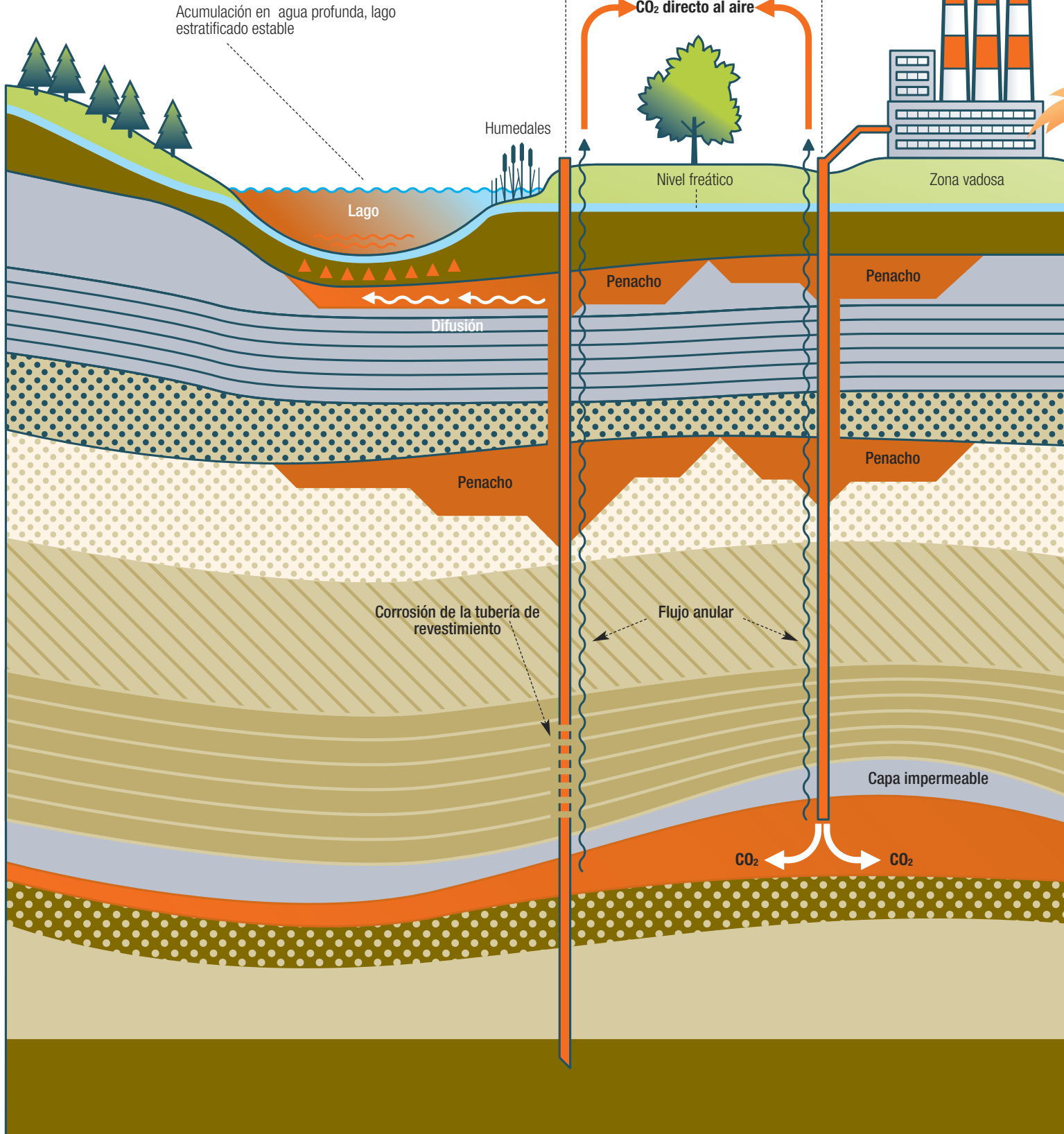
⁷ Departamento de Energía estadounidense, “Statement from US Department of Energy Acting Principal Deputy Assistant Secretary for Fossil Energy James Slutz”, <http://www.energy.gov/news/5779.htm>, retrieved 23.1.08

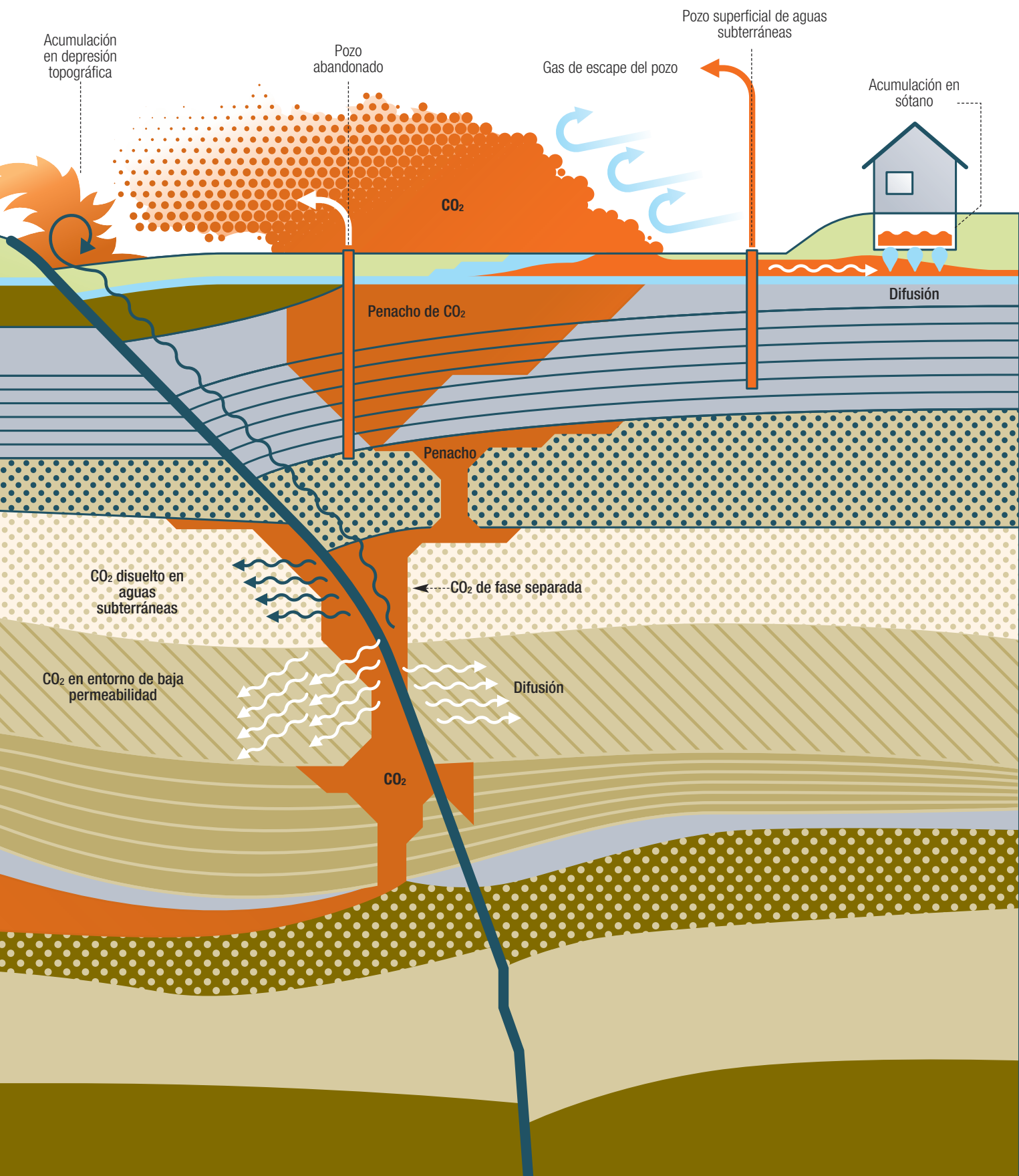
⁸ USA Today, “Emissions-free coal plant’s costs worries feds”, http://www.usatoday.com/money/industries/energy/2008-01-06-futuregen_N.htm retrieved 23.1.08.

El recorrido de las fugas y los impactos potenciales del escape de CO₂

Varios de los trayectos de las fugas podrían proceder de la migración del CO₂ del entorno. Estas fugas pueden ser por la inyección, por las grietas no detectadas y abandonadas tras la inyección de CO₂ a alta presión, por la corrosión de las capas rocosas y sellados de cemento o por la difusión en formaciones geológicas más superficiales. Las posibles consecuencias de fugas son muy amplias: liberaciones de CO₂ a la atmósfera socavarían cualquier beneficio al clima del almacenamiento geológico; la ascensión del CO₂ a la superficie podría impactar negativamente en ecosistemas terrestres, dañando la flora y la fauna; la contaminación de CO₂ de las aguas superficiales también tiene su impacto negativo en los ecosistemas acuáticos; las fugas en los acuíferos de aguas subterráneas podrían degradar su calidad movilizándolos metales tóxicos y disolviendo otros minerales, y los impactos en la salud humana son posibles cuando las concentraciones de CO₂ alcancen niveles superiores al 3% en volumen.

Fuente: Benson, S. 2006





Greenpeace realizó un tour por el sudeste asiático promoviendo la energía limpia. Los activistas descolgaron una pancarta en la que se leía "¡Enchúfate a la energía limpia ahora!" en el edificio del Departamento de Mercado e Industria en Manila, durante la Junta de Inversores. También bloquearon la descarga de carbón en la mayor central térmica de Filipinas, en Sual, en la provincia de Pangasinan.

©GREENPEACE / KATE DAVISON



El mundo ya tiene las soluciones reales a la crisis climática

La promesa de la tecnología de CAC desvía la atención de las soluciones de una energía sostenible y hace que el mundo corra el riesgo de quedar atrapado en un futuro energético en el que no pueda salvar el clima. Es preciso dar prioridad a las inversiones con mayor potencial para ofrecer una energía segura y reducir emisiones: las energías renovables y la eficiencia energética.

La [R]evolución energética de Greenpeace ofrece una guía práctica que muestra el modo en el que las energías renovables, combinadas con una mayor eficiencia energética, pueden reducir las emisiones globales de CO₂ en casi el la mitad y suministrar el 50% de la energía mundial en 2050.¹⁶² Décadas de progreso tecnológico han sido testigo de cómo las tecnologías de energías renovables, como turbinas eólicas, paneles solares fotovoltaicos, centrales de biomasa y colectores solares térmicos han ido avanzando con paso firme hasta situarse entre las principales opciones. El mercado de las energías renovables está creciendo espectacularmente; en 2007, la inversión anual global en energías renovables superó los cien mil millones de dólares.¹⁶³ Al mismo tiempo, hay muchas posibilidades de reducir nuestro consumo de energía, incluso si se proporciona el mismo nivel de “servicios” energéticos.

Muchos países han reconocido las posibilidades de estas soluciones reales al cambio climático y están sacando adelante ambiciosos planes para conseguir una revolución energética dentro de sus fronteras. Nueva Zelanda tiene la intención de haber logrado la neutralidad en materia de emisiones de carbono para mediados de siglo. Las energías renovables y la eficiencia energética,

no la tecnología de CAC, lideran el sector. Nueva Zelanda ya obtiene el 70% de su electricidad de recursos renovables y quiere aumentar este porcentaje al 90% en 2025.¹⁶⁴ En Alemania, el uso de las energías renovables ha aumentado el 300% en los últimos diez años. Las nuevas leyes exigirán que todos los hogares construidos después del 1 de enero de 2009 instalen sistemas de calefacción a base de energías renovables.¹⁶⁵ En EE.UU., se instalaron más de 5.200 MW de energía eólica en 2007, lo que representa el 30% de la energía nueva instalada ese año y supone un aumento del 45% en un solo año.¹⁶⁶ Estos no son más que unos cuantos ejemplos del auge de las energías renovables. España es uno de los países líderes en el desarrollo e implantación de las energías renovables, es el primer país de Europa en el desarrollo de la energía solar termoeléctrica, y el primer país del mundo en desarrollar centrales de torre para esta tecnología. Las energías renovables ya cubrían el 19% de la producción eléctrica en 2006, y la energía eólica alcanzó en marzo de 2008 un nuevo record cubriendo el 28% de la demanda eléctrica. Y se puede ir más allá, tal y como demuestra el informe *Renovables 100%. Un sistema eléctrico renovable para la España peninsular y su viabilidad económica*, que demuestra que es viable plantearse un sistema de generación basado al

100% en energías renovables, tanto para cubrir la demanda eléctrica como la demanda de energía total, a unos costes totales perfectamente asumibles y muy favorables respecto a los que podemos esperar en 2050.

La urgencia de la crisis climática hace que las soluciones deban estar listas para su despliegue a gran escala a corto plazo. Pero la tecnología de CAC no puede ofrecer a tiempo estas soluciones. Es muy especulativa y arriesgada y no es probable que sea técnicamente factible en los próximos veinte años. Permitir que la tecnología de CAC se utilice como excusa para construir nuevas centrales térmicas es inaceptable y una falta de responsabilidad. Las centrales 'listas para capturar' suponen una amenaza significativa para el clima. Para solucionar la crisis climática, el mundo necesita reducir la cantidad de CO₂ producida, no enterrarla bajo tierra y esperar que se quede allí. Las fuentes de energía sucia, como el carbón, se deben retirar paulatinamente al tiempo que se incrementan las inversiones en soluciones basadas en energías sostenibles. Las energías renovables y la eficiencia energética son soluciones seguras y rentables que no entrañan ninguno de los riesgos de la tecnología de CAC y están disponibles ya para reducir emisiones y salvar el clima.

Varios aerogeneradores del parque eólico Shangyi Manjing, China. Este país tiene enormes recursos eólicos, los cuales pueden ser fácilmente explotados y obtener de ellos una alta rentabilidad cambiando las inversiones de los combustibles fósiles por las inversiones en energías limpias.

©GREENPEACE / H WEI



6

Bibliografía

- Abanades, J C et al., 2005. *Summary for Policymakers in IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*, B. Metz et al., Editors. 2005, Cambridge University Press: Cambridge, U.K.
- Azar, C et al, 2006, *Carbon Capture and Storage from Fossil Fuels and Biomass – Costs and Potential Role in Stabilizing the Atmosphere*, Climactic Change vol. 74, 2006, pp. 47-79.
- Bachu, S et al., 2007. *CO₂ storage capacity estimation: Methodology and gaps*, International Journal of Greenhouse Gas Control I, 2007, pp. 430-443.
- Benson, S, 2004. *Carbon Dioxide Capture and Storage in Underground Geologic Formations*, Lawrence Berkley National Laboratory, Berkeley 2004, <http://www.pewclimate.org/docUploads/10-50_Benson.pdf>.
- Benson, S, 2006. *Liability Issues Related to Geological Storage of CO₂*. Lawrence Berkley National Laboratory. Presentation for WRI Workshop on Carbon Capture and Storage Liability, Washington, DC, September, 2006.'
- Benson, S et al., 2005. *Underground Geological Storage in IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*, B. Metz et al., Editors. 2005, Cambridge University Press: Cambridge, U.K.
- Bradshaw, J et al., 2007. *CO₂ storage capacity estimation: Issues and development of standards*, International Journal of Greenhouse Gas Control 1, 2007, pp. 62-68.
- Bruant, R, et al., 2002. *Safe Storage of CO₂ in Deep Saline Aquifers*, Environ. Sci. and Technol. vol. 36, issue 11, 2002, pp. 240a-245a.
- Carbon Capture Journal (CCJ), 2008. *Only 34% confidence in clean coal- climate decision-makers*. Keith Forward, Editor. January/February 2008, Issue 1.
- Damen, K et al., 2006. *Healthy, Safety and Environmental Risks of Underground CO₂ Storage – Overview of Mechanisms and Current Knowledge*. Climactic Change, vol. 74, 2006, pp. 289-318.
- de Figueiredo, M et al., 2005. *Framing the Long-Term In Situ Liability Issue for Geologic Carbon Storage in the United States*, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change vol. 10, 2005, pp. 647-657.
- Diesendorf, M, 2006. *Can geosequestration save the coal industry?*, in J Byrne, L Givoer & N Toly (eds), *Transforming power: Energy as a social project*, Energy and Environmental Policy Series vol. 9, 2006, pp. 223-248.
- Doctor, R et al., 2005. *Transport of CO₂ in IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*, B. Metz et al., Editors. 2005, Cambridge University Press: Cambridge, U.K.
- Energy Information Administration (EIA), 2007. *The International Energy Outlook 2007*, US Department of Energy, Washington, DC, May 2007, <[http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/pdf/0484\(2007\).pdf](http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/pdf/0484(2007).pdf)>.
- Forbes, S, 2002. *Regulatory Barriers for Carbon Capture Storage and Sequestration*. National Energy Technology Laboratory, November 2002.
- Gough, C & Shackley, S, 2006. *Towards a Multi-Criteria Methodology for Assessment of Geological Carbon Storage Options*, Climactic Change 74, 2006, pp. 141-174.
- Groenenberg, H & de Coninck, H, 2007. *Technological support for an enabling policy framework for carbon dioxide capture and geological storage, Task 3: Incentivising CO₂ capture and storage in the European Union*, April 2007.
- Hannegan, B, 2007. Testimony for Hearing of the Science, Technology and Innovation Subcommittee of the Committee on Commerce, Science, and Transportation. 110th Cong., 1st Sess. 7 November 2007.
- Heddle, G et al., 2003. *The Economics of CO₂ Storage*, MIT, August 2003, <http://sequestration.mit.edu/pdf/LFEE_2003-003_RP.pdf>.
- Herzog, H & Golomb, D, 2004. *Carbon Capture and Storage from Fossil Fuel Use* in Energy Encyclopaedia, C. Cleveland, Editor. 2004. Elsevier: Amsterdam, Netherlands.
- International Energy Agency (IEA) Greenhouse Gas R&D Programme, 2007a. *CO₂ capture ready plants*, 2007/4, May 2007.
- International Energy Agency (IEA), 2007b. *Near-term Opportunities for Carbon Dioxide Capture and Storage*, Global Assessments Workshop in Support of the G8 Plan of Action, June 2007.
- IPCC, 2005. *Carbon Dioxide Capture and Storage: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, Geneva 2005, <http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/SRCCS_WholeReport.pdf>.

- Johnston, P. & Santillo, D., 2003. *Carbon Capture and Sequestration: Potential Environmental Impacts*. Proceedings of IPCC Workshop on Carbon Dioxide Capture and Storage, Regina, Canada 18-21 November 2002, publ. Energy Research Centre of the Netherlands (ECN): 95-110.
- Kharaka Y et al., 2006. *Gas-water-rock interactions in frío formation following CO₂ injection: Implications for the storage of greenhouse gases in sedimentary basins*, *Geology*, vol. 34, no. 7, 2006, pp. 577-580.
- Levinson, Marc, 2007. *Carbon Capture and Sequestration*, The London Accord, JP Morgan, 2007.
<http://www.london-accord.co.uk/final_report/reports/pdf/c6.pdf>
- Massachusetts Institute of Technology (MIT), 2007. *The Future of Coal*, MIT, Boston 2007,
<http://web.mit.edu/coal/The_Future_of_Coal.pdf>.
- McFarland, J et al., 2000. *Economic Modeling of the Global Adoption of Carbon Capture and Sequestration Technologies*, in Proceedings of the Sixth International Conference of Greenhouse Gas Control Technologies. Editors J Gale and Y Kaya, 2000.
- National Energy Technology Laboratory (NETL), 2006. *International Carbon Capture and Storage Projects Overcoming Legal Barriers*. NETL, June 2006,
<http://www.netl.doe.gov/energy_analyses/pubs/CCSregulatorypaperFinalReport.pdf>.
- National Energy Technology Laboratory (NETL), 2007. *Cost and Performance Baseline for Fossil Energy Plants*, NETL, August 2007, <http://www.netl.doe.gov/energy-analyses/pubs/Bituminous%20Baseline_Final%20Report.pdf>
- Pacala, S et al., 2004. *Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 years with Current Technologies*. *Science*, vol. 305, no. 968, 2006, pp.968-972.
- Parfomak, P & Folger, P, 2008. *Pipelines for Carbon Dioxide (CO₂) Control: Network Needs and Cost Uncertainties*. 2008. Congressional Research Services: Washington, DC.
- Ragden, P et al., 2006. *Technologies for CO₂ capture and storage, Summary*. Westermann, B, Editor. 2006. Federal Environmental Agency: Berlin, Germany.
- REN21, 2007. *Renewables 2007 Global Status Report*, A pre-publication for the UNFCCC COP13, Bali, Indonesia, 2007,
<http://www.ren21.net/pdf/REN21_GSR2007_Prepub_web.pdf>.
- Rubin, E et al., 2005a. *Technical Summary in IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*, B. Metz et al., Editors. 2005, Cambridge University Press: Cambridge, U.K.
- Rubin, E et al., 2005b. *Comparative Assessments of Fossil Fuel Power Plants with CO₂ Capture and Storage*. Proceedings of the 7th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, Vancouver, Canada, September 5-9, 2004, Volume 1;; Peer-Reviewed and Overviews, E.S. Rubin, D.W> Keith ad C.F. Gilboy (eds), Elsevier, 2005 (in press).
- Saddler, H, et al., 2004, *Geosequestration: What is it and how much can it contribute to a sustainable energy policy for Australia?*, The Australia Institute, Anu, 2004.
- Shuster, E et al., 2007. *Estimating Freshwater Needs to Meet Future Thermoelectric Generation Requirements*, 2007, National Energy Technology Laboratories: Pittsburgh, PA.
- Spreng, D et al., 2007. *CO₂ capture and storage: Another Faustian Bargain?* *Energy Policy*, vol. 35, 2007 pp. 850-854.
- Thambimuthu, K et al., 2005. *Capture of CO₂ in IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*, B. Metz et al., Editors. 2005, Cambridge University Press: Cambridge, U.K.
- The Interstate Oil and Gas Compact Commission, 2007. *Storage of Carbon Dioxide in Geologic Structures: A Legals and Regulatory Guide for States and Provinces*. Task Force on Carbon Capture and Geologic Storage, September 2007.
- United Nations Development Programme (UNDP), 2007. *Avoiding Dangerous Climate Change: Strategies for Mitigation*, Human Development Report 2007/2008.
- United Nations Foundation, 2007. *Confronting Climate Change: Avoiding the Unmanageable and Managing the Unavoidable*, <<http://www.unfoundation.org/SEG/>>.
- US Department of Energy (US DOE), Office of Fossil Energy, 2007. *Carbon Sequestration Atlas of the United States and Canada*, 2007.
<http://www.netl.doe.gov/technologies/carbon_seq/refshelf/atlas/>.
- Vajjhala, S et al., 2007. *An International Regulatory Framework for Risk Governance of Carbon Capture and Storage*. CICERO, May 2007.
- Van der Zwaan, B, & Smekens, K, 2007. *CO₂ Capture and Storage with Leakage in an Energy Climate Model*, *Environ Model Assess*, August 2007.
- Viebahn, P, et al., 2007. *Comparison of carbon capture and storage with renewable energy technologies regarding structural, economic, and ecological aspects in Germany*, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol 1, pt 1, 2007, pp 121-133.
- von Goerne, G, 2002. *Implication of CO₂ impurities on the integrity of caprocks during CO₂ Sequestration in Sub-Seabed Geological Structures*. Greenpeace, May 2006.
- Wilson, E et al., 2007. *Research for Deployment: Incorporating Risk, Regulation, and Liability for Carbon Capture and Sequestration* *Environ. Sci. Technol.* vol. 41, 2007, pp. 5945-5952.
- World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), 2006. 'Facts and Trends- Carbon Capture and Storage', 2006.
<<http://www.wbcsd.org/web/publications/facts&trends-ccs.pdf>>.

Notas al pie

- ¹ WBSCD, 2006
- ² Abanades, J C y col., 2005, pág. 3
- ³ Ragden y col., 2006, pág. 24
- ⁴ Rubin et al., 2005a, pg 40
- ⁵ Energy [R]evolution de Greenpeace es fruto de la colaboración con el Consejo Europeo de Energías Renovables y los laboratorios aeroespaciales alemanes. Está disponible en www.greenpeace.org/espana/reports/r-evoluci-n-energetica-persp (castellano) www.greenpeace.org/energyrevolution (inglés)
- ⁶ PDNU, 2007, pág. 145-146
- ⁷ MIT, 2007, pág. 14
- ⁸ WBSCD, 2006
- ⁹ Rubin y col., 2005, pág. 41
- ¹⁰ Abanades, J C y col., 2005, pág. 8
- ¹¹ Programa de I+D de gases de efecto invernadero de la Agencia Internacional de la Energía (en adelante "AIE"), 2007, I
- ¹² MIT, 2007, pág. 29
- ¹³ Institute CAIT, , <http://cait.wri.org/>
- ¹⁴ Abanades, J C y col., 2005, pág. 3
- ¹⁵ Es decir, una reducción de la eficiencia del 20% en cada una de estas 4 centrales da lugar a una demanda extra total de energía de $4 \times 20\% = 80\% = 1$ central extra de las mismas dimensiones. El 20% restante es necesario para la CAC en la quinta central.
- ¹⁶ Shuster y col., 2007, pág. 60
- ¹⁷ Ragden y col., pág. 24
- ¹⁸ AIE 2007, pág. 7
- ¹⁹ Informe presentado por CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) ante la Comisión del Congreso australiano sobre tecnología de secuestro geológico, agosto de 2006.
- ²⁰ Azar y col., 2006
- ²¹ Benson y col., 2005, pág. 264
- ²² Diesendorf, M, 2006, pág. 16
- ²³ Centro del Carbón Limpio de la AIE, <http://www.iea-epl.co.uk/content/default.asp?PagelD=885>
- ²⁴ NETL 2007, ii
- ²⁵ Rubin y col., pág. 10
- ²⁶ Saddler, H y col., 2004, xi
- ²⁷ Departamento de Energía estadounidense, FY 2009 Congressional Budget Request, Febrero de 2008
- ²⁸ Diesendorf, M, 2006, pág. 13
- ²⁹ <http://www.greenpeace.org/raw/content/international/press/reports/future-investment.pdf> February 2008
- ³⁰ Diesendorf, M, 2006, pg 13
- ³¹ Centro del Carbón Limpio de la AIE, <http://www.iea-epl.co.uk/content/default.asp?PagelD=885>
- ³² Levinson, Marc 2007, pág. 14
- ³³ La Comisión Interestatal de Petróleo y Gas Compacto, 2007, pág. 11
- ³⁴ NETL 2006
- ³⁵ Departamento de Comercio y Oportunidades Económicas de Illinois, "Gov. Blagojevich Applauds the Passage of Important Legislation to Continue Illinois' Strong Bipartisan Push to Bring FutureGen to Illinois", <http://www.ildceo.net/dceo/News/pr07262007-2.htm>, recuperado el 23 de enero de 2008.
- ³⁶ Servicio de Noticias Gatehouse, "Mattoon gets FutureGen nod, but hurdles remain", http://www.gatehousenewsservice.com/regional_news/midwest/illinois/x1414531785, recuperado el 23 de enero de 2008.
- ³⁷ Energy [R]evolution: A Sustainable World Energy Outlook, Greenpeace y EREC, enero de 2007 – <http://www.greenpeace.org/energyrevolution>
- ³⁸ CCJ, 2008, pág. 14
- ³⁹ REN21, 2007, pág. 2
- ⁴⁰ Renewable Energy Access, New Zealand Commits to 90% Renewable Electricity by 2025, 26 de septiembre de 2007, <http://www.renewableenergyaccess.com/rea/news/story?id=50075>
- ⁴¹ AWEA, US Wind Energy Power Surges 45%, Again Shatters Record, Wind Energy Weekly, vol 27, nº 1273, 18 de enero de 2007, <http://www.awea.org/windenergyweekly/WEW1273.html#Article1>
- ⁴² APPA, Asociación de Productores de Energías Renovables, <http://www.appa.es/>
- ⁴³ www.greenpeace.org/energyrevolution
- ⁴⁴ Thambimuthu, K y col., 2005, pág. 107
- ⁴⁵ Ibid, pág. 109
- ⁴⁶ Hannegan, B, 2007, pág. 20
- ⁴⁷ Massachusetts Institute of Technology (en adelante, "MIT"), 2007, pág. 24
- ⁴⁸ Ragden, P y col., 2006, pág. 14
- ⁴⁹ Hannegan, B, 2007, pág. 22
- ⁵⁰ Rubin, E y col., 2005a, pág. 27
- ⁵¹ Doctor, R y col., 2005, pág. 182
- ⁵² Spreng, D y col., 2007, pág. 851

-
- ⁵³ Las cifras del documento original son toneladas (imperiales) estadounidenses (1016 Kg). En este informe se utilizan tanto las toneladas estadounidenses como las toneladas métricas (1000 Kg). Se indicará cuando se trate de unas u otras.
- ⁵⁴ Doctor, R y col., 2005, pág. 181
- ⁵⁵ Ragden, P y col., 2006, pág. 18
- ⁵⁶ Ibid
- ⁵⁷ Rubin, E y col., 2005a, pág. 34
- ⁵⁸ Rubin, E y col., 2005a, pág. 35
- ⁵⁹ Johnson, P y Santillo, D
- ⁶⁰ Rubin, E y col., 2005a, pág. 34
- ⁶¹ Más recientemente, el Convenio de Londres (1972) adoptó un protocolo que prohibía expresamente el vertido de corrientes de CO₂ salvo: "(1) que el almacenamiento se realice en una formación geológica por debajo del fondo marino; (2) [las corrientes] consistan en su mayor parte de dióxido de carbono; y (3) no se añada ningún residuo para su eliminación. En otras palabras, estas normas no permiten el almacenamiento del CO₂ en la profundidad de los océanos." <http://www.londonconvention.org>
- ⁶² Benson, S y col., 2005, pág. 197
- ⁶³ Bruant y col., 2002
- ⁶⁴ Benson, S y col., 2005, pág. 202
- ⁶⁵ Forbes, S, 2002
- ⁶⁶ Ibid, pág. 197
- ⁶⁷ En el proyecto de almacenamiento de Weyburn Field, se calcula que, por cada barril de petróleo producido, se mantienen bajo tierra aproximadamente 85 metros cúbicos estándar (scm). Como un scm de CO₂ pesa 1,56 Kg y un barril de petróleo equivale a 130 Kg, entonces 130 Kg de petróleo/(85 scm * 1,56 Kg/scm) = 0,97 Kg de petróleo por Kg de CO₂, básicamente una proporción de 1:1, de forma que 1 tonelada de CO₂ almacenada bajo tierra produce aproximadamente 1 tonelada de petróleo (Heddle, G y col., 2003, pág. 33).
- ⁶⁸ Herzog, H & Golomb, D, 2004, pág. 6
- ⁶⁹ Hannegan, B, 2007, pág. 25
- ⁷⁰ MIT, 2007, pág. 159
- ⁷¹ Benson, S y col., 2005, pág. 197
- ⁷² Viebahn, P y col., 2007 pág. 1 y 2
- ⁷³ MIT, 2007, pág. 14
- ⁷⁴ WBSCD, 2006
- ⁷⁵ PDNU, 2007, pág. 145-146
- ⁷⁶ Programa de I+D de gases de efecto invernadero de la Agencia Internacional de la Energía (en adelante "AIE"), 2007, I
- ⁷⁷ Institute CAIT, <http://cait.wri.org/>
- ⁷⁸ Citado en Point Carbon, 9.1.08
- ⁷⁹ CCJ, 2008, pág. 14
- ⁸⁰ Abanades, J C y col., 2005, pág. 8
- ⁸¹ Abanades, J C y col., 2005, pág. 8
- ⁸² Ibid, pág. 8
- ⁸³ Saddler, H y col., 2004, xii
- ⁸⁴ Ibid, x
- ⁸⁵ Ibid, xii
- ⁸⁶ Abanades, J C y col., 2005, pág. 3
- ⁸⁷ Es decir, una reducción de la eficiencia del 20% en cada una de estas cuatro centrales da lugar a una demanda extra total de energía de $4 \times 20\% = 80\% = 1$ central extra de las mismas dimensiones. El 20% restante es necesario para la CAC en la quinta central.
- ⁸⁸ MIT, 2007, pág. 24 y 25
- ⁸⁹ Ibid, pág. 146 y 147
- ⁹⁰ Rubin y col., 2005, pág. 8
- ⁹¹ Shuster y col., 2007, pág. 60
- ⁹² Ragden y col., 2006, pág. 24
- ⁹³ Energy [R]evolution de Greenpeace es fruto de la colaboración con el Consejo Europeo de Energías Renovables y los laboratorios aeroespaciales alemanes. Está disponible en www.greenpeace.org/espana/reports/r-evoluci-n-energetica-persp (castellano) www.greenpeace.org/energyrevolution (inglés)
- ⁹⁴ Abanades, J C y col., 2005, pág. 10
- ⁹⁵ Herzog, H & Golomb, D, 2004, pág. 5
- ⁹⁶ Energy Information Administration (en adelante, "EIA"), 2007, pág. 73
- ⁹⁷ Damen, K et al., 2006, pg 290
- ⁹⁸ Pág. 45
- ⁹⁹ Gough, C & Shackley, S, 2006, pág. 159
- ¹⁰⁰ Bradsaw y col., 2007, pág. 66
- ¹⁰¹ Gough, C, Shackley, S, 2006, pág. 159
- ¹⁰² Bachu, S y col., 2007, pág. 432
- ¹⁰³ Bruant y col., 2002
- ¹⁰⁴ Informe presentado por CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) ante la Comisión del Congreso australiano sobre tecnología de secuestro geológico, agosto de 2006.
- ¹⁰⁵ MIT, 2007, pág. xii
- ¹⁰⁶ AIE 2007, pág. 7
- ¹⁰⁷ Benson, S, 2004, pág. 15
- ¹⁰⁸ Departamento de Energía estadounidense (en adelante, "DOE"), 2007

-
- ¹⁰⁹ Parfomak, P & Folger, P, 2008, pág. 4
- ¹¹⁰ Ibid, pág. 6
- ¹¹¹ Ibid, pág. 7
- ¹¹² Ibid, pág. 8
- ¹¹³ Damen, K y col., 2006, pág. 293
- ¹¹⁴ Bradshaw y col., 2007, pág. 66
- ¹¹⁵ MIT, 2007, pág. 50
- ¹¹⁶ Pág. 14. Resumen para políticos del Informe especial sobre CAC del IPCC, 2005
- ¹¹⁷ <http://www.smh.com.au/news/environment/buried-gases-may-escape-scientists/2006/07/04/1151778936655.html>.
- ¹¹⁸ Vajjhala, S y col., 2007, pág. 5
- ¹¹⁹ Azar y col., 2006
- ¹²⁰ Benson y col., 2005, pág. 264
- ¹²¹ Abanades, J C y col., 2005, pág. 10
- ¹²² National Energy Technology Laboratories (en adelante, "NETL"), 2007, ii
- ¹²³ Rubin y col., 2005a, pág. 40
- ¹²⁴ Ragden, P y col., 2006, pág. 18
- ¹²⁵ Heddle, G y col., 2003, pág. 17
- ¹²⁶ Abanades, J C y col., 2005, pág. 10
- ¹²⁷ Parfomak, P & Folger, P, 2008, pág. 5 y 12
- ¹²⁸ Abanades, J C y col., 2005, pág. 10
- ¹²⁹ Rubin y col., 2005b, pág. 4444
- ¹³⁰ Ragden, P y col., 2006, pág. 20
- ¹³¹ Departamento de Energía estadounidense, FY 2009 Congressional Budget Request, Febrero de 2008
- ¹³² Diesendorf, M, 2006, pág. 13
- ¹³³ Abanades, J C y col., 2005, pág. 15
- ¹³⁴ Van der Zwaan, B & Smekens, K, 2007
- ¹³⁵ Spreng, D y col., 2007, pág. 851
- ¹³⁶ Abanades, J C y col., 2005, pág. 12
- ¹³⁷ Diesendorf, M, 2006, pág. 16
- ¹³⁸ Forbes, S, 2002
- ¹³⁹ Bruant y col., 2002
- ¹⁴⁰ Wilson, E y col., pág. 5945
- ¹⁴¹ Centro del Carbón Limpio de la AIE, <http://www.iea-epl.co.uk/content/default.asp?PagelD=885>
- ¹⁴² Levinson, Marc 2007, pág. 14
- ¹⁴³ La Comisión Interestatal de Petróleo y Gas Compacto, 2007, pág. 11
- ¹⁴⁴ NETL, 2006, pág. 5
- ¹⁴⁵ von Goerne, G, 2002, pág. 2
- ¹⁴⁶ Wilson y col., 2007, pág. 5946
- ¹⁴⁷ El Convenio de Londres ha tratado de dar respuesta al problema de la pureza en las normativas que rigen el almacenamiento de CO2 en formaciones geológicas por debajo del lecho marino. En el ANEXO 4.5, Lista de acciones del documento LC/SG 29/15, consta que la composición de la corriente inyectada debería contener CO2 en su mayor parte. No obstante, no se ofrece directriz alguna para la correcta caracterización de la corriente (www.londonconvention.org). ¿"En su mayor parte" significa un 51%, un 75% o un 99%? Esta falta de claridad sólo aumenta las dudas relativas al almacenamiento de CO2. Greenpeace cree que la pureza de una corriente con CO2 inyectado debería superar el 99,9% y cualquier intento de definir "en su mayor parte" debería reflejar este hecho.
- ¹⁴⁸ de Figueiredo, M y col., 2005, pág. 6
- ¹⁴⁹ NETL 2006
- ¹⁵⁰ Departamento de Comercio y Oportunidades Económicas de Illinois, "Gov. Blagojevich Applauds the Passage of Important Legislation to Continue Illinois' Strong Bipartisan Push to Bring FutureGen to Illinois", <http://www.ildceo.net/dceo/News/pr07262007-2.htm>, recuperado el 23 de enero de 2008.
- ¹⁵¹ Servicio de Noticias Gatehouse, "Mattoon gets FutureGen nod, but hurdles remain", http://www.gatehousenewsservice.com/regional_news/midwest/illinois/x1414531785, recuperado el 23 de enero de 2008.
- ¹⁵² Rubin y col., 2005a, pág. 43
- ¹⁵³ Ragden, P y col., 2006, pág. 15
- ¹⁵⁴ McFarland, J y col., 2000
- ¹⁵⁵ Groenenberg, H & de Coninck, H, 2007, pág. 9
- ¹⁵⁶ <http://www.pointcarbon.com/>
- ¹⁵⁷ Groenenberg, H & de Coninck, H, 2007, pág. 9
- ¹⁵⁸ Centro del Carbón Limpio de la AIE, <http://www.iea-epl.co.uk/content/default.asp?PagelD=885>
- ¹⁵⁹ Groenenberg, H & de Coninck, H, pág. 9
- ¹⁶⁰ Saddler, H y col., 2004, xi
- ¹⁶¹ Futu[r]e Investment: A sustainable investment plan for the power sector A Greenpeace y European Renewable Energy Council (EREC), julio de 2007 - <http://www.greenpeace.org/international/press/reports/future-investment>
- ¹⁶² Energy [R]evolution: A Sustainable World Energy Outlook, Greenpeace y EREC, enero de 2007 - <http://www.greenpeace.org/energyrevolution>
- ¹⁶³ REN21, 2007, pág. 2
- ¹⁶⁴ Renewable Energy Access, New Zealand Commits to 90% Renewable Electricity by 2025, 26 de septiembre de 2007,

<http://www.renewableenergyaccess.com/rea/news/story?id=50075>

¹⁶⁵ Franz Alt, For German Homeowners, Renewable Energy is No Longer a Choice, 2007,
http://www.sonnenseite.com/index.php?pagelD=60&article:oid=a9008&template=article_detail.html&flash=true

¹⁶⁶ AWEA, US Wind Energy Power Surges 45%, Again Shatters Record, Wind Energy Weekly, vol 27, nº 1273, 18 de enero de 2007,
<http://www.awea.org/windenergyweekly/WEW1273.html#Article1>

GREENPEACE

Greenpeace es una organización independiente que usa la acción directa no violenta para exponer las amenazas al medio ambiente y busca soluciones para un futuro verde y en paz.

Greenpeace España

San Bernardo 107
28015 Madrid
informacion@greenpeace.es
www.greenpeace.es

Tel: +34 91 444 14 00
Fax: +34 91 447 15 98

Ortigosa 5, 2º 1
08003 Barcelona

Tel: +34 93 310 13 00
Fax: +34 93 310 43 94