

Estados Unidos se centra en el secuestro geológico como solución tecnológica para el cambio climático

Por *Sarah Forbes*



El secuestro de carbono tiene potencial para lograr una profunda reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Existe una amplia gama de posibilidades de secuestro a explorar, pero una prioridad clara para el despliegue a corto plazo es capturar una corriente de CO₂ proveniente de una gran fuente de emisión puntual fija y secuestrarla en una formación subterránea. En la actualidad, un poco menos de la mitad del total de las emisiones de gases de efecto invernadero de los Estados Unidos son grandes fuentes puntuales de CO₂, y la tendencia a la descarbonización de los combustibles utilizados para el transporte aumenta el volumen de las emisiones de CO₂ aguas arriba.

Fundamentos respecto del cambio climático

La economía global y el nivel de vida moderno –iluminación, transporte, comunicaciones, calefacción y aire acondicionado– se basan fundamentalmente en la energía y el 85% de la energía que se consume en el mundo proviene de la combustión de los combustibles fósiles.

Durante casi todo el primer siglo de uso generalizado de los combustibles fósiles, las personas no prestaron mucha atención a las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), que se consideraba, con acierto, parte natural de la atmósfera de la Tierra. Sin embargo, el crecimiento sostenido tanto de la población mundial como de la actividad económica han aumentado las emisiones antropogénicas de CO₂ hasta tal punto que se comenzó a alterar el ciclo normal del carbono. En la actualidad, se emite más CO₂ que el que pueden absorber los árboles, los pastos y los océanos y, como consecuencia, se acumula exceso de CO₂ en la atmósfera. Hoy la concentración de CO₂ en la atmósfera es de aproximadamente 378 partes por millón (ppm), un 35% superior al nivel preindustrial de 280 ppm y aumenta a una tasa de alrededor de 1 a 2 ppm por año.

La elevada concentración de CO₂ en la atmósfera pro-

duce dos efectos principales, que preocupan a los científicos. En primer lugar, el CO₂ es un gas de efecto invernadero (GHG) que mantiene atrapada la energía dentro del sistema terrestre. La acumulación de GHG en la atmósfera es la causa del calentamiento global del planeta y podría provocar cambios indeseables en los climas regionales. En segundo lugar, el incremento del volumen de CO₂ en la atmósfera implica una tasa superior de disolución del CO₂ en el agua de los océanos, lo cual podría llevar a su acidificación y al consecuente daño del ecosistema oceánico. La interferencia antropogénica (causada por el hombre) en el clima global, que en su mayor parte gira en torno a mecanismos de realimentación, ha suscitado gran incertidumbre: ¿cómo responderá el ecosistema de la Tierra a la mayor cantidad de CO₂ presente en la atmósfera? En un sistema de realimentación negativa, los niveles de CO₂ atmosférico retornarían al equilibrio preindustrial. Por ejemplo, el incremento del CO₂ presente en la atmósfera aceleraría el crecimiento de los árboles que, de este modo, absorberían más CO₂. Las realimentaciones positivas generan lo opuesto. Por ejemplo, el aumento de la temperatura global podría derretir la tundra polar, donde hay atrapado CO₂ que, de ese modo, se liberaría al aumentar aún más la temperatura y el deshielo y al desencadenar en un efecto de espiral creciente.

Cadena de tecnología de secuestro geológico

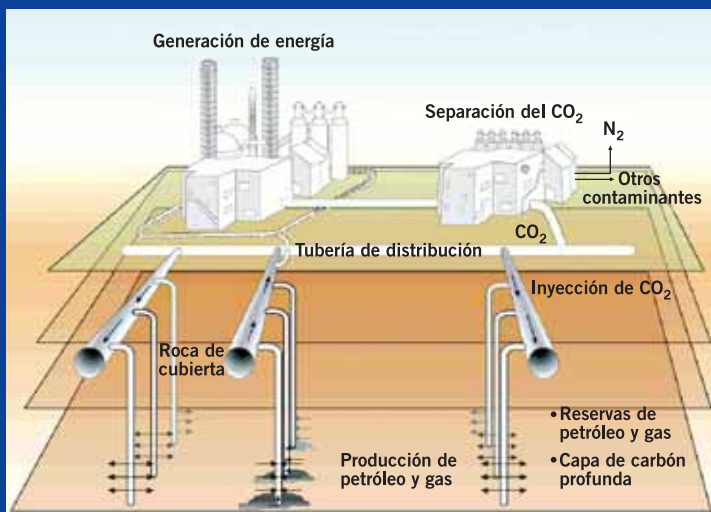
El CO₂ expulsado por los sistemas de energía alimentados a combustibles fósiles por lo general queda demasiado diluido, a presión muy baja o excesivamente contaminado con impurezas, para ser almacenado o convertido directamente en un producto basado en carbono que resulte estable. Por eso es que el ciclo de vida de un sistema de secuestro geológico debe emplear una combinación de tecnologías que cubran la brecha entre la producción de CO₂ y el almacenamiento seguro a largo plazo.

Los eslabones de la cadena tecnológica del secuestro geológico incluyen lo siguiente: en primer lugar, el CO₂ se captura utilizando una de estas tres vías: poscombustión, precombustión o combustión en oxígeno u oxicomustión. La poscombustión se refiere a la captura del CO₂ de un gas de chimenea, después de haberse quemado un combustible en el aire. La precombustión se refiere a un proceso en el que un combustible de hidrocarburo se gasifica para formar una mezcla de hidrógeno y dióxido de carbono, y el CO₂ se captura del gas de síntesis antes de su combustión. La oxicomustión es un enfoque en el que se quema un combustible de hidrocarburo en oxígeno puro o casi puro en lugar de aire, y el escape de dicha combustión es una mezcla de CO₂ y agua que puede producir fácilmente CO₂ puro. Después de la captura, el CO₂ concentrado se comprime hasta un estado supercrítico antes de transportarse hasta un sitio de almacenamiento por línea de conducción o buque tanque.

En el sitio de almacenamiento, el CO₂ se inyecta en una formación subterránea, capaz de contenerlo de modo seguro. Existen tres categorías de formaciones, cada una de las cuales plantea diferentes retos y oportunidades para el almacenamiento de CO₂: los reservorios de petróleo y gas agotados, los acuíferos salinos y las capas de carbón no explotables.

Una vez en el subsuelo, el CO₂ se monitorea para garantizar que permanezca secuestrado y, según sea necesario, se adoptan las medidas de mitigación que corresponda.

Si desea información adicional sobre el desarrollo de la tecnología de secuestro del Departamento de Energía de Estados Unidos, descargue "Carbon Sequestration Technology Roadmap and Program Plan 2005", en www.netl.doe/sequestration.



Fuente: Benson, Sally, Taller IPIECA, Bruselas, 21 y 22 de octubre de 2003.

La respuesta de los Estados Unidos

La administración de George W. Bush, a través del *United States Climate Change Science Program* (Programa de Investigación del Cambio Climático de Estados Unidos), ha establecido como prioridad el desarrollo y el conocimiento de temas tales como el clima global, el ciclo del carbono y los efectos atmosféricos de los GHG. Al mismo tiempo y como un desarrollo paralelo, la administración busca implementar tecnologías “transformacionales”, destinadas a suministrar los servicios tradicionalmente dependientes de la energía (electricidad, calor, transporte) con niveles de emisiones netas de GHG bajos o nulos. El secuestro de carbono ha surgido como una de esas tecnologías transformacionales clave, a la par del mejoramiento de la eficiencia y las fuentes de energía sin carbono tales como el viento, la biomasa, la energía hidroeléctrica, la fisión nuclear y la fusión nuclear. El secuestro de carbono consiste en la captura y el almacenamiento de CO₂ y otros GHG que, de lo contrario, se emitirían en la atmósfera. Los GHG pueden capturarse en el punto de emisión o eliminarse del aire. Los gases capturados pueden utilizarse, almacenarse en depósitos subterráneos o posiblemente en las profundidades de los océanos; ser absorbidos por los árboles, los pastos, los suelos y las algas; o bien, convertirse en carbonatos minerales de tipo roca o en otros productos.

Como encuadre a favor de este progreso, en marzo de 2001, el presidente Bush estableció la *Global Climate Change Initiative* (GCCCI, Iniciativa sobre el Cambio Climático

Global). La GCCCI fija una meta de reducción del 18% en cuanto a la intensidad de los GHG (que es la relación entre las emisiones de GHG y el rendimiento económico) de los Estados Unidos, a lograr en el 2012. Ese año se llevará a cabo una evaluación y, para entonces, el Programa de Secuestro de Carbono del Departamento de Energía (DOE) de los Estados Unidos espera tener opciones comerciales viables, que influyan en los resultados de esa nueva evaluación de la GCCCI.

En el año 2003, Estados Unidos creó el *Carbon Sequestration Leadership Forum* (CSLF, Foro de Liderazgo en Secuestro de Carbono), una iniciativa internacional centrada en fomentar la amplia aplicación de las tecnologías de secuestro a nivel internacional. Este CSLF también promoverá los entornos técnicos, políticos y normativos que resulten apropiados para el desarrollo de esa tecnología. El CSLF está compuesto en la actualidad por dieciocho países miembro, tres de los cuales son latinoamericanos (Brasil, Colombia y México), y ha refrendado diez proyectos de secuestro de carbono en todo el mundo. Puede hallarse información sobre el CSLF y sus actividades, en www.GHG.cslforum.org.

El rol del secuestro de carbono

El secuestro de carbono tiene potencial para lograr una profunda reducción de las emisiones de GHG. Existe una amplia gama de posibilidades de secuestro a explorar, pero

una prioridad clara para el despliegue a corto plazo es capturar una corriente de CO₂ proveniente de una gran fuente de emisión puntual fija y secuestrarla en una formación subterránea. En la actualidad, un poco menos de la mitad del total de las emisiones de gases GHG de los Estados Unidos son grandes fuentes puntuales de CO₂, y la tendencia a la descarbonización de los combustibles utilizados para el transporte aumenta el volumen de las emisiones de CO₂ aguas arriba. Ya se han puesto en marcha trabajos de investigación que apuntan a lograr una imagen más clara de la capacidad de almacenamiento geológico existente en el territorio nacional; aunque es evidente que esas formaciones cuentan con capacidad suficiente para almacenar el producto de emisiones de fuentes puntuales de varios siglos.

El DOE y el *National Energy Technology Laboratory* (NETL, Laboratorio Nacional de Tecnología Energética) han llevado a cabo análisis relativos al suministro y el uso de la energía en los Estados Unidos para medir tanto la necesidad de contar con tecnología de secuestro de carbono, en un escenario de estabilización de las emisiones de GHG, como la capacidad de las posibles fuentes potenciales de CO₂ y sumideros para satisfacer las necesidades potenciales.

La figura 1 resume los resultados de este análisis. La línea superior del gráfico de la izquierda corresponde a un escenario de emisiones de GHG del caso de referencia. Si bien consigna un significativo desarrollo tecnológico de combustibles con niveles de carbono bajos o nulos y una eficiencia mejorada, no cuenta con ningún incentivo directo para la reducción de las emisiones de GHG. La línea inferior de la figura 1 representa un escenario en el que las emisiones se estabilizan en los niveles del año 2001. Contiene un mejoramiento acelerado en cuanto a la intensidad de los GHG hasta el año 2012 y una reducción gradual de las emisiones de allí en adelante. La estabilización de las emisiones es un primer paso para lograr la estabilización atmosférica y ésta exigirá que las emisiones se reduzcan un 80% a 90% por debajo de los niveles actuales. Como puede verse en la figura, el requisito de reducción de las emisiones, que es igual a la brecha existente entre los dos escenarios, aumenta hasta 5300 millones de toneladas métricas de dióxido de carbono por año para el año 2050.

El lado derecho de la figura 1 muestra el aporte de diversas opciones de mitigación necesarias para cubrir la brecha expuesta en el escenario de estabilización de emisiones. El DOE ha estimado el aporte de cada opción utilizando un modelo que se basa en sus curvas de costo y suministro. Las categorías Captura y almacenamiento de CO₂ e Hidrógeno con secuestro provienen directamente de la investigación llevada a cabo por el Programa de Secuestro del DOE. En conjunto, dan cuenta del 45% del total de la reducción de emisiones en el año 2050, según el escenario de estabilización de emisiones. El control de los ecosistemas terrestres (Forestación y agricultura) y el control de las emisiones de GHG sin CO₂, que son objetivos del Programa de Secuestro de DOE en colaboración con otros socios públicos y privados, aportan otro 15% de reducción. Está claro que la tecnología de secuestro de carbono desempeñará un papel protagónico, en caso de considerar necesaria la estabilización de los GHG.

Pruebas de campo validan el secuestro geológico

El Programa de Secuestro de Carbono del DOE trabaja con una diversidad de socios industriales en pruebas de campo que son las primeras en su tipo, para validar el secuestro geológico de CO₂ proveniente de grandes fuentes puntuales en reservorios de petróleo y gas agotados, formaciones salinas y capas de carbón. Estas formaciones se consideran la opción de secuestro a corto plazo más viable. Los proyectos, que en su mayoría están en la etapa posterior a la inyección, han mejorado el conocimiento de los mecanismos de entrapamiento del CO₂ y, en algunos casos, han permitido a los investigadores ver el movimiento del CO₂ en el reservorio. Los proyectos evalúan también las tecnologías de medición, monitoreo y verificación (MM&V, sigla en inglés) que permiten validar los modelos de predicción. Los especialistas en el desarrollo de estas tecnologías han trabajado en estrecha colaboración con las comunidades en los sitios de secuestro geológico para lograr la futura aceptación del público en cuanto a su aplicación generalizada.

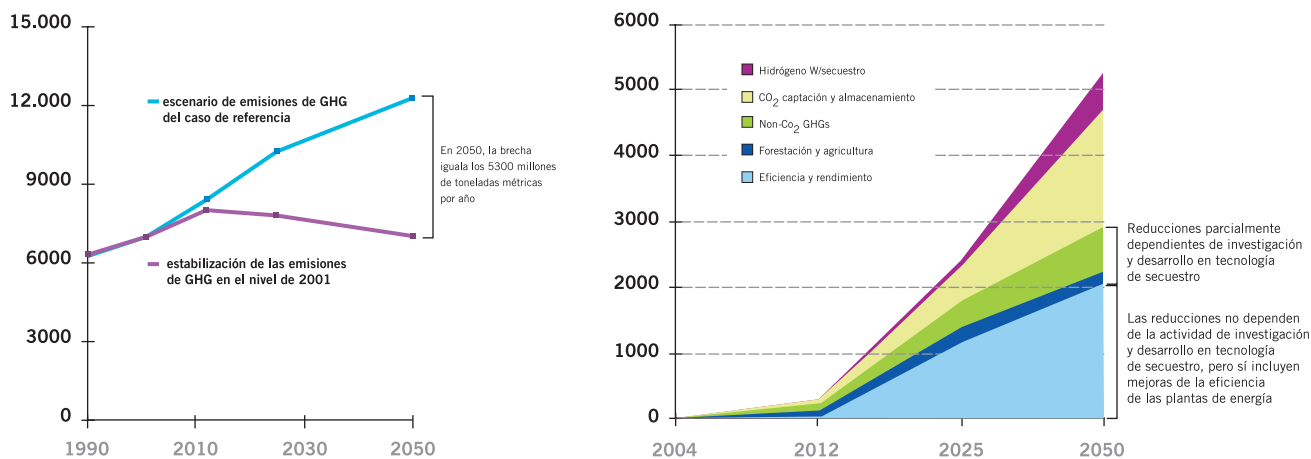


Figura 1. Escenarios de emisiones de GHG en los Estados Unidos y tecnologías para cubrir la brecha

Secuestro y recuperación mejorada de petróleo

La prueba de campo de secuestro geológico más prolongada hasta ahora es el proyecto de recuperación mejorada de petróleo de Weyburn en Saskatchewan, Canadá, encabezado por la Agencia Internacional de la Energía y con el apoyo de una diversidad de socios internacionales, que incluyen el DOE. Desde el año 2001, se han bombeado al campo Weyburn varias toneladas diarias de CO₂ con fines de recuperación mejorada de petróleo y almacenamiento de CO₂. Este proyecto ha ampliado con éxito el conocimiento sobre capacidad de las formaciones, el transporte, el destino y la integridad del almacenamiento del CO₂. EnCana, la empresa productora del campo petrolero, y Dakota Gasification Company utilizan nuevas herramientas de mapeo y predicción de reservorios, que incluyen métodos de inyección de trazadores y métodos sísmicos de superficie. El CO₂ se transporta por tuberías desde la planta de combustibles sintéticos Great Plains de Beulah, Dakota Norte. Se espera que la mitad del CO₂ quede secuestrado y se recicle de nuevo al reservorio la otra mitad. La duración del proyecto está prevista en quince años, durante los cuales almacenará veinte millones de toneladas de CO₂.

A partir de diciembre de 2003 y durante 42 días, se inyectaron en West Pearl, Nuevo México, unas 2200 tonela-

das de CO₂ en un reservorio de petróleo agotado. El objetivo principal del proyecto consistió en someter a prueba tecnologías de medición, monitoreo y verificación de trazadores y métodos sísmicos y examinar mecanismos de captura de CO₂ alternativos. En la actualidad, los investigadores comparan los resultados de la sísmica tridimensional obtenidos antes y después de la inyección.

Formaciones salinas

En los Estados Unidos existen formaciones salinas distribuidas por todo el país con potencial para almacenar hasta quinientos mil millones de toneladas métricas de CO₂. Además, la mayoría de las grandes fuentes puntuales de CO₂ existentes tienen fácil acceso a algún lugar de inyección en formaciones salinas. El proyecto *Frio*, en Texas, ha concitado la atención mundial, incluso la de un equipo de estudio australiano que se instaló allí por tres meses. La Oficina de Geología Económica de Texas (*Texas Bureau of Economic Geology*), junto con el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley del DOE, dirigen el proyecto. Durante diez años, cumplidos en octubre de 2004, se han inyectado 1600 toneladas de CO₂ en areniscas con salmuera de alta permeabilidad. Una meta importante en *Frio* ha sido someter a prueba la mayor cantidad posible de herramientas de medición. La distribución del CO₂ se probó con perfiles de

saturación, sísmica entre pozos y relevamientos electromagnéticos (EM) en pozos entubados. Los resultados demostraron que el método de medición preferido variará a lo largo del reservorio y dependerá de factores tales como el estado de saturación del CO₂, la conductividad del fluido y la salinidad. Los investigadores también pudieron medir el movimiento de la pluma de CO₂ en el reservorio y descubrieron que actuaba tal como lo habían pronosticado los modelos. *Frio* goza del apoyo de la comunidad local gracias a la promoción efectuada por sus patrocinadores.

American Electric Power (AEP) y Battelle Memorial Institute han llevado a cabo una evaluación local de la planta Mountaineer de AEP, en New Haven, Virginia Oeste, en el valle del río Ohio. La profunda formación salina de arenisca se consideró ideal en términos de geología y porque además está cerca de la mayor concentración de plantas de combustibles fósiles de los Estados Unidos. Se completó un relevamiento sísmico y se perforó un pozo de diez mil pies para estudiar la zona objetivo y las capas de sedimentos sobreyacentes. Desafortunadamente, el pozo de inyección reveló baja permeabilidad en el lugar objeto de la investigación. En la actualidad, los investigadores evalúan la capacidad potencial de almacenamiento en formaciones más someras.

Capas de carbón y metano

La recuperación de metano en capas de carbón se ha combinado con el secuestro de CO₂ en algunos proyectos de campo. El metano recuperado proporciona un flujo de ganancias de valor agregado que compensa los costos de secuestro. En el Condado de Marshall, Virginia Oeste, CONSOL Energy R&D, junto con CNX Gas y CNX Land, cooperan con el DOE en un proyecto de campo de siete años para evaluar tanto la recuperación de metano en capas de carbón (CBM, siglas en inglés) como la capacidad de absorción del CO₂ de una capa de carbón no explotable. Se perforarán una serie de pozos horizontales de tres mil pies de profundidad para drenar CBM de dos capas de carbón sobreyacentes. Luego, los mismos pozos se utilizarán para la inyección y el secuestro de CO₂, lo cual mejorará la recuperación de CBM en los pozos exteriores. Con este singular enfoque, se capturará y utilizará el CBM recuperado de la capa no explotable, en lugar de ventearlo en la atmósfera. En la actualidad, el proyecto se halla en la fase previa a la inyección, previniéndose inyectar veintiséis mil toneladas de CO₂ durante un año, una vez completadas las operaciones de desgasificación y deshidratación.

En la Cuenca del Río San Juan, Nuevo México, Advanced Resources International y sus socios llevan a cabo el único proyecto mundial de CBM mejorado con pozos múltiples a largo plazo, para evaluar la viabilidad de almacenar el CO₂ en capas de carbón profundas no explotables. Las dos unidades piloto de campo, Allison Unit (operada por Burlington Resources) y Tiffany Unit (operada por BP) demuestran, respectivamente, la tecnología de recuperación de CBM mejorada con CO₂ y nitrógeno (N₂). El efecto del N₂ en la recuperación del metano implica importantes consecuencias para la inyección de gas de chimenea de la planta de energía, pues el N₂ es el principal constituyente del gas de chi-

menea. En la actualidad, el costo de separar el CO₂ del gas de chimenea es elevado. El nitrógeno también es un efectivo desplazador del metano, que mejora su recuperación y disminuye el costo neto del secuestro de CO₂. Además, el proyecto contribuye a mejorar el conocimiento que se tiene de la dilatación (hinchamiento) del carbón y la habilidad de predecir la capacidad de almacenamiento de CO₂.

En el proyecto *Landfill Gas Sequestration*, del condado de Johnson, Kansas, el Servicio Geológico de Kansas explora la posibilidad de inyectar gas de relleno sin tratar en capas de carbón subterráneos con el propósito de utilizar procesos naturales para separar los constituyentes de metano y del CO₂ y eliminar la necesidad de contar con instalaciones de procesamiento. Se recogen unos 4,5 millones de pies cúbicos de gas de relleno por día. Uno de los objetivos es producir tres millones de pies cúbicos diarios de gas natural de calidad gasoducto.

Los datos de estas pruebas de campo patrocinadas por el DOE también han aportado valiosa información a la Asociación Regional de Secuestro de Carbono, que explora las opciones de secuestro en todas y cada una de las regiones exclusivas de América del Norte. El Programa de Secuestro de Carbono del DOE trabaja con sus socios, tanto en los Estados Unidos como en el resto del mundo, para poner a disposición tecnologías de reducción de emisiones que resulten efectivas en función de sus costos y puedan desplegarse a escala global. El éxito de esta labor garantizará la reducción de las emisiones de GHG sin sacrificar el crecimiento económico y los niveles de vida que ese crecimiento sustenta. ■

Sarah Forbes se desempeña actualmente como analista a cargo de la formulación de políticas en la Oficina de Sistemas, Análisis y Planeamiento del Laboratorio Nacional de Tecnología Energética del Departamento de Energía de los Estados Unidos/Oficina de Energía Fósil (DOE-NETL). En tal carácter, se encarga de la investigación de los asuntos regulatorios y normativos asociados con el despliegue de tecnología y el cambio climático global. Además, integra el equipo de estrategias de secuestro de carbono y actúa como punto de coordinación en lo que respecta al intercambio de contaminantes y a asuntos relacionados con los servicios de ecosistemas. Obtuvo una licenciatura en Biología, del Wheaton College de Wheaton, Illinois, y una maestría en Ciencias Biológicas de la Universidad del Estado de Mississippi.