



WORLD ENERGY COUNCIL
CONSEIL MONDIAL DE L'ÉNERGIE

Captura y Almacenamiento de Carbono: Un "Balance Provisional" del WEC

(Informe de Progreso)
Edición 2007

World Energy Council 2007

Promoviendo el suministro y el uso sostenibles de energía para el mayor beneficio de todos

Comité del Consejo Mundial de la Energía para el Uso mas Limpio de los Combustibles Fósiles

Contenido

1 Prefacio

Barbara N. McKee,
Presidente del Comité WEC Cleaner Fossil
Fuels Systems (CFFS)
Captura y Almacenamiento de Carbono: Un
"Balance Provisional" del WEC
Informe de Progreso
Edición 2007

4 1. Necesidades

- Demanda Energética Mundial
- Emisiones de Dióxido de Carbono Relacionadas
- Permitir el desarrollo y mitigar el Cambio Climático

5 2. Tecnología

- Captura de Carbono
- Transporte
- Almacenamiento
- Investigación desarrollo y demostración (RD&D)

8 3. Aspectos Económicos Comparativos

- Costos
- Competitividad
- Rentabilidad
- Externalidades
- Inversiones

11 4. Implementación

- Los conductores
- El Potencial
- Generación de energía en base a carbón
- Generación de energía en base a gas natural
- Generación de energía en base a petróleo
- Aspectos gerenciales

14 5. Países en Desarrollo y Economías en Transición

- El dilema
- Recuperación mejorada de petróleo y gas
- La eficiencia primero
- Próximos pasos en CCS

19 6. Perspectivas

- Síntesis
- Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
- Agencia Internacional de la Energía
- Comisión Europea

21 7. Políticas

- Políticas climáticas
- Políticas energéticas
- Políticas de Captura y Secuestro de Carbono (CCS)

24 8. Leyes y Reglamentaciones

- Adaptación de los marcos reglamentarios y legales nacionales
- Revisión de tratados y convenciones internacionales
- Divulgación o protección de la propiedad intelectual (IP)
- Garantía de un campo de competencia leal para CCS

28 Conclusión

- Estado actual
- Potencial
- Cuestionamientos
- Acción

31 Anexos

31 A. Trabajos de investigación presentados en los seminarios de CFFS:

- Combustibles Fósiles mas Limpios: La piedra angular para el Desarrollo Humano y la Seguridad Energética; Sídney (Australia), 8 Septiembre de 2004
- Captura y Almacenaje de Carbono: Una vía hacia Combustibles Fósiles más Limpios; Erice (Italia), 24 Agosto de 2005
- Sistemas de Combustibles Fósiles mas Limpios con Captura y Almacenaje de Carbono: Su Impacto para el Mundo en Desarrollo; Colombo (Sri Lanka), 6 Septiembre de 2005
- Combustibles Fósiles más Limpios para un Desarrollo Sustentable; Neptuno (Rumania), 13 Junio de 2006
- Esfuerzos Globales y Regionales hacia la Captura y Almacenamiento de Carbono; Tallin (Estonia), 4 Septiembre de 2006
- Combustibles Fósiles más Limpios para la Generación de Energía; Moscú (Rusia), 8 Septiembre de 2006
- Mitigación de las Crecientes Contribuciones de Asia Occidental a las Emisiones Globales, Amman (Jordania), 25 de Abril 2007

36 B. Lista de iniciativas internacionales para CSC

- Formulación de políticas
- Recopilación y análisis de datos
- Desarrollo conjunto de tecnologías
- Marcos regamentarios y legales a nivel internacional
- Proyectos seleccionados de RD&D

40 C. Abreviaturas

40 D. Contacto con el editor

40 E. Contacto con el WEC

Comite WEC Para Sistemas de Combustibles Fosiles Más Limpios

Prefacio por Barbara N. McKee, Presidente del CFFS:

El Comité

En 1999, el Consejo Mundial de la Energía (WEC) creó el Comité para Sistemas de Combustibles Limpios (CFFS) para discutir y promover, a nivel mundial, el conocimiento sobre la investigación, desarrollo, demostración e implementación de sistemas de combustibles fósiles más limpios para satisfacer las necesidades de energía a nivel global. Durante el período 2004 – 2030 se prevé un incremento del 53% en el consumo global de energía. Los combustibles fósiles son cruciales en el logro del desarrollo económico global previsto y en el suministro seguro de la energía necesaria para ello. Se estima que el porcentaje en el uso de energía fósil, a nivel global, se incrementará del 81% en 2004 hasta el 82% en 2030. La producción y el consumo de todas las formas de combustibles fósiles se incrementará para poder satisfacer las necesidades de crecimiento planteadas (IEA 2006).

El uso de combustibles fósiles puede tener un impacto mayúsculo en el ambiente a nivel local, regional y global y, en consecuencia, el desafío ambiental es de grandes proporciones. Los Sistemas más Limpios mitigan e incluso neutralizan las consecuencias adversas del uso de combustibles fósiles, a la vez que permiten que sus cualidades positivas propicien el desarrollo económico y social. Las tecnologías para tales Sistemas avanzan rápidamente.

El mandato

Las partes interesadas necesitan tener un conocimiento cabal del altísimo valor de los Sistemas Limpios para garantizar que puedan ser utilizados de manera sustentable. De allí que uno de los objetivos del Comité sea asegurarse que una amplia gama de interesados conozca y aprecie el gran potencial de estos Sistemas para garantizar el uso sustentable de los combustibles fósiles. Para alcanzar esta misión el Comité:

- ▶ organiza y promueve foros que congregan a expertos en energía, a los responsables de la toma de decisiones en materia energética y a los consumidores, para discutir conjuntamente el rol de las tecnologías destinadas para el uso más limpio de los combustibles fósiles;
- ▶ crea redes para el intercambio de información, elabora propuestas e introduce recomendaciones para la implementación de tales tecnologías, a nivel mundial, con especial énfasis en los países en desarrollo;
- ▶ somete a discusión los aspectos críticos y las barreras que pueden entorpecer el avance de los Sistemas de Combustibles Fósiles más Limpios y exhorta a los gobiernos, a los inversionistas, y a las instituciones financieras para que, en forma proactiva, apoyen e incentiven la incorporación de las tecnologías disponibles.

Las actividades

El Comité propicia el logro de estos objetivos principalmente a través de Seminarios, Talleres y Mesas Redondas organizadas a nivel mundial en: Ankara, Turquía-1999; Cracovia, Polonia-1999; Dakar, Senegal-2000; Río de Janeiro, Brasil-2001; Buenos Aires, Argentina-2001; Washington, DC, Estados Unidos-2002; Varsovia, Polonia-2002; El Cairo, Egipto-2002; Kiev, Ucrania-2003; Sídney, Australia-2004; Erice, Italia-2005; Colombo, Sri Lanka-2005; Neptuno, Rumania-2006; Tallin, Estonia-2006; Moscú, Rusia-2006; y Aman, Jordania-2007. También se investiga y se publican documentos relacionados con el tema.

Enfocado en la Captura y Almacenamiento de Carbono

Durante el período 2004 – 2007, el Comité se ha enfocado en el tema de la Captura y Almacenamiento de Carbono.

La Sesión de Discusión “*Cleaner Fossil Fuels – The Cornerstone for Human Development and Energy Security*”, realizada en **Sídney**, Australia, el 8 de Septiembre de 2004, en la ocasión del “XIX Congreso Mundial de Energía”, ubicó al Secuestro o Captura de Carbono en el contexto general del desarrollo sostenible y la mitigación de la pobreza energética.

El Taller realizado en **Erice**, Sicilia (Italia), el 24 de Agosto de 2005, trató el tema “*Carbon Capture and Storage – A Way Forward for Cleaner Fossil*”. Fue un evento único en su clase porque fue organizado por invitación de la Federación Mundial de Científicos (WFS) y tuvo lugar en el prestigioso Centro Internacional para la Cultura Científica en Erice. El Prof. Richard Wilson, Presidente del Panel

de Monitoreo Permanente del WFS y la suscrita, como Presidente del CFFS, presidimos la Sesión.

El 7 de septiembre de 2005, el Comité organizó el Diálogo “*Cleaner Fossil Fuel Systems with Carbon Capture and Storage – What’s In It for the Developing World?*” en **Colombo**, Sri Lanka, en el marco de la reunión de la Asamblea Ejecutiva Anual del WEC.

“*Cleaner Fossil Fuels for Sustainable Development*” fue el tópico de un taller organizado conjuntamente por el CFFS y el Complejo para la Energía de Cracovia, el 13 de junio de 2006, en el marco del Foro Regional FOREN06 realizado en **Neptuno**, Rumania.

“*Focused lectures on global and regional efforts toward carbon capture and storage*” fueron el objeto del Taller organizado por el Comité CFFS en **Tallin**, Estonia, el 4 de septiembre de 2006, en la ocasión de la Asamblea Ejecutiva del WEC.

“*Cleaner Fossil Fuels for Power Generation*” fue el tema discutido en el Taller organizado conjuntamente por el Comité CFFS y el All-Russian Thermal Engineering Institute (VTI) en **Moscú**, Rusia, el 3 de septiembre de 2006.

El 25 de abril de 2007, se realizó el Taller “*Mitigating the Growing Contributions of West Asia in Global Emissions*”, organizado por el Comité CFFS conjuntamente con The Arab Union of Electricity Producers, Transmitters and Distributors en **Amman**, Jordania.

El 12 de noviembre de 2007, tendrá lugar el foro “*Fossil Fuels Leading the Clean Energy Revolution*”, en el marco del Congreso Mundial de Energía a celebrarse en **Roma**, Italia.

El Taller “*Facilitating CCS Project Preparation and Management*” está programado para realizarse el año 2008 en **África**.

Difusión

Todos los eventos mencionados anteriormente han generado un importante acervo de información que hace imperativa su amplia difusión. De allí que este Folleto se proponga ampliar el ámbito de su audiencia y difundir el estado actual de la captura y almacenamiento del Dióxido de Carbono. El enfoque está centrado en la necesidad dual de controlar el cambio climático y de avanzar en la vía hacia el desarrollo económico para eliminar la pobreza. Dado que nos encontramos en el proceso de pleno desarrollo y difusión e implementación de las tecnologías para el secuestro y almacenamiento del carbono, continuaremos presentando “Balances Provisionales” en lugar de conclusiones finales. De allí que esta sea la Edición correspondiente al año 2007, la segunda de una Serie de Folletos en la materia.

Naturalmente, el Comité se concentra en los trabajos generados bajo su auspicio y que se presentan en la lista incluida en el Anexo A. Las principales referencias se registran al final de cada capítulo. Los interesados pueden acceder a los trabajos con la información indicada en la lista del Anexo de referencia.

Agradecimientos

Mis palabras de agradecimiento para los miembros del Comité, los autores de los trabajos, Barry Worthington, Executive Director of the United States Energy Association (USEA); y el editor, Dr. Klaus Brendow, por su valiosa contribución a este documento.

Barbara N. McKee
Presidente del Comité CFFS del WEC

Captura y Almacenamiento de Carbono: Un Balance Provisional del WEC Edición 2007

1. NECESIDADES

El desarrollo de las tecnologías de captura y almacenamiento de carbono (CCS) ha sido impulsado por la necesidad de mitigar el cambio climático resultante del desarrollo económico.¹

Demanda mundial de Energía: Los combustibles fósiles han suministrado casi toda la energía comercial a nivel mundial, entre los años 1900 y 1970, y aún suministran cerca del 85% en 2007. Se estima que continuarán suministrando un 82% en 2030 y un 64% en 2050. En términos absolutos, esta expectativa implica un incremento significativo en su generación y uso. La Figura 1 demuestra que a la luz de las políticas que rigen actualmente, la demanda de energía fósil se incrementará en un 80% entre 1990 y 2050 (Fig. 1, primera columna 2050). Sin embargo, bajo políticas adecuadas, incremento de la eficiencia; sustitución de carbón por gas natural, promoción de fuentes no contaminantes o nuevas tecnologías, se podría constreñir la demanda de energía fósil y las consecuentes emisiones de dióxido de carbono. En tal escenario, el crecimiento de la demanda de energía fósil durante el período 1990 – 2050 podría disminuir del 80 % al 60% y las emisiones de CO₂ verse reducidas en un 12% (Fig. 1, última columna 2050).

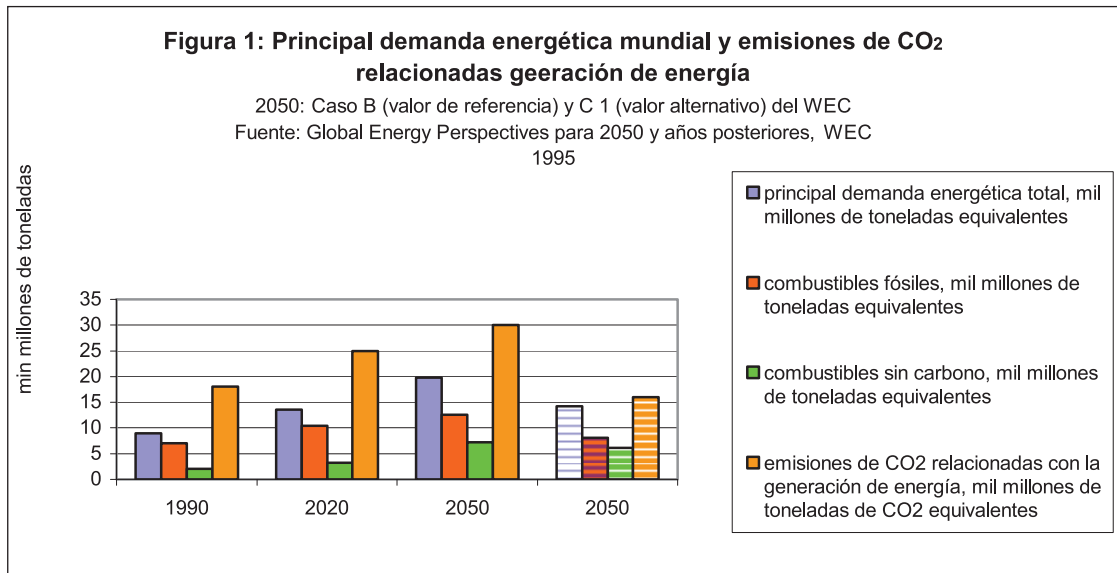
El sistema energético mundial es inmenso. La introducción de nuevas tecnologías y sistemas en base anual, puede impactar el sistema energético

sólo en forma incremental. Los cambios en fuentes de energía y utilización de nuevas tecnologías requieren de 25 a 50 años de penetración para cambiar el sistema total.

Esto se debe a la necesidad de capitales extraordinarios, y a la larga vida de las instalaciones y equipos; es decir, a un bajo *retorno* del capital. Esto se compensa parcialmente gracias al aumento de la eficiencia en producción, conversión y transporte/transmisión de energía. Sin embargo, actualmente, parece no haber una alternativa factible y viable a los combustibles fósiles para cumplir el doble objetivo desarrollo-ambiente al que aspiran las naciones, al menos hasta 2050. Una declinación más rápida en el uso de combustibles fósiles, demandaría enormes recursos que la mayoría, si no todos los países, son incapaces de movilizar.

Emisiones de CO₂. Durante los últimos 250 años, los combustibles fósiles aportaron 75%-80% a la concentración global de CO₂. De un promedio de 23.5 Gt en la década de 1990, las emisiones anuales de CO₂ provenientes de combustibles fósiles aumentaron a 26.1 Gt durante el período 2000 – 2005 (IPCC 2007). Dado que se proyecta que la intensidad de carbono por uso de energía (2.3 tCO₂/toe) caerá muy levemente, las emisiones de CO₂ asociadas se elevarían a 40.4 Gt para 2030 bajo las políticas actuales (incluyendo la implementación del Protocolo de Kyoto) o a 34.1 Gt bajo a políticas alternativas más estrictas (IEA 2006). De esta manera, el Protocolo de Kyoto no

¹ IPCC WG I, Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Summary for Policy Makers, febrero de 2007, p. 2 and 5: "The global increases of carbon dioxide concentrations are due primarily to fossil fuel use and land-use change... The understanding of anthropogenic warming and cooling... has improved..., leading to a very high confidence [>90 %] that the globally averaged net effect of human activities since 1750 has been one of warming."



parece tener un impacto significativo en el uso de energía y las emisiones de dióxido de carbono. Una razón para ello es que en la década de 2020, las emisiones de los países en desarrollo (las cuales no están sujetas a los requerimientos de reducción de Kyoto) tomarán emisiones de los países OECD y alcanzarán un 60%-70% en 2050. Así, es importante que en el proceso post-Kyoto se definan vías y maneras de incorporar estos países al proceso de control climático, salvaguardando su progreso en la vía hacia el desarrollo. La captura y almacenamiento de carbono será una opción muy importante para muchos países en desarrollo con abundantes recursos fósiles (Ver Capítulo 5).

Coexistencia entre Desarrollo Económico y Mitigación del Cambio Climático:

Los incrementos descontrolados de las emisiones de CO₂ obviamente impactarían severamente en cualquier política para mitigar el cambio climático. Esta realidad ilustra la necesidad de tomar al menos medidas preventivas donde sea posible, que a la vez sean factibles de aplicar desde el punto de vista económico. En particular, la mitigación del impacto de los combustibles fósiles puede alcanzarse en primer lugar, al mejorar la combustión y la eficiencia, y reemplazar el uso directo de combustibles fósiles por electricidad más eficientes y menos contaminantes, y finalmente, al aplicar las tecnologías de CCS.

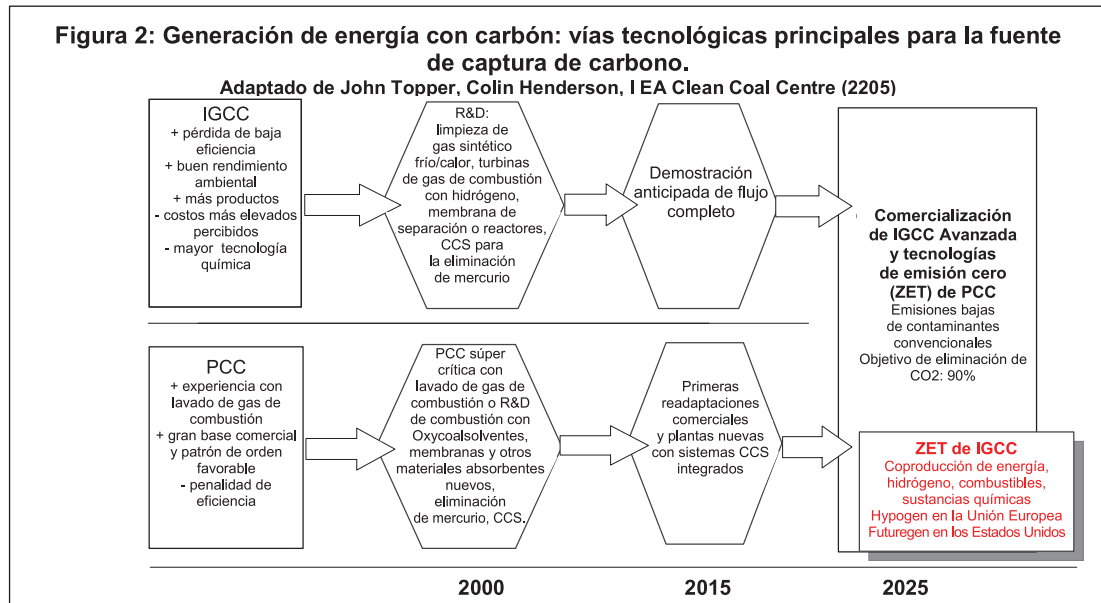
Los sistemas de tecnologías de CCS tienen el potencial de lograr reducciones substanciales en la

emisión de CO₂ relacionada con energía, si se aplica a gran escala, a tiempo, y a costo competitivo para atraer a los inversionistas. La relevancia de CCS en la reducción de emisiones se incrementará con el tiempo, ya que las tasas de crecimiento de emisiones globales de CO₂ se incrementarán debido a la declinación en el uso de la hidroenergía y la energía nuclear. Sin embargo, el costo actual de CCS es visto como un serio impedimento para su uso y por lo tanto, debe reducirse.

Lecturas recomendadas: Workshop en Erice: Hisham Al-Khatib; Workshop en Tallin: Barbara N. McKee; otras fuentes: IEA World Energy Outlook 2004 y 2006; IPCC Climate Change 2007, Summary report for policy makers.

2. TECNOLOGÍA

Las tecnologías de CCS capturan dióxido de carbono, lo comprimen, lo licuan y luego lo transportan por ductos o tanqueros para su almacenamiento seguro y permanente en formaciones geológicas. Algunas de estas tecnologías han sido probadas y utilizadas por la industria petrolera para la recuperación mejorada de crudos. Sin embargo, no ha sido demostrado en forma adecuada en plantas de carbón, a gran escala como componentes de sistemas integrados de energía limpia. La tecnología CCS ofrece un gigantesco potencial de utilización en las grandes plantas de generación de energía que se instalarán en el futuro inmediato. La tecnología CCS puede



ser utilizada también para mitigar emisiones de CO₂ provenientes de otras aplicaciones industriales.

Debe observarse que, además del almacenamiento geológico, se continúa investigando la posibilidad de almacenamiento terrestre, carbonatación mineral, así como en opciones para convertir CO₂ en productos utilizables.

Captura de Carbono: La utilización de tecnologías de captura en las nuevas plantas de carbón puede reducir las emisiones hasta un 80%–85%. Sin embargo, la aplicación de dichas tecnologías demanda el uso de energía adicional, con lo cual se reduce la eficiencia total. En la práctica, se han revisado pérdidas por conversión estimadas hasta en un 13% (IEA 2004) hasta en ocho puntos hacia abajo en plantas de generación a carbón existentes, y a cuatro puntos de porcentaje en futuras plantas integradas de ciclo combinado (IGCC).

- ▶ Las tecnologías de pre-combustión convierten el carbón o el gas natural en hidrógeno y/o combustibles diésel ultra limpios, mientras eliminan el CO₂. La tecnología de Gasificación combinada, o ciclo combinado (IGCC), es una opción prometedora debido a la posibilidad de co-producir electricidad, combustibles y productos químicos (Figura 2).

- ▶ Las tecnologías de Post-combustión capturan el CO₂ de los gases efluentes por procesos químicos. Otra opción es el “oxyfueling”, el cual modifica el proceso de combustión mediante oxígeno puro en lugar de aire para obtener CO₂ muy puro. Un ejemplo ilustrativo lo constituye el Ciclo de Vapor Súper Crítico (SCSC) en la combustión de carbón pulverizado (PCC).

Transporte: El transporte de CO₂ desde el punto de origen al de almacenaje es comparativamente, poco costoso, pero requiere de la instalación de la infraestructura básica. El modo de transporte (ducto, tanquero, camión, barco) del CO₂ en estado gaseoso, líquido o en estado súper crítico depende de las presiones y volúmenes que se transportarán, y de la distancia al lugar de almacenamiento. Una red que conecta varios puntos de origen a un centro de almacenamiento sería un acierto en áreas donde los lugares para almacenaje están ubicados lejos del sitio de origen. Queda por determinar dónde colocar, cómo financiar y cómo operar dichas redes. Actualmente, un total de 3,000 km de ductos son operativos (IEA 2004).

Almacenamiento: Existe una enorme cantidad de depósitos potenciales para CO₂. Se calcula que la capacidad global de formaciones salinas es de entre 1,000 y 10,000 GtCO₂, mientras que en campos agotados de petróleo y gas, se calculan unos 1,100 GtCO₂. Esto corresponde a 9–480 años

la tasa actual de emisiones de 23–24 GtCO₂/año a nivel mundial. Por otra parte, el CO₂ también puede almacenarse en minas de carbón abandonadas o en caltratos glaciares. Actualmente, más de 33 millones de toneladas de CO₂ han sido capturados y almacenados en unos 70 proyectos (IEA 2004). La mayoría son experimentales, pero hay grandes proyectos a escala comercial operando en In Salah (Algeria), Weyburn (Canadá), el Mar del Norte (Sleipner) y otros previstos en Barents Sea, Gorgon (Australia), Gassi Touil (Argelia), entre otros campos. Como se indicó anteriormente, en muchas partes del mundo, el CO₂ es inyectado comercialmente en yacimientos petrolíferos como método de recuperación mejorada (EOR).

El proceso de almacenamiento incluye un profundo y confiable conocimiento de la capacidad de almacenaje, un completo conocimiento del entrapamiento del CO₂, su migración e impacto en las aguas subterráneas adyacentes, así como la prevención, monitoreo y eliminación de fisuras y/o escapes de gas. La preocupación de la sociedad por el riesgo de escapes de gas merece ser afrontada desde el comienzo del proyecto, por lo que se debe informar detalladamente y enfatizar la condición segura actual del almacenamiento de millones de toneladas de CO₂ y la existencia de un régimen regulatorio adecuado. Asimismo, deben discutirse y acordarse asuntos de naturaleza conflictiva que pudieran presentarse a corto y largo plazo.

La mineralización/adsorción de CO₂ en estructuras porosas y térmicamente estables (silicatos, arcillas y sal) es aún especulativa y se encuentra en etapa de conceptualización; sin embargo, este método de almacenamiento parece prometedor.

Investigación, desarrollo y demostración

(RD&D): El aspecto de mayor impacto en el área de investigación, desarrollo y demostración es el de reducir por lo menos en un 50%, el costo actual de 50–100 US\$/tCO₂ (Figura 3), mejorar la integración de CCS en los diseños de plantas de generación, incrementar la eficiencia de captura, aumentar el tamaño de las instalaciones a escala de demostración y comercialización, y lograr factibilidad técnica, confianza operacional, seguridad, prevención de fugas, viabilidad comercial y aceptación pública. En vista del incremento de las emisiones, la investigación y el desarrollo deben acelerarse. Hasta este momento, diferentes enfoques están siendo desarrollados, por lo que establecer prioridades de uno sobre otro no es posible ni deseable. En su lugar, el objetivo a corto plazo es lograr un portafolio diversificado de tecnologías avanzadas. El objetivo a largo plazo es la operación de plantas de generación/químicas, sin emisiones.

Actualmente, hay unos 110 proyectos de RD&D a nivel mundial. Entre ellos figuran el FutureGen de los Estados Unidos y el Hypogen de la Unión Europea (ambos producen hidrógeno como insumo químico o combustible para el transporte), la Canada-Clean Power Coalition, y programas en Australia, Alemania (Cooretec), el Reino Unido, Noruega, Francia, Italia, Japón y otros (Ver Anexo B).

La cooperación internacional propone y persigue el intercambio de información y coordinación mediante organismos como el Carbon Sequestration Leadership Forum, IEA Working Party on Fossil Fuels, EU Framework Programmes for Research and Technological Development,

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), WEC Cleaner Fossil Fuel Systems Committee y otros. La participación y el compromiso de la Industria en estos esfuerzos resultan esenciales. En los Estados Unidos, la industria financia un tercio del costo total de sesenta proyectos de investigación los cuales reciben unos US\$200 millones del gobierno federal.

La completación de varias plantas de demostración a gran escala (250 MW o más) en el 2015 es clave para que la tecnología CCS logre posicionarse en el mercado y tenga opción de ser ampliamente aplicada durante el período 2020–2030.

Lecturas sugeridas: Workshop en Erice: James Ekman; Jacek Podkanski; David Sevier; Olav Kaarstad; Klaus Lackner; Suzanne Hurter; Workshop en Neptuno: Ionel Illie; Henrik Noppenu; Robert Gentile; Gurgen Olkhovsky; Workshop en Tallin: M. Uus; Workshop en Moscú: A. Tumanovsky, A. Silin, J. Topper, R. Gentile, P. Casero, A. Nakanishi; otras fuentes: IEA Prospects of carbon capture and storage, París 2004, p. 13 – 21, 55; John Topper, Colin Henderson – IEA Clean Coal Centre: Advanced technologies towards zero emissions from coal-fired plant and their introduction in EU member States; lecture given at the International Conference on Policy and strategy of sustainable energy development for central and eastern European countries until 2030, Varsovia, 22/23 noviembre de 2005; para riesgos de almacenamiento y soluciones; consulte: Wolfgang Heidug, Geologische CO₂-Speicherung als Beitrag zum Klimaschutz: Potenzial, Sicherheit, Wirtschaftlichkeit, in Erdöl Erdgas Kohle 123 Jahrgang, Heft 1 (para la lectura en inglés: www.dgmk.de)

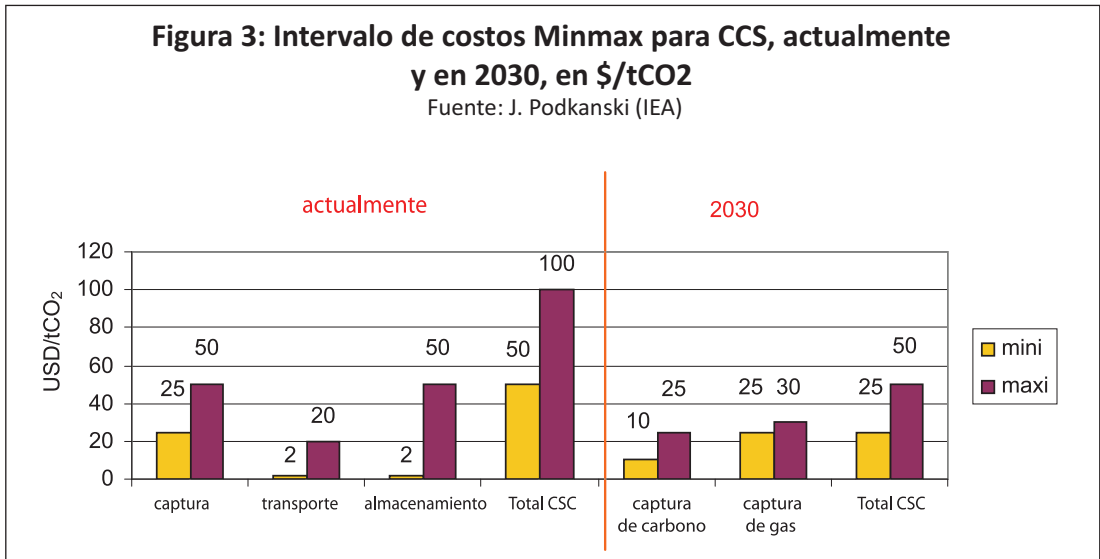
El Departamento de Energía de los Estados Unidos (USDOE) se ha fijado el objetivo de desarrollar, para 2012, sistemas de conversión de combustibles fósiles que ofrezcan un 90% de

captura de CO₂, con un 99% de almacenamiento y menos de un 10% de incremento en el costo de los servicios de energía.

3. ASPECTOS ECONÓMICOS COMPARATIVOS

Costos: La electricidad producida por plantas generadoras equipadas con tecnologías de captura y almacenaje de carbón es obviamente más costosa que la electricidad producida en plantas de generación por centrales eléctricas a carbón. Esta realidad es cierta indistintamente de que las plantas existentes o que las plantas nuevas estén dotadas de estas tecnologías. Actualmente, la IEA (2004) estima el rango de costos de CCS entre US\$50 y US\$100/tCO₂. Las tecnologías CCS incrementan los costos de capital de las plantas generadoras en un 30%-100%, y los costos de producción de electricidad en un 25%–100%. Para 2030, los costos podrían disminuir entre US\$25–\$50/tCO₂ (Figura 3). Algunos expertos estiman que esto significará un aumento de uno a dos centavos de dólar (US \$) por kilowatio/hora para el consumidor; lo que representa un aumento del costo de aproximadamente el 10% al 20%. Esto puede ser mucho menor en una planta IGCC (EC) (IEA 2009).

Competitividad: El rango de incertidumbre del costo de implantación de tecnologías CCS con respecto a otras opciones de reducción de emisiones de CO₂ hace especulativa la comparación de competitividad. Esta realidad se debe no solamente a la incertidumbre de los costos de CCS, sino también a la poca certeza de los costos de otras opciones.



La Figura 3, de la IEA, ilustra los costos de la implantación de CCS hoy y en 2030, donde se asumen reducciones de costos dramáticas. Ambos rangos son muy significativos.

Los costos de la implantación de CCS se comparan frecuentemente con los costos de la generación de energías renovables y de energía nuclear. Los expertos han desarrollado amplios rangos de costos estimados para todas estas opciones (ver Tabla 1). En la tabla se observa que en la parte baja del rango de costos para CCS, y en la parte media a alta del rango para las alternativas, CCS luce muy competitivo. Sin embargo, en la parte alta del rango de costos para CCS, y en la parte baja del rango para las alternativas, CCS luce muy costoso.

Los esfuerzos para disminuir los costos de todas estas tecnologías son constantes y de ellos depende ver cuáles serán más rápidas y más ampliamente utilizadas. La realidad nos indica que el mundo necesitará utilizar todas las tecnologías disponibles al máximo de su potencial económico, para reducir las emisiones y la concentración de CO₂ en la atmósfera a niveles que los científicos consideren sostenibles.

La competitividad de CCS se verá influenciada por la proximidad de las fuentes a los sumideros y otras circunstancias locales. Asimismo, la aplicación de políticas que favorezcan una tecnología frente a otras tendrá un gran impacto en

los aspectos económicos de CCS. Actualmente CCS no puede competir con los beneficios que las energías renovables reciben en el marco de algunos convenios internacionales.

Cabe destacar que, como se indicó anteriormente, entre las opciones más económicas y competitivas para mejorar la eficiencia energética se encuentran reducir las emisiones de CO₂ de la generación de energía, producción de petróleo, refinación, automóviles y aplicaciones industriales.

Rentabilidad: Las aplicaciones más prospectivas de CCS, por ejemplo, la implantación de tecnologías para su utilización en grandes centrales eléctricas a carbón, representa costos para el propietario de la planta, costos de capital y costos de operación y mantenimiento. Sin embargo, algunas circunstancias representan oportunidades rentables que pueden reducir los gastos netos y, en algunos casos muy especiales, cubrir el costo total de la implantación de CCS. Por ejemplo, si la central eléctrica está ubicada en la proximidad de campos petroleros, el CO₂ podría ser vendido al operador de dichos campos para utilizarse en proyectos de recuperación mejorada de crudos. Algunos estiman el valor del CO₂ en esta aplicación alcanza los US \$55/+ CO₂ (IEA), mientras otros lo consideran mucho más elevado, en el rango de US \$40-200/+ CO₂ (Z. Khatib).

Existen otros usos industriales del CO₂ y se están desarrollando aplicaciones futuras. Las

Tabla 1: Comparación de los costos de disminución de CO ₂ para una variedad de tecnologías de generación de combustibles renovables, fósiles y nucleares en 2010		
Tecnología	Costo de la reducción con respecto al carbón (US\$/tC), de menor a mayor	Costo de la reducción con respecto al gas natural (US\$/tC), de menor a mayor
Energía eólica terrestre	De -63 a 125	De -61 a 291
Energía eólica marítima	De 11 a 287	De 265 a 592
Recortes de energía	De 108 a 200	De 240 a 447
Nuclear	De 44 a 80	De 89 a 164
Marina	De 277 a 597	De 572 a 1168
Readaptación de CCS en IGCC	De 24 a 45	De 101 a 188
CCS en IGCC nuevas	De 54 a 101	De 151 a 282
Readaptación de CCS en carbón	De 66 a 122	De 195 a 362
CCS en carbón nuevo	De 92 a 221	De 243 a 566

Fuente: World Coal Institute, ECOAL, julio de 2005, p. 6; otras fuentes: Euracoal, Coal industry across Europe 2005, p. 7.

oportunidades a futuro incluyen la administración de aplicaciones de CCS para terceros, tales como producción de hidrógeno, aplicaciones “fuel cell/battery”, comercialización de emisiones y almacenamiento de CO₂.

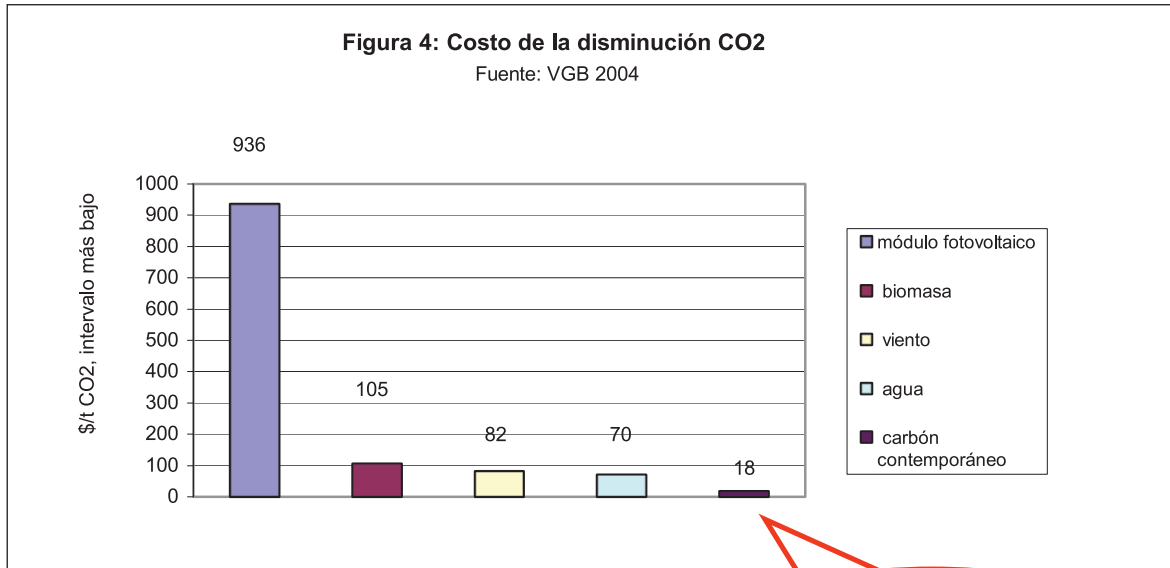
En el proceso de implantación de tecnologías para la reducción de sulfuros y emisiones de nitrógeno, los investigadores encuentran maneras de hacer productos útiles capturando esos contaminantes en las plantas de carbón, en lugar de colocar estos residuos entre los desperdicios, en basureros. Es muy probable que los científicos de todo el mundo desarrollen usos para el carbono que hoy no imaginamos, incluso su almacenamiento como sólido.

Externalidades: Al igual que la mayoría de las tecnologías más avanzadas, CCS ofrece a la sociedad beneficios que no son fácilmente cuantificables. Quizás el más significativo es la contribución a la economía global por mantener la viabilidad del carbón como opción para la generación de energía y aplicaciones industriales. La viabilidad del carbón representa no sólo el suministro de un combustible de bajo precio, sino también un número correspondiente de trabajos bien remunerados. Para países con recursos de carbón y aquellos importadores con suplidores confiables, la utilización de carbón ofrece un valor agregado en cuanto a seguridad. Bajo algunas circunstancias, CCS reduce los contaminantes atmosféricos como el NO_x, el SO₂ y el mercurio.

Otras mejoras se obtienen de la calidad del aire, la reducción de los efectos negativos en la salud y el mejoramiento de la fertilidad de los suelos. Al preservar así la opción del carbón, la implantación de CCS contribuye directamente al logro de los tres objetivos primarios del WEC: accesibilidad, disponibilidad y aceptabilidad.

Inversiones: Las inversiones necesarias para la primera generación de nuevas plantas de generación de alta eficiencia (coal-fired) de 250 MW con CCS (basado en ciclos de vapor súper críticos o IGCC) se calculan entre US \$500 millones y \$1000 millones cada una. Al menos diez plantas de demostración serán necesarias en 2015 para poder desarrollar la tecnología, disminuir los costos y así lograr una buena tasa de penetración en el mercado para 2030 (IEA 2004). El equipamiento de 250 GW de nuevas plantas IGCC, con CCS, en la región OECD durante los próximos treinta años, incrementará las inversiones entre 20%-25% o US \$350-\$440 mil millones. Para 500 GW de plantas con turbinas de gas de ciclo combinado (CCGT), el costo incremental sería de US \$200-\$250 mil millones. Esto incrementaría las inversiones en la generación de energía en los países OECD en un 20%-25% (IEA WEIO 2003, página 417).

Para obtener la financiación de los inversionistas del sector privado o del gobierno en esta fase de demostración, no debe haber políticas discriminatorias hacia los combustibles fósiles, así



CCS agrega de 20% a 25%
FUENTE: WEIO de IEA, op. cit, p. 419

como tampoco deben existir políticas inciertas en cuanto al retorno de las inversiones, horizontes de planificación y ulteriores responsabilidades. Se requieren mercado e incentivos para la implantación de CCS. Actualmente, estos requisitos previos no existen y hay una gran incertidumbre en los aspectos comerciales, técnicos, legales y políticos relacionados con la futura implantación de dicha tecnología. Independientemente de que haya cierta cantidad de plantas de demostración para 2015, el verdadero despegue en el mercado dependerá del valor comercial de CCS, y eventualmente, de los incentivos, en caso de que el valor de mercado sea muy bajo.

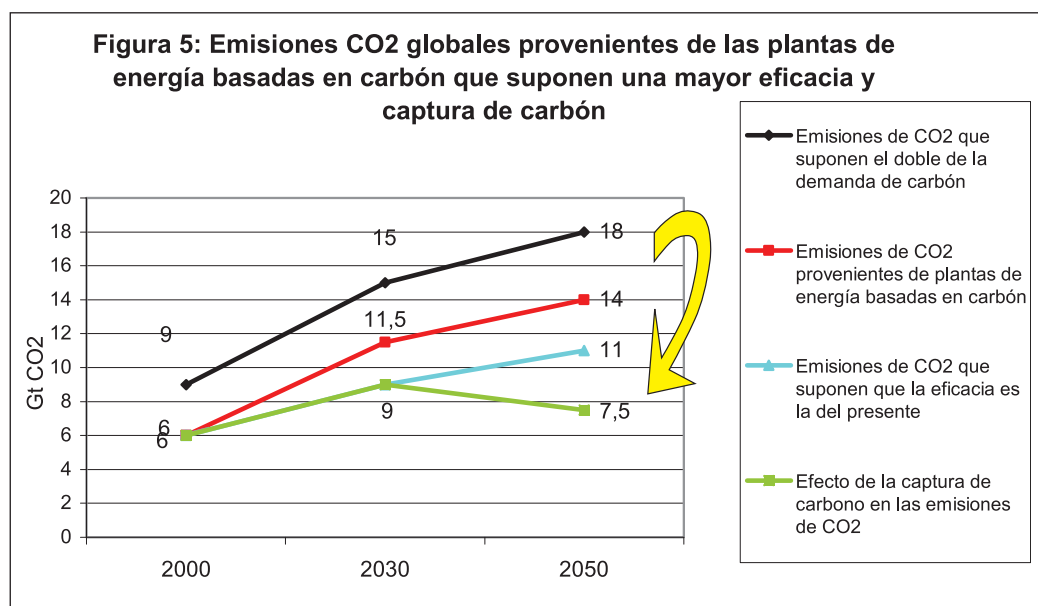
Lecturas sugeridas: Workshop en Erice: Jacek Podkanski; Elena Nekhaev; Michel Lokolo; Workshop en Neptuno: Michael Moore; Zara Khatib; otras fuentes: IEA, Prospects for CO₂ capture and storage, París 2004, p. 20; IEA, World Energy Outlook 2006, p. 75; Euracoal: Coal industry across Europe 2005, p. 6, 7; Barry Worthington: Funding for clean coal technologies (www.usea.org); para costos de almacenamiento, ver también Wolfgang Heidug, op. cit.; para costos y beneficios para la salud: European Commission Staff working document on Sustainable power generation from fossil fuels: aiming for near-zero emissions from coal after 2020, SEC(2006) 1722, p. 39-42; IPCC, Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage, 2005, p. 358; IEA World Energy Investment Outlook 2003, fig. 8.1

4. IMPLEMENTACIÓN

Los conductores: La implantación de CCS depende de la demostración de la tecnología a gran escala; de su competitividad con otras

opciones de mitigación; de las políticas; del marco legal y regulatorio (ver Capítulos 7 y 8); del apoyo a nivel ejecutivo y gerencial; y del tiempo adecuado para demostrar sistemas integrados. Por ser en principio aplicable a la mayoría de los sectores consumidores de combustibles fósiles y emisores, CCS pareciera tener mas posibilidades en la generación de energía con carbón o con gas natural, con alta concentración de CO₂, en países desarrollados y en instalaciones nuevas. Los modelos matemáticos sugieren que los sistemas CCS comenzarán a utilizarse con más fuerza cuando el precio del CO₂ alcance un rango de US\$25 a 30/tCO₂ (IPPC), en caso de que los costos de CCS alcancen, por lo menos, ese nivel. Las políticas basadas en opciones ajenas al mercado también pueden acelerar la implantación de CCS, tal como se indicó en el Capítulo 2.

El potencial: El potencial para la implantación de CCS podría ser significativo. Para los sistemas energéticos, la implementación de CCS puede ser menos significativa, limitada por el ciclo de sistema de sustitución y la posible competencia entre las diversas opciones de mitigación. La Agencia Internacional de Energía (2004) sugiere que para 2050, y suponiendo que haya una penalidad al carbón o un precio de \$50/tCO₂, CCS podría reducir las emisiones globales de CO₂ a la mitad en



comparación con un escenario sin tal penalidad. Si nos centramos sólo en las emisiones provenientes del carbón, en lugar de en las emisiones totales, el porcentaje de reducción podría ser mucho mayor. A menos que la implantación se acelere, tomará décadas lograr una amplia utilización de CCS. La buena noticia es que la mayoría de las instalaciones en operación en 2000 serán retiradas o estarán sujetas a modificaciones mayores para 2050. En el corto plazo, existe el riesgo de que de las 1,391 GW programadas para 2020, casi el 86% se construya con tecnologías convencionales (Hawkins). Se prevé que estas unidades serán operativas en 2050.

Generación de energía en base a carbón: La Figura 5 ilustra el efecto combinado del CCS y las mejoras en emisiones de CO₂ de plantas de generación de energía basadas en carbón, a nivel mundial. Esto genera cerca de un 80% del 18 GtCO₂ de todas las emisiones de CO₂ en 2050. En este escenario, las ganancias netas de eficiencia (22%) y la implantación de CCS (30%) reducirían las emisiones de CO₂ provenientes de la generación de energía basada en carbón de 14.4 GtCO₂ a 7.5 GtCO₂ en 2050. Sin embargo, las emisiones se mantienen muy por encima de los niveles actuales.

Existe un potencial adicional para reducir las emisiones de CO₂ basado en posteriores avances en eficiencia de combustión; más rápida incorporación de los desarrollos CCS;

incorporación temprana a nivel internacional; agresiva modernización de plantas; mejora de la eficiencia de conversión de CCS; pronta incorporación al mercado, y co-combustión de biomasa y carbón. En contraste, la disminución de CO₂ sería menor si la reducción relativa de los costos de la combustión de carbón y CCS cayera por debajo de las expectativas, lo cual podría darse por demoras en la I&D. Ciertamente, sería necesario hacer más al respecto. Ya que se depende del consenso internacional sobre lo que es "sustentable", la cantidad de emisiones de CO₂ reducidas en este escenario (7.5 GtCO₂), o partes de ella, podría considerarse inaceptable desde el punto de vista de la política de la mitigación del cambio climático.

La Figura 5 asume una duplicación de la demanda mundial de carbón en 2050. Esta cifra equivale a un índice de crecimiento anual del 1.4%, en comparación con el índice histórico del 2%. Se calcula que entre 2000 y 2050, el uso de carbón en la generación de energía y las emisiones relacionadas aumentará a una velocidad del 1.8% anual. Se considera que la eficiencia de la combustión mundial promedio para las plantas de carbón aumentará del 32% actual a un 43% en 2050. Se asume una disminución de las pérdidas de conversión de CSS en 4 puntos porcentuales, lo que limita el crecimiento de la eficacia en un 39% en 2050 (IEA 2004). Se calcula que la

penetración de CCS en el mercado para 2050 será de un 30% (IEA 2004).

Generación de energía en base a gas natural: El gas natural tiene una ventaja competitiva por sobre el carbón en relación con las emisiones de CO₂. Sin embargo, la confianza en el gas natural importado aumenta la preocupación sobre la seguridad de suministro, y sólo reduce parcialmente las preocupaciones sobre el cambio climático, las cuales incluyen las siguientes:

- ▶ Las emisiones de CO₂ durante la combustión son más bajas (pero hay emisiones potenciales de metano durante la producción, aguas arriba).
- ▶ Las eficiencias de combustión son más altas, incluso tomando en cuenta las pérdidas de eficiencia durante la captura.
- ▶ CCS se está utilizando en la producción de gas natural: el CO₂ se separa de las corrientes de producción de gas natural y se reinyecta en formaciones subterráneas para su almacenamiento permanente. Actualmente, una importante operación de almacenamiento de CO₂ se está realizando en Sleipner, un campo noruego de gas natural.

El traspaso de carbón a gas natural, indistintamente del tamaño, continuará contribuyendo a la mitigación global de las emisiones provenientes de la energía. Las experiencias locales en el Reino Unido, donde la liberalización de los mercados eléctricos ha llevado a una considerable expansión del uso de gas natural en la generación eléctrica, muestra una significativa reducción de las emisiones de CO₂. Sin

embargo, en los Estados Unidos, la política climática debe estar asociada al acceso a las reservas domésticas, las cuales están actualmente fuera de producción.

Esta tendencia, aún cuando se vea atenuada por el aumento del precio del gas y por una creciente competitividad en el precio del carbón, será un factor importante para un sistema global de energía más limpio, especialmente antes de que CCS esté ampliamente disponible para su implantación. La IEA prevé que el consumo de gas natural se incrementará en un 68% durante el período 2004-2030 (carbón: 60%) (2006). Esto se traduce en un crecimiento más rápido de la generación de energía a partir de gas (3.2%/año), en comparación con las plantas a carbón (2.9%/año). Sin embargo, el carbón permanecerá primero en términos de capacidad (33%), en comparación con el gas (31%) y el petróleo (5%). Este escenario no prevé que el CCS tenga un rol importante antes de 2030 (IEA). En contraste, una penalidad de US\$50/t CO₂ o el precio del carbón podría estimular la penetración de CCS y, por ende, la combustión de carbón. En este caso, para 2050, un 69% de la capacidad de todas las plantas de generación equipadas con CCS sería en unidades a carbón, mientras que un 23% sería en unidades a gas y un 8%, en biomasa (IEA 2004).

Generación de energía en base a petróleo: En 2004, el petróleo generó el 7% de la electricidad a nivel mundial y se espera que genere el 3% en 2030 (IEA 2006). En términos absolutos, la declinación es menos impactante; es decir, de 1161 millones de toneladas equivalentes en 2004 a 940 millones de toneladas equivalentes en 2030. Sin embargo, hay muchos países donde el uso de

petróleo todavía es importante. Por ejemplo, en México el petróleo todavía cuenta para la generación del 40% de la energía, en comparación con el 90% de un tiempo atrás. En términos generales, en la mayoría de los países, las plantas de generación basadas en petróleo son las más viejas y menos eficientes. Su mayor competidor es el gas natural. Algunas unidades a gas natural tienen capacidad para otro combustible. Por otra parte, algunos generadores pequeños usan gasolina, diésel o querosén. Estos materiales no ofrecen opciones para CCS y la única estrategia para la mitigación es no utilizarlos.

Aspectos gerenciales: La experiencia de las empresas líderes en control de emisiones sugiere que el CCS debe ser una parte integral de la estrategia para el control de las emisiones a mediano y largo plazo. Algunas compañías ven a CCS como una etapa en la vía hacia una economía del hidrógeno. Tal enfoque requiere una fuerte participación de la alta gerencia y la integración de CCS en los planes corporativos del negocio.

La cooperación con todos los usuarios, a través de asociaciones y convenciones nacionales e internacionales, es otra faceta de la gestión para educar al público y aclarar asuntos que son barreras potenciales para la difusión e implantación de CCS. Las relaciones con autoridades y personas claves en la definición de políticas son importantes para transmitir el mensaje de que las políticas de CCS deben tener en cuenta la naturaleza específica de las instalaciones de CCS para cada proyecto, además de ser predecibles, transparentes y

concientes de los costos; promover la investigación y desarrollo; y reducir las incertidumbres, tales como la regulación de clausura de instalaciones (penalidades).

La gerencia debe considerar también las oportunidades de negocios asociadas con sus planes de acción para CCS (EOR, comercialización de emisiones, celdas y servicios de almacenamiento). Los resultados obtenidos en materia de reducción de emisiones y reinyección en los respectivos depósitos deben registrarse en los sistemas estándares de emisiones para que sea posible compararlos y dotarlos de credibilidad. Toda estrategia para reducir gases de invernadero está sujeta a procesos de auditoría a cargo de terceros.

Lecturas recomendadas: Taller en Erice: Elena Nekhaev; David D. Hawkins; Arthur Lee; Jacek Podkanski; Taller en Neptuno: Dumitru Manea; otras fuentes: IEA: Prospects for CO₂ capture and storage, París 2004; IEA: World Energy Outlook 2006, p. 258, 492, 493; IPPC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage, p. 11; K. Brendow: Minería y uso sustentable de carbón: perspectivas para el 2030, conferencia dictada en la "International Conference on Policy and strategy of sustainable energy development for central and eastern European countries until 2030", Varsovia, 22/23 de noviembre de 2005; sobre CCS de carbón, consulte: European Commission Staff working document on Sustainable power generation from fossil fuels: aiming for near-zero emissions from coal after 2020, SEC(2006) 1722

5. PAÍSES EN DESARROLLO Y ECONOMÍAS EN TRANSICIÓN

En la actualidad, de los 6.2 miles de millones que componen la población mundial, 1.6 miles de millones no tienen acceso a la electricidad. La falta de disponibilidad de energía comercial

genera una menor expectativa de vida, una reducción en la inserción escolar, menos oportunidades educativas, salud más deficiente (especialmente en los niños) y agua para consumo más contaminada. “La falta de energía en los países y las regiones en desarrollo constituye una emergencia mundial” (Wilson).

El dilema: Hacer cumplir una disciplina firme en cuanto al carbono y desarrollar sistemas de energía alternativa implica una amplia concientización pública del riesgo de cambio climático y del apoyo a las políticas de reducción de emisiones. Por otro parte, requiere de la capacidad, a nivel industrial y gubernamental, de abordar las dificultades, elaborar soluciones y subsanar un costo considerable. Estos son problemas demasiado complejos para los países en desarrollo (ver cuadro) y las economías en transición. Aunque los países en desarrollo no se comprometieron a cumplir objetivos de reducción de las emisiones de CO₂, sí lo hicieron las economías en transición; no obstante, sus emisiones se mantendrán por debajo del límite superior acordado durante cierto período, según su índice de crecimiento económico.

Para el mundo en general, el problema comprende el hecho de que la mayoría de los aumentos en las emisiones de CO₂ tendrán su origen en los países en desarrollo. Su porcentaje de emisiones de CO₂ a nivel mundial aumentará de 39% en 2004 a 52% en 2030. A partir de 2012, sus emisiones superarán las emisiones del mundo industrializado.

Esta tendencia está impulsada por el gran desarrollo económico y demográfico, el aumento en el consumo de energía por cápita y la elevada

intensidad del carbono en la mezcla de combustible. Esto enfatiza el hecho de que una política mundial de restricción de carbono, sin la participación de los países en desarrollo, no logrará el objetivo de reducir el cambio climático. No obstante, los países en desarrollo podrían hacer uso de CCS luego de que estas tecnologías hayan evolucionado y sean viables. Habrá un intervalo hasta la adopción de CCS por parte de los países en desarrollo, pero para alrededor de 2050 casi la mitad de la actividad de captura podría darse en estos países, particularmente en China y la India (IEA 2004).

Recuperación mejorada de petróleo y gas: La utilización de CCS para reducir el cambio climático será más simple para los países productores de petróleo y gas. Dichos países pueden disminuir parte de las crecientes emisiones de CO₂ mediante la captura del CO₂ y su aplicación en algunos campos de gas y petróleo. Esto aumenta tanto la productividad como la rentabilidad, ya que el valor CO₂-EOR puede ascender a US\$40 para 200 t/CO₂. Además, las inyecciones de CO₂ pueden liberar gas a partir de maniobras de recuperación mejorada de gas (EGR) para uso residencial, gas natural licuado (LNG) o la producción y traspaso de gas a líquido. Sin embargo, en la actualidad, EOR contribuye solamente al 4% o el equivalente de 160 millones de toneladas de petróleo de la producción mundial; de esa cifra, el 7%, o el equivalente a 11 millones de toneladas, se obtiene por medio de la inyección de CO₂ (pero esa cifra es mayor en los Estados Unidos) (Z. Khatib).

Medio Oriente podría ser testigo de un desarrollo favorable, ya que es posible reducir significativamente la combustión de gas. Además,

Cuadro: Financiamiento de la implementación de CCS en los países en desarrollo

Desde la perspectiva mundial de reducir el cambio climático, el financiamiento de la implementación de CCS en los países en desarrollo es una prioridad debido a las contribuciones crecientes de estos países a las emisiones mundiales de CO₂. ¿De qué manera se puede financiar la implementación de CCS en los países en desarrollo?

¿Cuál es el costo? Durante el período 2015-2030, la capacidad de generación de energía con combustibles fósiles en los países en desarrollo puede aumentar a 592 GW, según la IEA (WEO 2006). Estas plantas podrían producir un adicional de 1.4 Gt de CO₂, que corresponde a un 56% del aumento de las emisiones mundiales de CO₂ relacionadas con la energía (2.48 Gt).

Si asumimos que la implementación de CCS en la generación de energía con combustibles fósiles en los países en desarrollo costará, a partir de 2015, de 20 a 30 US\$/tCO₂, el costo total adicional de implementar CCS para disminuir a 1.4 Gt CO₂, mencionado anteriormente, sería de US\$28 a \$42 miles de millones durante 15 años. En consecuencia, las emisiones mundiales de CO₂ aumentarían mucho menos: de 31.6 Gt en 2015 a solamente 32.7 Gt en 2030, en lugar de 34.1 Gt. No existe otra opción tecnológica que pueda detener el crecimiento de las emisiones mundiales a más de la mitad además de permitir el desarrollo y la seguridad energética.

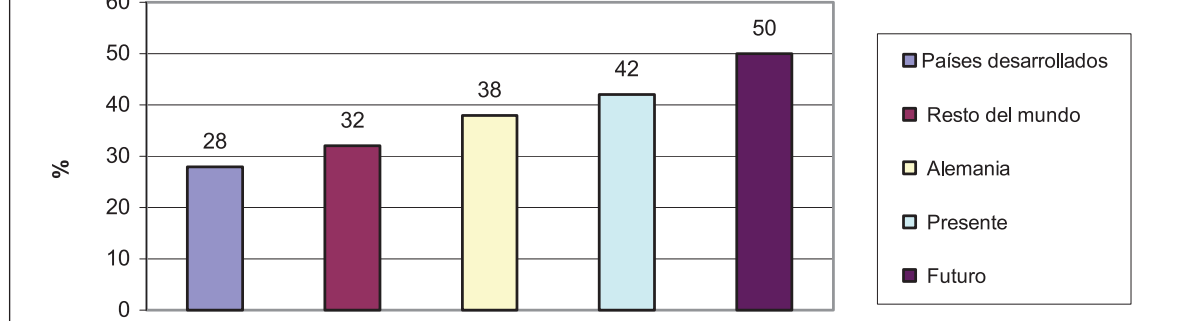
¿De qué manera? ¿La comunidad mundial puede enfrentar económicamente la inversión promedio de US\$2 a \$3 miles de millones por año en la transferencia tecnológica? La opinión del público en general es afirmativa, sobre todo si los esquemas de comercialización de carbono fueran impulsados y compatibles, y pudieran crear un indicador importante en el precio mundial del carbono¹, y si el sistema ampliado de comercialización de las emisiones en la Unión Europea y en el proceso posterior al protocolo de Kyoto, los proyectos de CCS reunieran los requisitos para los proyectos de JI y CMD, aunque no suceda en la actualidad. En este caso, se podrían reducir las necesidades de financiamiento público antes mencionadas.

Por su parte, los países en desarrollo “deben desarrollar políticas legales de derechos de autor, propiedad intelectual y resolución de conflicto, y proporcionar incentivos nuevos para la inversión privada” (WEC Statement 2007: *The Energy Industry Unveils Its Blueprint for Tackling Climate Change*, Londres, 2007).

¹El Informe Stern, *The impact of climate change, Executive summary*, Londres 2007, calcula el costo de “no implementar acciones” con respecto al cambio climático durante las próximas dos décadas en una reducción promedio del consumo individual mundial de por lo menos 5 a 20%, especialmente en los países en desarrollo. Esto se compara con el costo de la reducción de la emisión coherente con la estabilización a 550 ppm de un promedio del 1% de GDP (p. xiii). (http://www.hm-treasury.gov.uk/media/8AC/F7/Executive_Summary.pdf)

Figura 6: Eficacia de las plantas de energía que operan con carbón duro, 2000 (solamente las plantas de energía eléctrica)

Fuente: Steinkohle 2004



a pesar de que no está relacionado con CSS, dicha maniobra reduce las emisiones de metano que provocan el efecto invernadero. Por otra parte, se espera que la generación de electricidad basada en combustibles fósiles durante 2004-2030 aumente en un 150%, mientras que las emisiones mundiales de CO₂ aumentarían sólo en un 108%. Esta diferencia refleja la expectativa de que las inyecciones de CO₂ tengan una función cada vez mayor. En Dubai, Abu Dhabi, Qatar y Libia se están llevando a cabo varios estudios de viabilidad, y se espera que las primeras plantas de demostración estén listas en 2015. Un esquema regional de CO₂ que abarca Qatar, los Emiratos Árabes Unidos, Arabia Saudita y Bahrein se ha presentado ante las juntas de diseño para comenzar a funcionar cerca de 2020. CO₂-EOR o EGR no están impulsadas principalmente por las inquietudes sobre el cambio climático, sino por restricciones de recursos. Este aspecto no debería relegar su función en la atenuación del crecimiento de las emisiones de CO₂. Además, EOR/EGR pueden ayudar a fomentar una capacidad de CCS en lo que respecta a las habilidades y la infraestructura para resolver, en última instancia, el problema de captura de grandes cantidades de CO₂ en las plantas de combustibles fósiles y su posterior almacenamiento a largo plazo. La evolución de EOR/EGR a CCS con almacenamiento a largo plazo requiere que los países en desarrollo y las economías en transición diseñen un enfoque que se base, en primer lugar, en elevar la eficiencia de la generación de energía y, en segundo lugar, en

preparar la implementación de CCS. Es importante que los productores de hidrocarburos y los servicios eléctricos públicos tengan la iniciativa en la implementación de CCS.

La eficiencia primero: Aumentar la eficiencia del proceso de combustión y de las plantas de generación de energía térmica ofrece un potencial significativo a la hora de ahorrar combustible y costos, y disminuir las emisiones. Esto es una realidad en todo el mundo, pero está relacionado particularmente con la generación de energía basada en carbón en los países en desarrollo, donde el carbón equivale al 36%, el petróleo al 15% y el gas natural al 21% de las capacidades de generación instaladas (2004).

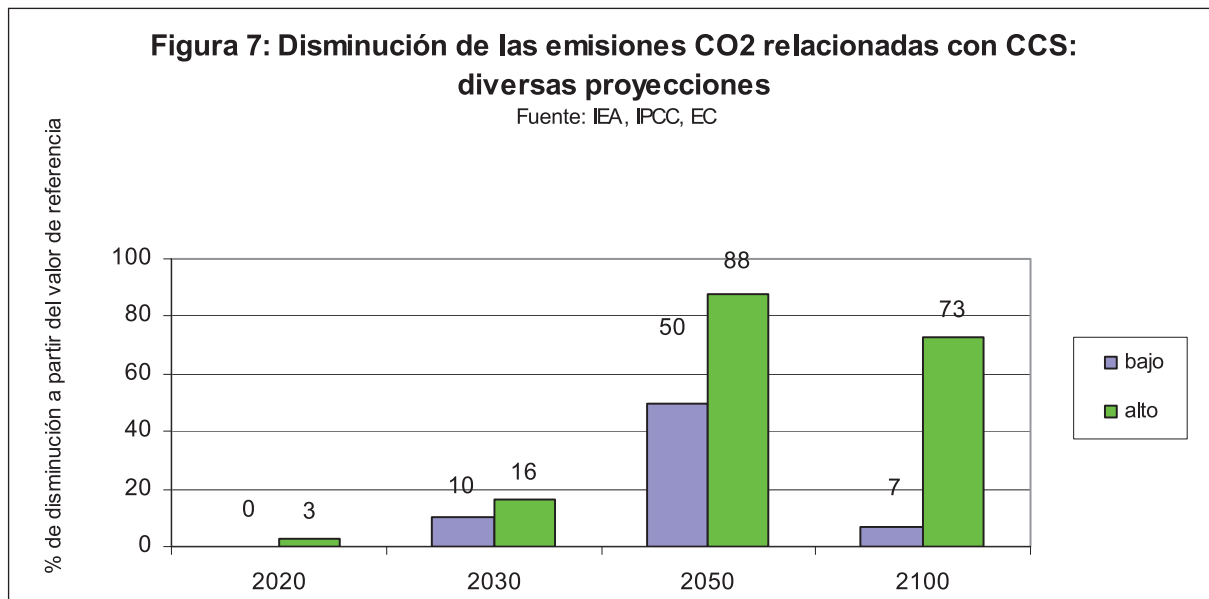
En la actualidad, la eficiencia promedio en la generación de energía basada en carbón en los países en desarrollo tal vez esté en su mejor etapa, con un 28% (se citan índices menores), mientras que la eficiencia de generación de vanguardia abarca del 42% al 45% (Figura 6). Elevar la eficiencia de los países desarrollados para lograr innovación de vanguardia durante las próximas dos o tres décadas implicaría una reducción de las emisiones específicas de CO₂ desde las estaciones de energía basadas en carbón en aproximadamente un 40% a un 45% (si se tienen en cuenta las pérdidas de conversión de CCS). Esto sería una contribución importante para retrasar el cambio climático y, en realidad, la única opción de reducción más rentable en lo que respecta al suministro.

Próximos pasos en CCS: Al mismo tiempo, y gracias a sólido apoyo de los países desarrollados y la comunidad de CCS internacional,² los países en desarrollo y las economías en transición podrán y deberán prepararse para la opción de CCS mediante la adopción de las siguientes medidas:

- ▶ Desarrollar una plataforma tecnológica y de conocimiento como base para la transferencia tecnológica;
- ▶ Participar en redes y asociaciones internacionales de CCS;
- ▶ Fomentar un fondo nuevo internacional de tecnología en pos de la ecología;
- ▶ Crear alianzas regionales y fondos de inversión e investigación energética;
- ▶ Buscar ayuda financiera para:
 - energía y RD&D de CCS
 - el estudio del concepto de CCS “aplicada” a los países en desarrollo
 - reducir el costo de la electricidad ecológica para los más necesitados para que los “recursos menos ecológicos”, como el estiércol de animales, sea menos atractivo
- ▶ Diseñar sistemas de energía y plantas nuevas para facilitar la readaptación posterior con CCS (“listo para la captura”);
- ▶ Identificar cartográficamente las capacidades de almacenamiento subterráneas;
- ▶ Participar en la concesión de licencias y en la fabricación de componentes de bajo costo para equipos de CCS;
- ▶ Evaluar la posibilidad de formar asociaciones conjuntas de CCS;
- ▶ Fomentar la provisión de fondos para CDM (mecanismos de desarrollo ecológicos), IBRD y GEF (Fondo para el Medio Ambiente Mundial), a fin de lograr inversiones de CCS y de comercialización de emisiones;
- ▶ Proteger la propiedad intelectual y la confidencialidad de las operaciones comerciales, sobre todo por medio de acuerdos de no divulgación;
- ▶ Empezar estudios de predisposición del público con respecto a CCS y resolver inquietudes relacionadas con diferentes tecnologías de retención, uso alternativo de almacenamiento subterráneo (almacenamiento de gas natural, etc.), riesgo de fugas de CO₂ en el almacenamiento subterráneo, y disponibilidad de leyes y directivas para garantizar la salud y la seguridad;
- ▶ Enfatizar el potencial de CCS como una opción importante, además de otras, para el desarrollo económico y la reducción de la pobreza en términos energéticos. El mensaje: se necesita “un mundo con menos carbono” o, lo que es mejor, “un mundo con menos emisiones de carbono” y no “un mundo con menos combustibles fósiles”.

Lecturas recomendadas: Taller en Erice: Barbara McKee; Hisham Al-Khatib; F. Zancan; Hilal Raza; Richard Wilson; Elena Nekhaev; Taller en Tallin: Anita Kvesko; K. Brendow; otras fuentes: WEC: Sustainable global energy development – the case of coal, Londres 2004, p. 8; IEA, World Energy Outlook 2006, p. 81; Zara Khatib: Opportunities for CCS in the MENA region; role of WEC in accelerating its development and implementation; conferencia ofrecida en la reunión de CFFS realizada en Londres, el 12 de diciembre de 2006; Georg Rosenbauer, in WEC: The World Energy Book, issue 3; IEA, World Energy Outlook 2006, p. 513

² Es necesario recordar (ver Prefacio) que el Comité de WEC y CFFS ofreció talleres en Colombo (Sri Lanka) y Jordania, y analiza la posibilidad de realizar un evento en África.



6. PERSPECTIVAS

Síntesis: Las proyecciones de las políticas actuales (y de los escenarios alternativos) sugieren que CCS tendrá una función importante y relevante para el clima después de 2020. Su penetración en el mercado depende de la exhibición tecnológica adecuada, del precio del carbono (o de los incentivos) que supere el costo de los sistemas de CCS y del costo de otras opciones de reducción. Actualmente, se calcula que el parámetro está en aproximadamente US\$25 a 30/tCO₂ (€/t19–23). Esto implica que los costos actuales de CCS deben reducirse a la mitad. Cuanto más grande sea la diferencia entre el costo de CCS y el precio del carbono, más importante será la función de CCS. Se calcula que el efecto máximo en 2050 será de aproximadamente un 50% de las emisiones mundiales de CO₂ relacionadas con la generación de energía (IEA 2004). Este es el objetivo mínimo de la Unión Europea. Los logros podrían ser mayores para CCS basado en carbono (92% en la Unión Europea) (Figura 7). Una reducción del 50% podría estabilizar las emisiones mundiales de CO₂ relacionadas con la generación de energía y, posteriormente, las concentraciones, al tiempo que haría posible el aumento de 2 °C en la temperatura mundial. Independientemente de la importancia que tiene dicha reducción en las emisiones de CO₂, las medidas para aplacar el cambio climático también deberían abarcar los demás gases que provocan el efecto invernadero,

en especial el metano, a la vez que deberían existir portafolios con varias medidas de reducción, entre las que CCS sea un componente importante, aunque no el único.

Panel Intergubernamental Sobre Cambio Climático

Climático: Los cálculos modelo estiman que el potencial económico de reducción acumulada de CCS entre 2000 y 2100 oscilará entre 220 y 2200 GtCO₂, en comparación con las emisiones acumuladas de 3000 Gt. El intervalo de reducción (de 7% a 73%) refleja el rigor diferencial de las políticas de reducción asumidas, donde el 50% representa el objetivo a largo plazo para 2050. El cálculo más elevado implica la estabilización de las concentraciones de CO₂ en aproximadamente 450 ppm. IPCC sugiere que los sistemas de CCS comiencen a implementarse de manera significativa cuando el precio del CO₂ alcance aproximadamente los US\$25 para 30/tCO₂. En la mayoría de los escenarios, la función de CCS gana espacio con el paso del tiempo.

Figura 7: Explicaciones y fuentes: 2020: se refiere a la región OECD = mundial, Informe Especial de IPCC sobre la captura y el almacenamiento de dióxido de carbono, 2005, p. 358; 2030 y 2050, bajo: reducción de las emisiones mundiales relacionadas con la energía comparada con el valor de referencia sin CCS (IEA WEO 2006, p. 258 y IEA 2004, p. 101); 2030 y 2050, alto: reducción de las emisiones de las plantas de energía basadas

en carbón de la Unión Europea comparada con 2005 (EC Sustainable power generation from fossil fuels, SEC (2006) 1722, p. 71); 2100: reducción promedio de 2000-2100 de las emisiones mundiales relacionadas con la energía comparada con un valor inicial sin CCS (IPPC 2005, op. cit., p. 350, 354)

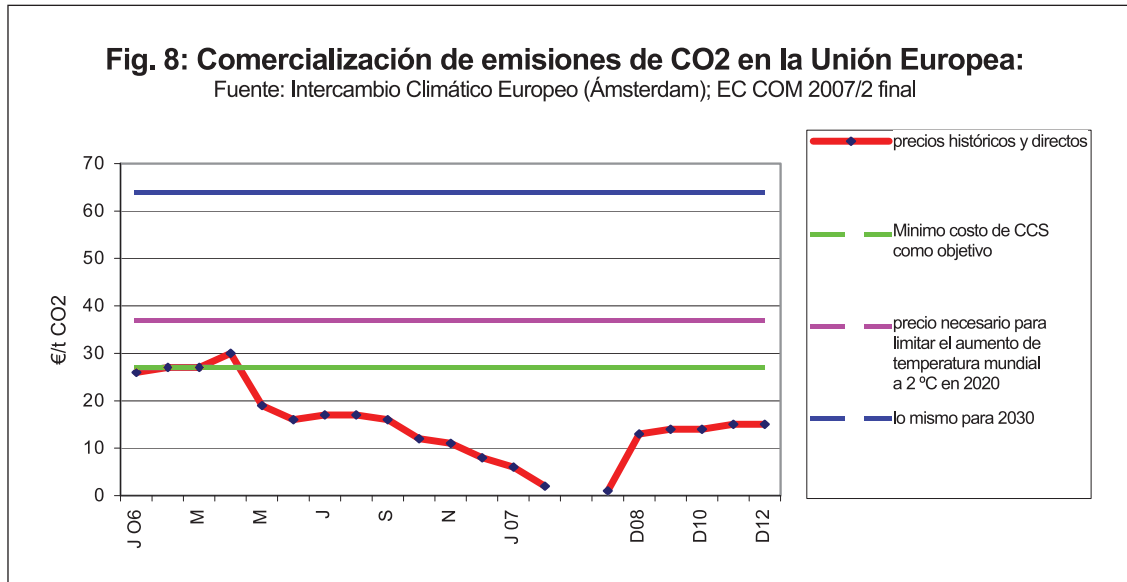
CCS sería una opción de reducción de bajo costo que representa entre el 15% y el 85% de una estrategia de reducción de costos al mínimo; se espera que CCS reduzca los costos de estabilización de las concentraciones de CO₂ en un 30% o más (ver también la Figura 3 y la Tabla 1).

Agencia Internacional de Energía: IEA no pronostica contribuciones destacadas de CCS en sus escenarios referenciales y alternativos para 2030. No obstante, en su trabajo más riguroso "*Beyond the Alternative Policy Scenario*" (BAPS), la IEA explora las condiciones para que CCS reduzca las emisiones mundiales de CO₂ relacionadas con la generación de energía en 2030 (26.1 Gt) al nivel de 2004. En este caso, la IEA atribuye a CCS (sin incluir las ganancias de eficiencia) un potencial de ahorro en la generación de energía de 2 GtCO₂ o el 11% de las emisiones mundiales de las plantas energéticas y térmicas (IEA 2006). Sin embargo, esto excluye las ganancias de 1 Gt debido a las mejoras en la eficiencia de las plantas de energía. Para la industria, BAPS proyecta una reducción de 1 Gt debido a CCS y a las ganancias en cuanto a eficiencia. Debido a que CCS se introducirá solamente en instalaciones altamente eficientes, los efectos combinados de las ganancias en cuanto a eficiencia y CCS en la generación de energía y la industria se pueden calcular en

aproximadamente 4 Gt para 2030, o un 10% de las emisiones mundiales relacionadas con la generación de energía, en comparación con los escenarios alternativos y referenciales (IEA 2006).

La reducción en 2030 podría ser de 4.6 Gt o el 18% del escenario BAPS, en caso de una penalidad por emisión de CO₂ o el equivalente al precio del mercado de \$50/tCO₂. Si se tiene en cuenta esta última hipótesis, en comparación con un escenario sin dicha penalidad, CCS podría reducir las emisiones a una cifra aproximada de 27 a 33 GtCO₂, o el 50%, para 2050, que es prácticamente el nivel de 2000 y, en consecuencia, se estabilizarían las emisiones y las concentraciones (en 550 ppm). Esto se considera la cifra máxima de CCS posible para las emisiones mundiales relacionadas con la generación de energía (IEA 2004). La reducción porcentual sería mayor para CCS basada en carbón (EC) (Figura 7).

Comisión Europea: Si las políticas sustentadas por CCS se presentaran ante la Unión Europea (UE), CCS podría usarse de manera sistemática en nuevas plantas de carbón así como en readaptaciones de plantas para 2020. Para 2030, el 25% de la capacidad de generación de energía con carbón podría basarse en CCS, lo que llevaría a una reducción de las emisiones de CO₂ de las plantas de carbón del 16%, en comparación con 2005. Para 2050, el 100% de la capacidad de generar energía con carbón se sustentaría en CCS, mientras que las emisiones de CO₂ serían menores en un 88%. El objetivo de la Unión Europea es limitar el aumento de la temperatura mundial a un máximo de 2 °C, lo que implica una reducción de los gases del efecto invernadero a



nivel mundial de entre un 60% y un 80% en los países desarrollados para 2050, en comparación con 1990 (EC).

Lecturas recomendadas: IPCC, Informe Especial, ya citado, p. 354 (www.ipcc.ch); World Coal Institute, Newsletter ECOAL, octubre de 2005; IEA, World Energy Outlook 2006, p. 258 y Annex, p. 493; IEA: Prospects for carbon capture and storage, París 2004, p. 101, 108, 120; otros recursos: EURACOAL: Third Coal Dialogue, Bruselas, 18 de octubre de 2006, trabajos escritos presentados por Ioannis Galanis (EC DG for Energy and Transport) sobre: Communication on sustainable coal: impact assessment and communication outline, p. 12 y 71; sobre la comercialización de las emisiones de la UE: <http://ec.europa.eu/environment/climat/emission.htm>

7. POLÍTICAS

La implementación de CCS puede sustentarse en gran medida mediante políticas de igualdad de oportunidades no discriminatorias.

Políticas climáticas: La implementación de CCS dependerá, en última instancia, del consenso relacionado con la urgencia de las políticas de protección del clima. A pesar de que existe cierto acuerdo sobre los principios de acción correctiva (mayor eficiencia de la energía, fomento de las fuentes de energía sin carbono, reemplazo de los combustibles), los puntos de vista difieren en los plazos de ejecución, los procesos institucionales y los medios (incentivos, penalidades).

Estas incertidumbres sobre el alcance, la urgencia, el tiempo y el apoyo institucional de las políticas de

control climático se reflejan en la reciente disminución del precio por tonelada de CO₂ en los intercambios comerciales de emisiones en la Unión Europea (Figura 8). Dichas dudas deben disiparse para motivar a los inversores.

En esta primera etapa de desarrollo de CCS, las políticas deberían enfocarse en el progreso técnico, en lugar de intervenir en los mercados y en la elección de los clientes.

Las políticas climáticas actuales están equilibradas de manera inadecuada en dos aspectos. Primero, está el enfoque definido en CO₂. En realidad, durante 1980-1990, el dióxido de carbono contribuyó solamente en un 55% al aumento del forzamiento de radiación. En segunda instancia, está el enfoque en la generación de energía. Sin embargo, sólo el 29% de las emisiones mundiales de CO₂ y el 41% de las emisiones mundiales de CO₂ relacionadas con la energía provienen de la generación de energía (20% del transporte, 18% de la industria, 13% de los servicios y el sector residencial y 8% de otros sectores). Este desequilibrio necesita solucionarse mediante la consideración de todos los gases que provocan el efecto invernadero y todos los sectores que usan energía, a fin de evitar distorsiones entre combustibles y sectores.

Además, el enfoque en las emisiones en la etapa de generación de energía tiene en cuenta solamente una parte de las emisiones totales, y pasa por alto las emisiones previas y posteriores a

esa etapa. Es necesario contar con un análisis del ciclo de vida completo de las emisiones para determinar el impacto mundial de los proyectos individuales de energía. Si se usa el análisis del ciclo de vida y también se tienen en cuenta otros gases del efecto invernadero (GHG), la generación de energía a partir del carbón, el gas o el petróleo mostrará niveles similares a las emisiones de GHG. El aumento proyectado para las emisiones anuales de GHG de carbono entre 2001 y 2025 de 1.1 miles de millones de toneladas de carbono equivalente es menor que el proyectado para el gas natural (1.3 miles de millones de toneladas) y el petróleo (1.5 miles de millones de toneladas).

- ▶ La opción de CCS debe estar integrada en las políticas de energía, los esquemas de comercialización de emisiones, los equilibrios de energía, los escenarios y los modelos para evitar la discriminación contra el uso ecológico de los combustibles fósiles. CCS debería formar parte de la cartera de tecnologías y estrategias. Se sabe que la cuantificación de su penetración en el mercado y el potencial de reducción de emisiones son difíciles de determinar en esta etapa, al igual que con la cuantificación de la contribución de otras opciones de reducción.
- ▶ La colaboración institucionalizada entre todas las partes interesadas, el gobierno, la industria y el público en general lleva a la comprensión y la confianza mutuas, además de promover soluciones.
- ▶ Las economías en desarrollo y en transición deben aprovechar al máximo el gran potencial de la combustión mejorada y el aumento en la eficiencia de las plantas como primera opción.

A nivel internacional, deben formar parte de redes establecidas para el desarrollo de CCS y el fomento de la elegibilidad de los proyectos de CCS como mecanismos de desarrollo ecológico (CDM), así como para el financiamiento de GEF. A nivel nacional, deberían preparar las capacidades técnicas y humanas para ocuparse de CCS y tener en cuenta medidas provisionarias, como los diseños de las plantas, que permitan la readaptación posterior a CCS (ver Capítulo 5).

Es necesario conseguir la confianza y el apoyo del público, y mantenerlos. Se deben resolver inquietudes de carácter público relacionadas con ciertas cuestiones, como fugas de almacenamiento de CO₂. Es conveniente reconocer los beneficios de CCS en lo que respecta la disminución del cambio climático y a la posibilidad de que los combustibles fósiles faciliten un desarrollo económico superior y una reducción de la pobreza energética. Una encuesta realizada en la Unión Europea sobre la aceptación pública de CCS demostró que menos de un 10% de la población europea lo conocía; de esa cifra, solamente el 13% tenía una actitud positiva inmediata sobre CCS; lo que aumentó a un 55% luego de una explicación del concepto (Euracoal, op. cit.).

Políticas energéticas: En una perspectiva 100% energética equilibrada, los combustibles fósiles deben reconocerse como el motor principal del desarrollo económico para las próximas décadas. Por otra parte, es necesario reconocer también el potencial de los sistemas de combustibles fósiles más ecológicos. Ninguna fuente de energía debería ser idolatrada ni demonizada. Todas serán necesarias en el futuro. CCS debería ser tenida en

cuenta al mismo nivel que otras opciones de reducción (como se indica anteriormente, en CDM, comercialización de emisiones, financiamiento de GEF).

Políticas de CCS: El intervalo propio de la implementación de tecnologías nuevas como componentes de sistemas energéticos requiere de una definición anticipada de la función de CCS. Los planes que involucran a CCS deben cubrir todo el sistema, desde las emisiones hasta los sumideros y la comercialización. Las políticas de CCS deben mantener un equilibrio entre el interés público y privado en lo que respecta a la seguridad, la salud, el uso considerado de los recursos naturales y la rentabilidad de las operaciones de CCS.

- ▶ Las políticas de CCS deben ofrecer seguridad para invertir en proyectos de CCS. Deberían ser confiables, transparentes y económicas para permitir que se desplieguen las fuerzas del mercado. La flexibilidad dentro de un marco determinado es fundamental, ya que los proyectos de CCS son específicos de cada lugar.
- ▶ La política tecnológica de CCS debe ser ilimitada, evitar la selección anticipada de “ganadores” y tener una orientación a largo plazo, que incluya un enfoque en el desarrollo de la economía del hidrógeno.
- ▶ Las políticas y reglamentaciones deben tener en cuenta todo el ciclo de vida de las inversiones de CCS, lo que incluye:
 - La evaluación y aprobación de los proyectos de CCS;
 - Los derechos de acceso y propiedad (propiedad de CO₂)
 - El funcionamiento de las instalaciones de CCS;
 - Cuestiones de transporte, incluso a través de las fronteras;
 - El control y verificación del almacenamiento;
 - El retiro del sistema;
 - El reparto de responsabilidades posteriores al retiro del sistema.
- ▶ Las prácticas más adecuadas deberían divulgarse a nivel internacional.
- ▶ Será necesario analizar la aplicación de convenciones marítimas con respecto al almacenamiento de CO₂ y otros aspectos legales.
- ▶ El gasto en RD&D de la energía pública, que se redujo a la mitad en el bloque OECD durante los últimos años, debería volver a analizarse según los cambios que se están produciendo. Dada la importancia de los combustibles fósiles para el desarrollo y el medio ambiente, es necesario acelerar y coordinar a nivel internacional la RD&D en sistemas de combustibles fósiles más ecológicos y, en especial, en CCS.
- ▶ Se reconoce el papel que cumple el Foro sobre Liderazgo para la Retención de Carbono (CSLF), IEA y WEC.
- ▶ Los estudios piloto deben explorar el diseño “listo para la captura” de las plantas convencionales.
- ▶ Si en la fase de implementación inicial el valor del carbono y, además, el valor comercial de los proyectos o componentes de CCS no es

suficiente, se debe pensar en la posibilidad de buscar incentivos (como incentivos para precursores, asignaciones de amortización más rápida, etc.).

- ▶ La comparación justa de la tecnología de CCS en los inventarios de emisiones de gases del efecto invernadero requiere de estadísticas estandarizadas.

Lecturas recomendadas: Taller en Erice: Steve Tantala; Arthur Lee; Jacek Podkanski; David Hawkins; Elena Nekhaev; Klaus Lackner; Taller en Neptuno: Peter Mak; otras fuentes: IEA Legal aspects of storing CO₂; París 2005; IPCC: Climate change – the IPCC scientific assessment, 1990, figura 7; IEA World Energy Outlook 2004, tabla 2.3; IEA, World Energy Outlook 2006; Euro-coal, op. cit.; EC Limiting global climate change to 2°, COM (2007) 2 final; Nicholas Stern, The Stern review on the economics of climate change (www.hm-treasury.gov.uk)

8. LEYES Y REGLAMENTACIONES

La implementación oportuna de las tecnologías internacionales de CCS está condicionada previamente por los marcos afirmativos reglamentarios y legales a nivel nacional, una actualización de las convenciones y los tratados internacionales, los acuerdos contractuales confiables (privados) y un campo de competencia leal para CCS.

Las soluciones, aunque sean parciales y contradictorias, están en proceso de surgimiento en los países desarrollados productores de hidrocarburos. Intentan lograr un equilibrio entre los objetivos privados y públicos, los mecanismos del mercado y las intervenciones políticas, la prevención y el manejo de los riesgos, la soberanía nacional y la convergencia internacional. En la actualidad, el énfasis está en permitir la captación

de los proyectos de CCS, particularmente de aquellos que disfrutaron de una ventaja de recuperación mejorada de hidrocarburos.

Análisis actuales:

- ▶ Reconocer el rol de CCS y considerar la adaptación de los marcos legales nacionales e internacionales y las convenciones (eliminación de los obstáculos tecnológicos y de costos, acciones preventivas);
- ▶ Abordar inquietudes que tengan plazos más prolongados (almacenamiento, propiedad pos-operativa de los centros y responsabilidad por las fugas de CO₂ y otras fugas relacionadas);
- ▶ Resolver la protección de la propiedad intelectual;
- ▶ Considerar las equivalencias de tratamiento entre los proyectos de CCS y otras opciones de reducción con respecto a la comercialización de las emisiones, los mecanismos de desarrollo ecológicos, la implementación conjunta y el financiamiento de GEF;
- ▶ Fomentar condiciones para la implementación (posterior) de CCS en los países en desarrollo; y
- ▶ Construir una aceptación social de CCS.

En 2008, todas las cuestiones deberían haberse aclarado en gran medida, ya que la Cumbre del G8 de Gleneagles, realizada en 2005, exigió a IEA y CSLF presentar recomendaciones para la Cumbre del G8 de Japón, en 2008. En un sentido amplio, este período y el enfoque de los esfuerzos parecen

coincidir con el calendario más prolongado del lanzamiento de las plantas de energía de CCS con almacenamiento a largo plazo. En cualquier caso, es necesario que exista una correlación entre el progreso técnico en CSS y el avance reglamentario.

Adaptación de los marcos reglamentarios y legales nacionales: Algunos países que tienen más posibilidades de usar CCS en el corto plazo tienen regímenes reglamentarios y legales correctamente establecidos para las industrias de minerales e hidrocarburos, así como para la protección del medio ambiente y la eliminación de residuos. Es posible que estos países no tengan que modificar sustancialmente esos regímenes para implementar los proyectos de CCS. Los demás países sin dichos regímenes reglamentarios y legales pueden beneficiarse de la experiencia adquirida en otros lugares.

Cualquiera de estos regímenes tiene dos objetivos: la protección del público con respecto a la salud, la seguridad, el aspecto financiero y los riesgos ambientales asociados con CCS, que además permite el desarrollo de CCS como parte de una cartera para la reducción del cambio climático. Estas cuestiones incluyen los siguientes aspectos:

- ▶ El CO₂ como materia prima industrial (usada para una mayor recuperación) o como sustancia para almacenamiento permanente. Esto determina el tipo y la jurisdicción de las reglamentaciones que rigen las inyecciones de CO₂;

- ▶ Los criterios para la selección y el uso de una planta, especialmente en lo que respecta a la evaluación del riesgo de fugas y el manejo de los riesgos relacionados. La recopilación, el control y la verificación de los datos debe tener la suficiente precisión como para cumplir con los estándares internacionales de inventario;
- ▶ La concesión de licencias de actividades y lugares;
- ▶ La propiedad y el acceso a los lugares de almacenamiento e inyección de CCS; la mediación en conflictos de derechos entre las industrias de minerales e hidrocarburos y de CCS;
- ▶ Las responsabilidades financieras y legales durante el transcurso del proyecto y después del retiro del sistema; la responsabilidad y los derechos de propiedad posteriores al cierre en cuanto a CO₂ y los lugares de almacenamiento; y
- ▶ La reglamentación del transporte y el almacenamiento de CO₂ a través de las fronteras internacionales, dentro de los límites nacionales o en aguas abiertas.

En la actualidad, están surgiendo marcos nacionales coherentes, por ejemplo, en Australia, Canadá, Los Países Bajos, Noruega, El Reino Unido y los Estados Unidos, para abordar de inmediato las cuestiones relevantes. La próxima prioridad, desde el punto de vista de la aceptación pública, parece ser el control de las corrientes de CO₂ y la definición de las responsabilidades después del cierre de una planta de almacenamiento. Los modelos aplicados a otros

materiales inyectados en formaciones geológicas pueden servir como ejemplo. A largo plazo, los gobiernos tal vez deban asumir la responsabilidad del almacenamiento prolongado.

Revisión de tratados y convenciones internacionales:

Los proyectos de CCS se rigen por las leyes internacionales cuando atraviesan fronteras o tienen jurisdicción en aguas internacionales. El derecho internacional exige a los proyectos de CCS que eviten que el daño ambiental traspase las fronteras y que protejan el ecosistema marino. Estas obligaciones se especificaron en varios instrumentos internacionales regionales y mundiales legalmente vinculantes, que fueron establecidos antes de que CCS se convirtiera en una opción de reducción del cambio climático y ambiental.

- ▶ La Convención de las Naciones Unidas sobre los Derechos del Mar de 1982, no reglamenta específicamente ni prohíbe las actividades de CCS, pero apela a los estados para que protejan el ecosistema marino de las actividades humanas, como los depósitos de desechos;
- ▶ La Convención sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias (Londres, 1972), prohíbe la eliminación de "residuos" en el mar;
- ▶ El Protocolo de Londres de 1996 sobre dicha Convención permite que desde el 10 de febrero de 2007 se inyecten corrientes de CO₂ a partir de procesos de captura de CO₂, y de sustancias incidentales asociadas en formaciones geológicas que se encuentran debajo del lecho marino;
- ▶ La Convención de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos de 1989, que puede aplicarse si el CO₂ contiene sustancias tóxicas;
- ▶ La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 1994, según la cual, CCS podría considerarse como una opción para disminuir el cambio climático;
- ▶ El Protocolo de Kyoto de 2005, que excluye a CCS del mecanismo de desarrollo ecológico; y
- ▶ Los tratados y convenciones regionales para la protección del ecosistema marino del Atlántico Noreste (Convención de OSPAR) de 1992; Mar Báltico, de 1992; Mar Negro, de 1994; la región del Caribe más amplia, de 1983; la región del Mar Mediterráneo, de 1976; del Golfo, de 1978; región africana central y occidental, de 1981; Pacífico Sur, de 1981, 1986; la Convención de Bamako sobre la prohibición de la importación a África y la fiscalización de los movimientos transfronterizos dentro de África de desechos peligrosos, de 1991.

En la actualidad, las convenciones principales antes mencionadas están en proceso de reconsideración para diferenciar las inyecciones de CO₂ del desecho de residuos. El 2 de noviembre de 2006, las partes involucradas en el Protocolo de Londres definieron las condiciones según las que se debe almacenar el CO₂ en las formaciones geológicas que se encuentran debajo del lecho marino (ver sección anterior). Las partes reconocieron que la acidificación de los océanos, causada por un aumento de las emisiones de CO₂,

Tabla 2: Protección de los derechos de propiedad intelectual
(Índice: 0 = desempeño más deficiente, 10 = desempeño más eficiente)

Mundial	5.3
América del Norte	6.4
América Latina	4.0
África	4.2
Medio Oriente/África del Norte	5.0
Europa Occidental	7.4
CEE y Rusia	4.2
Australia, Nueva Zelanda, Japón	9.7
India, China, Filipinas	6.0
Pakistán, Kenia, Etiopía	3.7
Fuente: IPRI, International Property Rights Index, 2007 (http://internationalpropertyrightsindex.org)	

exige una cartera de opciones de reducción de emisiones, que incluyen la colocación de CO₂ en las formaciones que se encuentran debajo del lecho marino. Estas enmiendas pueden llevar a la reconsideración de otros tratados.

Divulgación o protección de la propiedad intelectual (IP): Algunos inversores de CCS (como Statoil para Sleipner y Snovit) están dispuestos a divulgar sus conocimientos para que sean de dominio público. Aunque sea de público conocimiento, no se espera que los inversores de CCS adquieran un compromiso propio a menos que sus derechos de propiedad intelectual (en particular las patentes y la información comercial confidencial) estén protegidos. La protección de la propiedad intelectual tiene como objetivo:

- ▶ Proteger la propiedad y el acceso a tierras, plantas, equipos, plantas de almacenamiento y CO₂ almacenado con tecnología de captura que sea especialmente delicada; y
- ▶ Permitir la transferencia de conocimientos y tecnologías a los países receptores, y la capacidad edilicia relacionada.

El camino ideal para abordar estas cuestiones es por medio de contratos privados y vinculantes en lugar de leyes y reglamentaciones, las cuales no se adaptan a circunstancias específicas. No obstante, la ley de propiedad intelectual necesita respaldar dichas disposiciones contractuales. La protección de la propiedad intelectual de las

plantas y los procesos de CCS puede beneficiarse a partir de protocolos correctamente establecidos en las industrias de productos químicos, petrolíferas y de ingeniería. Por otra parte, los proveedores de servicios deberán desarrollar medios específicos para la protección de la propiedad intelectual, probablemente por medio de información comercial confidencial en lugar de patentes. En ambos casos, la ley debe permitir la protección de la propiedad intelectual.

La función de los gobiernos consiste principalmente en garantizar un régimen nacional sólido de protección de la propiedad intelectual como una condición previa para las inversiones privadas. Este aspecto es particularmente válido para las economías en desarrollo y transición, en las que, en la actualidad, la ausencia de marcos normativos reglamentarios estrictos, en lo que respecta al cumplimiento y las sanciones, inhibe la implementación de CCS (ver Tabla 2). Los esfuerzos constantes en armonización internacional de patentes y otros regímenes de protección de propiedad intelectual (WTO, WIPO) serían beneficiosos para la implementación de CCS, pero el progreso podría ser más acelerado en lo que respecta a las leyes menos rígidas, en contraposición con las leyes más rígidas, a nivel regional (Convención sobre la Concesión de Patentes Europeas). La participación pública en el financiamiento o en los proyectos de CCS puede reducir los riesgos para los inversores, pero también podría complicar el derecho de propiedad

y el cumplimiento. La previsibilidad de las condiciones de concesión de licencias o de los estándares podría tener un gran valor. No obstante, a nivel general, “no se espera que la cuestión de la propiedad intelectual comprometa o inhiba la implementación de la industria de CCS” (IEA/CSLF).

Garantía de un campo de competencia leal para CCS: Ya que CCS es una de las opciones más recientes entre las que se ofrecen para la reducción del cambio climático, no se beneficia de los incentivos ofrecidos a otras tecnologías de bajo uso de carbono, como la comercialización de las emisiones (Unión Europea), los mecanismos de desarrollo ecológico e implementación conjunta (Protocolo de Kyoto) o el financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF).

Se ha reconocido la competencia tendenciosa resultante en perjuicio de los proyectos de CCS y se han iniciado esfuerzos en las convenciones antes mencionadas, en GEF y el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), acerca de si es necesario aplicar los instrumentos indicados anteriormente a CCS y cómo hacerlo. La dificultad reside en que los proyectos de CCS, a diferencia de otras opciones de reducción, no eliminan todo el CO₂. Es necesario desarrollar esquemas de registro para medir la reducción neta de las emisiones de un proyecto de CCS en comparación con las emisiones que se podrían producir en ausencia de dicho proyecto (valor de referencia). Será necesario tener en cuenta las emisiones que resulten de un uso más elevado de la energía durante la captura de carbono. Las pautas internacionales deben garantizar la equivalencia de

tratamiento entre CCS y otras opciones de reducción para disminuir la incertidumbre de los inversores con respecto a los proyectos de CCS.

Como alternativa, los gobiernos podrían nivelar la implementación de CCS en el campo de competencia por otros medios, como incentivos impositivos, patrocinios, financiamiento de RD&D, garantías de soberanía, o asumir la responsabilidad a largo plazo en caso de fugas luego del retiro del sistema. De todos modos, el financiamiento para la implementación de CCS es una cuestión complicada y que todavía no tiene solución a pesar de que se anticipen reducciones de costos en un futuro gracias a la tecnología de CCS. El financiamiento es especialmente difícil si los créditos para la comercialización de las emisiones están por debajo del costo más alto de las tecnologías avanzadas, y las políticas de reducción y los incentivos a largo plazo son inciertos.

Lecturas recomendadas: IEA/CSLF Second Workshop on Legal Aspects of Carbon Capture and Storage, París, 17 de octubre de 2006; Harry Audus, An Update on CCS: Recent Developments; conferencia ofrecida en el segundo taller de IEA/CSLF, op. cit.; Barry Worthington, Funding for Clean Coal Technologies (www.usea.org)

CONCLUSIÓN

Los talleres de CFFS en Erice, Colombo, Neptuno, Tallin, Moscú y Jordania permiten apreciar en forma provisoria el potencial de CCS.

Estado actual: En la actualidad, más de 33 millones de toneladas de CO₂ son capturadas anualmente en todo el mundo. Se almacenan en al

menos 70 proyectos en los que solamente Sleipner está a cargo de más de 6 millones de toneladas. Existen 3000 km de tuberías terrestres dedicadas a CO₂. En contraposición a la recuperación mejorada de petróleo y gas, CCS todavía no es una realidad comercial en la generación de electricidad debido a sus costos y a los esfuerzos constantes por alcanzar la evolución tecnológica. En 2015 o antes, se realizarán determinados proyectos de demostración, cuyo impacto todavía es limitado en las emisiones de CO₂.

Potencial: Alrededor del año 2020, CCS puede transformarse en una opción competitiva e importante, a fin de disminuir simultáneamente el aumento de las emisiones de CO₂ y promover el desarrollo económico, la seguridad energética y la calidad del aire en muchos países para las próximas décadas. La implementación comercial depende del valor comercial del carbono, en caso de que supere el costo de los sistemas de CCS, y en última instancia, de los incentivos, si no se cumple con esa condición inicial.

Si se asume que CCS alcanzará su máximo potencial en los próximos 30 a 40 años, CCS podría reducir las emisiones mundiales de CO₂ relacionadas con la energía a la mitad en 2050, en comparación con los negocios tradicionales. Si las plantas de energía basadas en carbón se utilizaran conjuntamente con combustión mejorada y eficiencias en planta más elevadas, CCS tendría un efecto de reducción aun mayor. Durante el período de 2000 a 2100, CCS podría reducir en forma económica las emisiones mundiales de CO₂ cuyo cálculo es de 220 a 2200 GtCO₂, lo que equivale a entre un 15% y un 55% del esfuerzo de reducción con costo al mínimo. Además, CCS,

junto con otras opciones de reducción, podría hacer las veces de puente para una economía energética sustentable futura y una mejora de la calidad del aire.

Questionamientos: Un rol importante para CCS depende de la reducción de su costo a la mitad, aproximadamente US\$25 para 30/tCO₂. Sin embargo, incluso en este caso y aunque sea una opción económica, CCS no es la solución universal. Inicialmente, está limitada a plantas industriales y de energía de reciente inauguración, altamente eficientes y de gran capacidad en los países desarrollados. Los proyectos de CCS son específicos de un lugar, están impulsados por las oportunidades y las condiciones locales, por lo que es poco probable que puedan reproducirse con precisión. CCS debería considerarse como una parte importante de una cartera de medidas, que incluya la producción y el uso de la eficiencia de energía mejorada, y tecnologías nucleares nuevas y renovables.

La implementación de CCS podría retrasar el aumento de las emisiones de CO₂ y, en última instancia, reducirlas. Sin embargo, la estabilización de las emisiones y las concentraciones en niveles aceptables requerirá de avances en la eficacia de la combustión, la implementación más rápida de la tecnología de CCS, la implementación internacional anticipada, la renovación sustancial de las plantas, la eficacia mejorada en la conversión a CCS, la penetración más rápida en el mercado, y la combustión conjunta de biomasa y carbón. Estas medidas dependen de políticas, cuya rigidez todavía debería determinarse. Con respecto al transporte, la diferencia (probable) entre la ubicación del emisor y el sumidero puede ser un

factor condicionante en el caso de los volúmenes pequeños y las distancias muy extensas.

Las proyecciones de CCS también están determinadas por la necesidad de almacenar de manera segura miles de millones de toneladas de CO₂ durante siglos. La incapacidad de prevenir, controlar o solucionar fugas (y ofrecer las garantías al público en general sobre esta cuestión) reduciría drásticamente las posibilidades de CCS. No obstante, tenga en cuenta que IPCC considera que los depósitos debidamente seleccionados y administrados tienen “muchas posibilidades” (una probabilidad de 90% a 99%) de retener el 99% del CO₂ almacenado durante cien años y “posibilidades” (una probabilidad de 66% a 90%) de retener el 99% durante mil años.

Acción: La implementación exitosa de CCS depende de los siguientes factores:

- ▶ El reconocimiento de CCS como una opción de reducción del cambio climático en las políticas nacionales, y en los acuerdos y las convenciones internacionales;
- ▶ La formulación de políticas energéticas y de CCS que sean afirmativas, confiables, no discriminatorias y rentables;
- ▶ La integración de la opción de CCS en estas políticas, como parte de una cartera de medidas de reducción;
- ▶ La adopción de marcos nacionales pensados en los inversores, y de leyes y reglamentaciones sobre la concesión de licencias de CCS, el retiro del sistema, la seguridad y las responsabilidades;
- ▶ La interacción entre el gobierno, la industria y los institutos de investigación sobre la vigencia y la secuencia de la implementación de CCS;
- ▶ La elegibilidad de los proyectos de CCS en mecanismos de desarrollo ecológicos, la implementación conjunta, los sistemas de comercialización de emisiones y el financiamiento de IBRD y Global Environment Facility;
- ▶ Los mecanismos financieros para establecer el valor del carbono a nivel mundial y los incentivos, si los precios iniciales del carbono son demasiado bajos;
- ▶ La adaptación de los tratados y las convenciones internacionales sobre el ecosistema marino y el transporte transfronterizo;
- ▶ La aceleración de la colaboración nacional e internacional en el RD&D de CCS, en especial en la reducción de costos, la vigencia del almacenamiento y la expansión de la capacidad para estar “listo para la captura”;
- ▶ La construcción de varias plantas de demostración a gran escala rentables;
- ▶ La participación de todas las partes interesadas;
- ▶ Debido a que su función como emisores es cada vez más importante: la integración de los países en desarrollo en redes de CCS (fomento de la capacidad), la comercialización de las emisiones y el financiamiento de los proyectos; y
- ▶ Un esfuerzo anticipado de prevención y extensión de la participación. El mensaje:

“La captura y el almacenamiento de carbono es un puente fundamental para el futuro sustentable y seguro de la energía”.

Anexos

A. Trabajos de investigación presentados en los seminarios de CFFS

1. Sesión de análisis del Comité CFFS del WEC durante el XIX Congreso Mundial de Energía sobre los siguientes temas:

Cleaner Fossil Fuels – The Cornerstone for Human Development and Energy Security, Sídney (Australia), 8 septiembre de 2004

Sitio en Internet:

http://www.worldenergy.org/news_events/world_energy_congress/sydney_2004/default.asp

▶ Introducción

Barbara N. McKee, directora de la Oficina de Colaboración de Energía Ecológica del Departamento de Energía de los Estados Unidos; presidente del Comité *Cleaner Fossil Fuels Systems* (CFFS) del WEC
Correo electrónico:

Barbara.Mckee@hq.doe.gov

▶ Seguridad energética y sistemas de combustibles fósiles más ecológicos

Ahmad Waqar, secretario del Ministerio de Petróleo y Recursos Naturales de Pakistán
Correo electrónico: hdip@apollo.net.pk

▶ Inversiones en sistemas de combustibles fósiles más ecológicos

Fernando Zancan, director ejecutivo de SIECESC, Brasil
Correo electrónico:

zancan@siecesc.com.br

▶ Transiciones en la tecnología energética

Robert Gentile, presidente de Leonardo Technologies, Inc., Estados Unidos
Correo electrónico: RHGentile@aol.com

▶ Desarrollo humano y sistemas de combustibles fósiles más ecológicos

Joanne DiSano, director de la Secretaría de CSD y de la División para el Desarrollo Sustentable del Departamento de Economía y Asuntos Sociales de las Naciones Unidas, en Nueva York

2. Federación Mundial de Científicos y Comité *Cleaner Fossil Fuels Systems* (CFFS) del WEC
Taller conjunto sobre: **Carbon Capture and Storage – A Way Forward for Cleaner Fossil Fuels**, Erice (Sicilia), 24 de agosto de 2005

Sitios en Internet:

<http://www.usea.org/CFFS/CFFSErice.htm>;

<http://energypmp.org>;

<http://www.worldenergy.org/focus/ccs/default.asp>;
también disponible en CD-ROM

▶ Comentarios de inauguración y bienvenida

Richard Wilson, Departamento de Física de la Universidad de Harvard, presidente de la Federación Mundial de Científicos PMP, en los Estados Unidos
Correo electrónico:

wilson5@fas.harvard.edu

▶ Presentación e información general

Barbara N. McKee, directora de la Oficina de Colaboración de Energía Ecológica del Departamento de Energía de los Estados Unidos; presidente del Comité *Cleaner Fossil Fuels Systems* (CFFS) del WEC
Correo electrónico:

Barbara.mckee@hq.doe.gov

▶ La necesidad

Hisham Al-Khatib, vicepresidente honorario de WEC, Jordania
Correo electrónico: Khatib@nets.com.jo

- ▶ *Las tecnologías*

James Ekmann, director adjunto del Laboratorio Nacional de Tecnología Energética (NETL), Departamento de Energía de los Estados Unidos
Correo electrónico: James.Ekmann@netl.doe.gov
 - ▶ *El aspecto económico*

Jacek Podkanski, especialista principal en tecnología energética de la División de Colaboración de Tecnología Energética, Agencia Internacional de Energía (IEA), Francia
Correo electrónico: jacek.podkanski@iea.org
 - ▶ *Cuestiones ambientales*

David Hawkins, director del Centro del Clima del Consejo de Defensa de los Recursos Naturales (NRDC), Estados Unidos
Correo electrónico: dhawkins@nrdc.org
 - ▶ *Oportunidades y necesidades de financiamiento*

Elena Nekhaev, directora de programas del Consejo Mundial de Energía (WEC), Reino Unido
Correo electrónico: Nekhaev@worldenergy.org
 - ▶ *Perspectivas de la industria*

Arthur Lee, asesor principal de Estrategia y Política Mundial, Seguridad Ambiental y Salud Corporativa, Chevron Corporation, Estados Unidos
Correo electrónico: RLAS@chevron.com
 - ▶ *Implementación*

Fernando Zancan, director ejecutivo de SIECESC, Brasil
Correo electrónico: zancan@siecesc.com.br
 - ▶ *Cuestiones legales y reglamentarias*

Steve Tantala, gerente de Recursos Ambientales y Política de Almacenamiento y Captura de Carbono, Departamento de Industria, Turismo y Recursos, Australia
Correo electrónico: Steve.Tantala@industry.gov.au
 - ▶ *Métodos innovadores y nuevos para la captura y el almacenamiento de CO₂*

Klaus Lackner, profesor de Geofísica e Ingeniería Ambiental, Universidad de Columbia, Estados Unidos
Correo electrónico: KI2010@columbia.edu
Suzanne Hurter, Shell International Exploration and Production B.V., Países Bajos
Olav Kårstad, Administración de Dióxido de Carbono, Statoil, Noruega
Correo electrónico: okaa@statoil.com
David Sevier, director general de Aqueous Logic, Reino Unido
Correo electrónico: David.s@aqueouslogic.co.uk
 - ▶ *Análisis y diálogo*

Robert Gentile, socio gerente de Atlantic Partners, Estados Unidos
Correo electrónico: RHGentile@aol.com
- 3. Debate del Comité *Cleaner Fossil Fuels Systems* (CFFS) del WEC sobre: ***Cleaner Fossil Fuels Systems with Carbon Capture and Storage: What's in It for the Developing World?*** Colombo (Sri Lanka), 6 de septiembre de 2005**
- ▶ *Presentación y sesión de información general*

Barbara N. McKee, directora de la Oficina de Colaboración de Energía Ecológica del Departamento de Energía de los Estados Unidos; presidente del Comité *Cleaner Fossil Fuels Systems* (CFFS) del WEC
Correo electrónico: Barbara.mckee@hq.doe.gov
 - ▶ *La necesidad y las tecnologías*

Hisham Al-Khatib, vicepresidente honorario de WEC, Jordania
Correo electrónico: Khatib@nets.com.jo
 - ▶ *El aspecto económico*

Michel Lokolo, director adjunto de Derivados de Petróleo del Ministerio de

- Minería, Agua y Energía, Camerún
Correo electrónico: mclokolo@yahoo.com
- ▶ *Situación energética y el papel de los combustibles fósiles en el sur de Asia*
Hilal Raza, director general y director ejecutivo del Instituto de Desarrollo de Hidrocarburos de Pakistán, en Islamabad, Pakistán
Correo electrónico: hilalraza2007@gmail.com
- 4. Taller conjunto del Comité *Cleaner Fossil Fuels Systems* (CFFS) del WEC y Craiova Power Energy Complex sobre: ***Cleaner Fossil Fuels for Sustainable Development*****
Neptuno (Rumania), 13 de junio de 2006
Sitio en Internet:
<http://www.usea.org/CFFS/CFFSNeptun.htm>
- ▶ *Comentarios de inauguración, bienvenida e información general*
Constantin Balasoiu, gerente general de Craiova Power Energy Complex, Rumania
Correo electrónico: cen@termo.oltenia.ro
 - ▶ *Sesión 1: Sistemas actuales de combustibles fósiles más ecológicos*
 - ▶ *Sistemas de control de la contaminación*
Dumitru Manea, gerente de atención al cliente de Alstom Global Power Sales, Rumania
Correo electrónico: dumitru.manea@power.alstom.com
 - ▶ *Mejoramiento de las eficiencias*
Ionel Ilie, Craiova Power Energy Complex, Rumania
Correo electrónico: ilie@termo.oltenia.ro
 - ▶ *Combustión conjunta de carbón y biomasa*
Henrik Noppenau, vicepresidente de Desarrollo de Sistemas de Productos de Energi E2, Dinamarca
Correo electrónico: hno@e2.dk
 - ▶ *Estrategia de RWE sobre la energía basada en carbón ecológica en la red europea*
Henning Joswig, RWE Power, Alemania
- ▶ *Sesión 2: Sistemas futuros de combustibles fósiles más ecológicos*
 - ▶ *Coordinador*
Barbara N. McKee, directora de la Oficina de Colaboración de Energía Ecológica del Departamento de Energía de los Estados Unidos; presidente del Comité CFFS del WEC
Correo electrónico: Barbara.mckee@hq.doe.gov
 - ▶ *Sistemas nuevos de generación múltiple (energía, hidrógeno, CCS e integración de sistemas)*
Robert Gentile, socio gerente de Atlantic Partners, Estados Unidos
Correo electrónico: RHGentile@aol.com
 - ▶ *Implementación y difusión (financiamiento, socios, responsabilidad social corporativa)*
Zara Khatib, gerente de tecnología de Shell EP International Limited, Emiratos Árabes Unidos
Correo electrónico: Zara.z.khatib@shell.com
 - ▶ *Impulsores del mercado para la captura y el almacenamiento de carbono (aspectos comerciales y ambientales, comercialización de las emisiones y estándares)*
Michael Moore, director de marketing de Eastern Region Falcon Gas Storage Company, Inc., Estados Unidos
Correo electrónico: mmoore@falcongassstorage.com
 - ▶ *Requisitos previos de R&D*
Gurgen Olkhovsky, director general del All-Russian Thermal Engineering Institute, Rusia
Correo electrónico: vti@cnt.ru
 - ▶ *Política de CSD sobre el futuro de los combustibles fósiles mundiales*
Peter Mak, jefe del área de energía y transporte del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, Naciones Unidas, Nueva York
Correo electrónico: makk@un.org

5. Conferencias orientadas del Comité *Cleaner Fossil Fuels Systems* (CFFS) del WEC sobre: ***Global and Regional Efforts Toward Carbon Capture and Storage***

Tallin (Estonia), 4 de septiembre de 2006

Sitio en Internet:

<http://www.usea.org/CFFS/CFSTallinn.htm>

▶ *Comentarios de inauguración*

Barbara N. McKee, directora de la Oficina de Colaboración de Energía Ecológica del Departamento de Energía de los Estados Unidos; presidente del Comité CFFS del WEC

Correo electrónico:

Barbara.mckee@hq.doe.gov

▶ *Captura y almacenamiento de carbono: equilibrio provisorios del WEC: ¿cuál es el mensaje para los estados de la región báltica?*

Klaus Brendow, asesor principal, WEC, Suiza

Correo electrónico:

Kbrendow@compuserve.com

▶ *Aspectos prácticos de la energía de esquisto de petróleo en Estonia*

Mati Uus, director de desarrollo, Narva Power Plants Ltd.

▶ *¿Cuáles son las opciones de Europa y los Países Bálticos para disminuir las emisiones de CO₂?*

Anita Kvesko, especialista principal en medio ambiente, Latvenergo

6. Taller del Comité *Cleaner Fossil Fuels Systems* (CFFS) del WEC y All-Russian Thermal Engineering Institute (VTI) sobre: ***Cleaner Fossil Fuels for Power Generation***

Moscú (Rusia), 8 de septiembre de 2006

Sitio en Internet:

<http://www.usea.org/CFFS/CFMoscov.htm>

▶ *Comentarios de inauguración*

Sergey Mazurenko, Agencia Federal para la Ciencia y las Innovaciones de Rusia; V. P. Voronin, Open Joint Stock Company RAO "UES of

Russia", Rusia

Correo electrónico:

Barbara McKee, presidente del Comité *Cleaner Fossil Fuels Systems* (CFFS) del WEC

Correo electrónico:

Barbara.mckee@hq.doe.gov

Gurgen Olkhovsky, director general, All-Russian Thermal Engineering Institute, Rusia

Correo electrónico: vti@cnt.ru

▶ *Combustibles fósiles para la generación de energía*

Elena Nekhaev, directora de programas del Consejo Mundial de Energía, Reino Unido

Correo electrónico:

Nekhaev@worldenergy.org

▶ *Uso de combustibles fósiles en la industria energética de Rusia*

Anatoly Tumanovsky, All-Russian Thermal Engineering Institute, Rusia

Correo electrónico: vti@cnt.ru

▶ *Plantas de ciclo combinado de gas natural*

Alexander Silin, GE, Estados Unidos

▶ *Sistemas de protección ambiental para plantas de energía a partir de fósiles*

John Topper, International Energy Agency Clean Coal Centre (IEA CCC)

Correo electrónico: John.Topper@iea-coal.org.uk

▶ *Resultados de la implementación de las plantas de demostración de IGCC en los Estados Unidos y desarrollo posterior de esta tecnología*

Robert Gentile, Leonardo Technologies Inc, Estados Unidos

Correo electrónico: RHGentile@aol.com

▶ *Experiencia de aplicación con el funcionamiento de las plantas de IGCC en Port Álamo y las proyecciones de esta tecnología*

Pedro Casero, ELCOGAS, España

▶ *Experiencia de aplicación con el funcionamiento de plantas de ciclo combinado con flujo de aire presurizado y las proyecciones de uso de esta tecnología para la generación de energía*

Akio Nakanishi, Japón

- ▶ *Retención y captura de CO₂ generado en una unidad de energía: ideas y logros*

John Topper, International Energy Agency, Clean Coal Center (IEA CCC)
Correo electrónico: John.Topper@iea-coal.org.uk

7. Debate del Comité *Cleaner Fossil Fuels Systems* (CFFS) del WEC sobre: ***Mitigating the growing contributions of West Asia in global emissions***

Mar Muerto (Jordania), 25 de abril de 2007

Sitio en Internet:

<http://www.usea.org/CFFS/CFFSAmman.htm>

- ▶ *Comentarios de inauguración, bienvenida e información general*

Hisham Al-Khatib, vicepresidente honorario de WEC, Jordania

Correo electrónico: Khatib@nets.com.jo

- ▶ *Captura y almacenamiento de carbono (CCS): panorama mundial*

Barbara McKee, presidente del Comité Cleaner Fossil Fuels Systems (CFFS) del WEC Correo electrónico:

Barbara.mckee@hq.doe.gov

- ▶ *Situación energética en Jordania*

Ghaleb Ma-abrah, inspector de la Comisión Reglamentaria de Electricidad, Jordania

Correo electrónico: gmaabreh@erc.gov.jo

- ▶ *Mecanismo de desarrollo ecológico*

Mustafa Attili, gerente del Departamento de Calidad Ambiental y Seguridad de la División de Planificación y Desarrollo de Central Electricity Generating Co., Jordania Correo electrónico: mattili@cegco.com.jo

- ▶ *Perspectiva del sector energético*

Rasheed Sulaiman, Ingeniería de Aplicación de Ventas, GE Energy, Medio Oriente y África

Correo electrónico:

rasheed.sulaiman@ge.com

- ▶ *Perspectiva del sector petrolero y gasolero*

Zara Khatib, gerente de tecnología de Shell EP International Limited, Emiratos

Árabes Unidos

Correo electrónico:

Zara.z.khatib@shell.com

- ▶ *Reducción de la combustión de gas*

François Mouton, asesor de Reducción Mundial de Combustión de Gas, Banco Mundial

Correo electrónico:

fmouton@worldbank.org

- ▶ *Consecuencias para el medio ambiente de la combustión de combustibles pesados para la generación de electricidad*

Fouad M. Alsaeedi, ingeniero de generación del Departamento Técnico General,

Arabia Saudita

Correo electrónico: falsaeedi@se.com.sa

- ▶ *Tecnología para el desarrollo sustentable*

Milton Catelin, director ejecutivo del Instituto Mundial del Carbón, Reino Unido

Correo electrónico: mcatelin@wci-coal.com

- ▶ *Perspectiva reglamentaria para la reducción de las emisiones mundiales*

Sergio Garribba, ex director general del Ministerio de Actividades Productivas, Italia Correo electrónico: s.garribba@hotmail.it

- ▶ *Captura y almacenamiento de carbono: oportunidades y desafíos*

Klaus Brendow, asesor principal, Consejo Mundial de Energía, Suiza

Correo electrónico:

KBrendow@compuserve.com

8. Sesión del Comité *Cleaner Fossil Fuels Systems* (CFFS) del WEC durante el XX Congreso Mundial de Energía sobre: ***Fossil Fuels Leading the Clean Energy Revolution?*** Roma (Italia), 12 de noviembre de 2007

- ▶ *Declaración preliminar y motivos por los que los combustibles fósiles deben liderar la revolución de la energía ecológica*

Barbara McKee, presidente del Comité Cleaner Fossil Fuels Systems (CFFS) del WEC Correo electrónico: Barbara.mckee@hq.doe.gov

- ▶ *Oportunidades y desafíos de las tecnologías nuevas y la implementación, que incluyen a CCS*
Victor Der, asistente adjunto de la Secretaría de Carbón Ecológico, Departamento de Energía de los Estados Unidos
Correo electrónico: Victor.Der@hq.doe.gov
- ▶ *Energía de fósiles y medio ambiente en un mundo interdependiente*
Peter Garrucho, director administrativo de First Philippines Holding Corporation; presidente de WEC Philippines Member Committee
Correo electrónico: pdgarrucho@fphc.com
- ▶ *Impulsores del mercado para los sistemas de combustibles fósiles ecológicos*
Michael Moore, director de marketing de Eastern Region Falcon Storage Company, Inc., Estados Unidos
Correo electrónico: mmoore@falcongastorage.com
- ▶ *Interés mundial en la transferencia tecnológica*
Preston Chiaro, director ejecutivo de energía de Río Tinto PLC; presidente de World Coal Institute (WCI), Reino Unido
Correo electrónico: preston.chiaro@riotinto.com
- ▶ *Debate abierto*
Coordinador:
Hisham Al-Khatib, presidente de la Comisión Reglamentaria de Electricidad, Jordania
Correo electrónico: Khatib@nets.com.jo

B. Lista de iniciativas internacionales para CCS

a) Formulación de políticas

- ▶ El G8 (Grupo de los 8), en Gleneagles (Escocia) en 2005 (www.g8.gov.uk), acordó en su plan de acción *inter alia* para acelerar el desarrollo y la comercialización de CCS. Exigió

a IEA y CSLF que ofrezcan un taller sobre oportunidades a corto plazo. Tendrá en cuenta un informe sobre cambio climático, energía ecológica y desarrollo sustentable en la sesión de Japón de 2008.

- ▶ La Agencia Internacional de Energía (IEA) (www.iea.org) amplió su participación de larga data en las tecnologías de combustibles fósiles ecológicos para CCS.
- ▶ The Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF) (www.csforum.org) endeavors to make CCS technologies broadly available. Fomenta la RD&D conjuntas y, en respuesta a la solicitud del G8 antes mencionada, analiza las oportunidades de CCS a corto plazo, junto con IEA, en los talleres (San Francisco 2006, Oslo 2007, Canadá 2007).
- ▶ La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) (<http://unfccc.org>) y el Protocolo de Kyoto (<http://unfccc.int/kyoto>) tienen como meta la disminución del cambio climático. Tienen en cuenta la elegibilidad actual de los proyectos de CCS para un mecanismo de desarrollo ecológico y la implementación conjunta.
- ▶ En la actualidad, el esquema de comercialización de la Unión Europea (<http://ec.europa.eu/environment/climat/emission.htm>) no respalda a CCS; no obstante, el 6.º (<http://ec.europa.eu/research/fp6/index.html>) y el 7.º Marco de Programas para Investigación y Desarrollo Tecnológico (<http://ec.europa.eu/research/fp7/index.html>) solicita proyectos relacionados con CCS.

b) Recopilación y análisis de datos

- ▶ Publicaciones de IEA (www.iea.org):
Prospects for CO₂ capture and storage, 2004;
Legal aspects of storing CO₂, 2005;
Legal aspects of carbon capture and storage, 2006;
- ▶ Organismos de IEA:
Greenhouse Gas R&D Programme (www.ieagreen.org);
IEA Clean Coal Centre (www.iea-coal.org);

IEA Working Party on Fossil Fuels (emisiones cero, aspectos legales);
IEA Coal Industry Advisory Board (www.iea.org/ciab);

- ▶ Comisión Europea: Grupo de Trabajo del Programa de Cambio Climático Europeo sobre la Captura de Carbono y el Almacenamiento Geológico

(http://europa.eu.int/comm/environment/climate_stake_wg.htm);

- ▶ Panel Intergubernamental de WMO/UNEP sobre el Cambio Climático: grupo de trabajo I sobre los Fundamentos básicos de la física; grupo de trabajo II sobre Los impactos, la adaptación y la vulnerabilidad al cambio climático; y el grupo de trabajo III sobre La disminución del cambio climático (www.ipcc.ch); informe especial sobre la captura y el almacenamiento del dióxido de carbono (2005);
- ▶ Consejo Mundial de Energía (www.worldenergy.org):

Committee on *Cleaner Fossil Fuels Systems* (CFFS): folleto sobre Captura y Almacenamiento de Carbono: balance provisorio del WEC, Londres 2006 y 2007. Comité sobre el Rendimiento de las Plantas Generadoras de Energía: Estudio sobre energía y cambio climático; programa piloto sobre la reducción de las emisiones gaseosas que provocan el efecto invernadero (GHG) (finalizado); proyectos pilotos de CCS en Brasil, China, Sudáfrica (iniciados).

c) Desarrollo conjunto de tecnologías

- ▶ Los acuerdos de implementación de IEA también abarcan a CCS; el IEA Coal Research - Clean Coal Centre (www.iea-coal.org) de IEA se encarga de un programa extensivo sobre tecnologías ecológicas de carbón y las encuestas que actualmente están en curso sobre CCS.
- ▶ CSLF respalda 17 proyectos en colaboración de CCS (www.cslforum.org/projects.htm).

El 6.º

(<http://ec.europa.eu/research/fp6/index.html>) y

7.º Programas de Marco para Investigación y

- ▶ Desarrollo Tecnológico

(<http://ec.europa.eu/research/fp7/index.html>)

solicita proyectos relacionados con CCS.

d) Marcos reglamentarios y legales a nivel internacional

- ▶ La Convención de las Naciones Unidas sobre los Derechos del Mar (UNCLOS) (www.unclos.com), de 1982, no reglamenta específicamente ni prohíbe las actividades de CCS, pero apela a los estados para que protejan el medio ambiente marino de las actividades humanas, como los depósitos de desechos.
- ▶ La Convención de Londres sobre la Prevención de la Contaminación Marina a Causa del Depósito de Desechos y Otros Materiales de 1972 (www.londonconvention.org) prohíbe el desecho de "residuos" en el mar.
- ▶ El Protocolo de Londres de 1996 sobre la convención antes mencionada, permite que a partir del 10 de febrero de 2007 se desechen corrientes de CO₂ a partir de procesos de captura de CO₂, y de sustancias incidentales asociadas en formaciones geológicas que están debajo del lecho marino.
- ▶ La Convención de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos, de 1989 (www.basel.int), no considera al CO₂ como un desecho peligroso, pero esta apreciación cambia si contiene sustancias tóxicas
- ▶ Los tratados y las convenciones regionales para la protección del medio ambiente marino pueden tener implicancias para CCS: en el Atlántico noreste (OSPAR) de 1992; Mar Báltico, de 1992; Mar Negro, de 1994; la región del Caribe más amplia, de 1983; la región del Mar Mediterráneo, de 1976; del golfo, de 1978; región africana central y del oeste, de 1981; Pacífico sur, de 1981, 1986; y también la Convención de Bamako sobre la prohibición de la importación a África y la fiscalización de los

movimientos transfronterizos dentro de África de desechos peligrosos de 1991.

e) Proyectos seleccionados de RD&D

Alrededor de 110 proyectos de RD&D de CCS se han adoptado mundialmente y están descritos en la base de datos Greenhouse Gas R&D Programme de IEA

(<http://www.co2captureandstorage.info/search.php4>

). Los proyectos principales de CCS de tecnologías nuevas de almacenamiento y combustión (no incluyen EOR) son:

i. Almacenamiento

- ▶ Sleipner (Mar del Norte noruego) (www.statoil.com/): primer almacenamiento de escala industrial de CO₂ a partir del procesamiento de gas desde 1996; en curso.
- ▶ CO₂ Store (www.co2store.org): una continuación del proyecto de Sleipner sobre el almacenamiento y el control de CO₂ en acuíferos.
- ▶ En Salah (Algeria) (www.bp.com): en 2004, comenzó una demostración de escala industrial del almacenamiento geológico de CO₂.
- ▶ Gassi Touil (Algeria): proyecto integrado de gas entre Repsol (España) y Sonatrach (Algeria), que incluye CCS; el contrato se celebró en 2004 y estará en funcionamiento en 2010.
- ▶ Weyburn II (Canada) (www.ptrc.ca/): almacenamiento de CO₂ junto con la recuperación mejorada de petróleo de escala comercial desde 2001.
- ▶ Gorgon (Australia) (www.co2crc.com.au): inyección de CO₂ a partir del procesamiento del gas natural en una formación salina marítima desde 2011, con una capacidad planificada de 120 millones de toneladas.
- ▶ CO₂ Sink (www.cosink2.org): prueba de captura y almacenamiento de 60 kt en un acuífero salino, en Ketzin cerca de Berlín.
- ▶ CASTOR (www.co2castor.com): planta piloto de captura y almacenamiento de CO₂ a partir de la central energética de carbón Elsam, en Dinamarca.

- ▶ Halten (zona central de Noruega): captura de 2.5 millones de toneladas de CO₂ de la explotación de gas natural y generación de energía para EOR y el almacenamiento permanente en los depósitos de Draugen y Heidrun.
- ▶ Stanwell (Australia): planta de demostración de IGCC de carbón de 1800 t/día (2007-2010) con retención de carbono (4100 t/día) y almacenamiento (eficiencia neta con/sin captura de carbono: 40%, 34.3%).
- ▶ GeoNet (www.co2geonet.com): proyecto europeo para el almacenamiento geológico de CO₂.

ii. Generación de energía con CCS

- ▶ FutureGen (www.futuregenalliance.org): planta eléctrica de carbón para demostración de CCS de gran escala internacional liderada por los Estados Unidos basada en IGCC y en la captura de combustión previa.
- ▶ Plataforma tecnológica de planta de energía con combustibles fósiles de emisión cero: iniciativa de la Unión Europea generada en EC Hypogen-Dynamis, y otros proyectos; las plataformas enfatizan la necesidad de aproximadamente 10 proyectos de CCS que cubran toda la cadena (http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/zero_emission_ffpp_en.pdf).
- ▶ Planta piloto Vattenfall Oxyfuel Schwarze Pumpe (www.vattenfall.de) (Alemania).
- ▶ GREENGEN: proyecto del gobierno de China para una planta energética de emisión cero de 400 MW en el año 2020.
- ▶ Escala piloto de caldera TOTAL Oxyfuel en Lacq (Francia).
- ▶ COORETEC – COORIVA (www.cooretec.de): tecnologías de combustión de IGCC innovadoras con almacenamiento y reducción de CO₂ (Alemania).
- ▶ CANMET (www.nrcan.gc.ca): proyecto piloto de centro tecnológico de CCS (Canadá).

- ▶ ENCAP (www.encapco2.org): proyecto integrado de tecnologías nuevas de combustión previa patrocinado por 33 entidades legales, incluida la Unión Europea.
 - ▶ COMTES 700 (www.comtes700.org): componentes de prueba que permiten la reducción de CO₂ para una planta energética nueva de 400 MW 700° C (Alemania).
 - ▶ Proyecto de captura de CO₂ (www.co2captureproject.org): iniciativa de las principales empresas de energía para reducir las emisiones por medio del lavado posterior a la combustión, eliminación del carbono antes de la combustión, combustión de oxígeno y retención geológica.
 - ▶ ZeroGen (www.zerogen.com.au): planta energética de IGCC con CCS en un acuífero salino (Australia).
 - ▶ Energía progresiva (www.dti.gov.uk/files/file30865pdf): planta energética de IGCC con captura de CO₂ para la recuperación mejorada de petróleo (Reino Unido).
 - ▶ Sask Power (www.saskpower.com): planta energética con bajo contenido de sulfuro de lignite con tecnología Oxyfuel para la recuperación mejorada de petróleo (Canadá).
 - ▶ Powerfuel: planta energética a base de carbón con CCS (Reino Unido).
 - ▶ E.ON (www.eon-uk.com/883.aspx): proyecto de IGCC con una planta energética de gas con CCS en una etapa posterior (Reino Unido).
 - ▶ RWE (www.rwe.com/generator.aspx): tecnología de IGCC para separar el hidrógeno de la producción de combustible sintético (Alemania) (ver ENCAP antes mencionado).
 - ▶ RWE nPower (www.npower.co.uk): tecnología supercrítica CCS de combustión posterior (Reino Unido).
- iii. Recuperación mejorada de metano en los yacimientos de carbón**
- ▶ RECOPOL (<http://recopol.nitg.tno.nl>): proyecto de investigación y desarrollo con financiación conjunta de la Unión Europea sobre el almacenamiento de CO₂ en un yacimiento de carbon subterráneo (absorción), en el que al mismo tiempo el metano es liberado para la venta (Silesia, Polonia).
 - ▶ COAL SEQ II CONSORTIUM (www.coal-seq.com): proyecto de investigación en colaboración liderado por los Estados Unidos sobre el almacenamiento de CO₂ en grietas de carbón que no se pueden encontrar, y la captura y el desplazamiento de metano.
 - ▶ Proyecto de Recuperación Mejorada de Metano en Yacimientos de Carbón del Consejo de Investigación de Alberta (Canadá) (ARC) por medio de la inyección de CO₂ (www.arc.ab.ca), con un alcance de colaboración para el Proyecto de Retención de CO₂ / Tecnología de Metano en Yacimientos de Carbón en Shanxi (China) (www.arc.ab.ca/Index.aspx/ARC/4517).
 - ▶ Proyecto de investigación, que actualmente está en etapa de promoción, sobre la gasificación subterránea de carbón con almacenamiento local de CCS (con o sin recuperación mejorada de metano en los yacimientos de carbón) (www.ucgp.com).

C. Abreviaturas

C	carbono
CCS	captura y almacenamiento de carbono
CCGT	turbina de gas de ciclo combinado
CDM	mecanismo de desarrollo ecológico (Protocolo de Kyoto)
CFFS	Comité <i>Cleaner Fossil Fuels Systems</i> del WEC
CO ₂	dióxido de carbono
CSLF	Foro de Liderazgo para la Retención de Carbono
EOR	recuperación mejorada de petróleo
EGR	recuperación mejorada de gas
GEF	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
GHG	gas de efecto invernadero
Gt	gigatón (1 tonelada x 10 ⁹)
GW	gigavatio (1 vatio x 10 ⁹)
IEA	Agencia Internacional de Energía
IGCC	ciclo combinado de gasificación integrada
IPCC	Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático
JI	implementación conjunta (Protocolo de Kyoto)
LNG	gas natural licuado
MW	megavatio (1 vatio x 10 ⁶)
PCC	combustión de carbón pulverizado
ppm	partes por millón (proporción de la cantidad de moléculas de CO ₂ en la cantidad total de moléculas del aire seco)
RD&D	investigación, desarrollo y demostración
SCSC	ciclo de vapor extremadamente crítico
WEC	Consejo Mundial de Energía
WIPO	Organización Mundial de Propiedad Intelectual
WTO	Organización Mundial del Comercio
ZET	tecnología de emisión cero

D. Editor de contacto

Dr. Klaus Brendow
 Asesor principal del Consejo Mundial de Energía
 Correo electrónico: Kbrendow@compuserve.com

E. Contacto en el WEC

Elena Nekhaev
 Directora de programas
 Correo electrónico: Nekhaev@worldenergy.org



WORLD ENERGY COUNCIL
CONSEIL MONDIAL DE L'ÉNERGIE

World Energy Council
Regency House 1-4 Warwick Street
London W1B 5LT United Kingdom
T (+44) 20 7734 5996
F (+44) 20 7734 5926
E info@worldenergy.org
www.worldenergy.org

Promoviendo el suministro y el uso sostenibles
de energía para el mayor beneficio de todos