

CLIMA

Una solución al carbono

integral

¿Y si explotáramos los yacimientos de salmuera rica en metano y su energía se emplease para secuestrar carbono?

Steven L. Bryant

EN SÍNTESIS

Una manera de reducir las emisiones de carbono sería capturarlo antes de que se incorporase a la atmósfera y enterrarlo a grandes profundidades. Sin embargo, debido a su elevado coste, la mayoría de los países no lo llevan a cabo.

Una posibilidad consistiría en extraer salmuera caliente del subsuelo, inyectar en ella CO_2 y volver a enterrarla. El proceso permitiría aprovechar la energía geotérmica del fluido y también extraer el metano disuelto.

Dicho ciclo resultaría económica y energéticamente rentable. La salmuera contenida en la costa del Golfo de EE.UU. permitiría almacenar una sexta parte de las emisiones del país y cubrir un sexto de su demanda de gas natural al año.

Steven L. Bryant es catedrático de ingeniería del petróleo y sistemas geológicos en la Universidad de Texas en Austin, donde dirige el Centro para las Fronteras de la Seguridad Energética Subsuperficial, así como un programa de investigación financiado por la industria. Ambos proyectos se centran en el almacenamiento geológico de dióxido de carbono.



S

E CUENTA QUE MARK TWAIN DIJO UNA VEZ QUE, AUNQUE TODO EL MUNDO SE QUEJA del tiempo, nadie hace nada al respecto. Un Mark Twain moderno tal vez observase que todo el mundo habla del cambio climático, pero que nadie adopta medidas firmes. Una de las razones principales es económica. Reducir la acumulación atmosférica de dióxido de carbono —el principal factor humano responsable del calentamiento— implicaría un oneroso abandono del carbón y el petróleo como fuentes principales de energía. Una alternativa consistiría en capturar el CO₂ emitido por la industria y almacenarlo en un lugar donde pudiese permanecer durante siglos. Sin embargo, la tecnología necesaria para ello implica también grandes costes.

Pero ¿y si fuese rentable hacer ambas cosas a la vez: producir enormes cantidades de energía y reducir las emisiones? ¿Y qué ocurriría si la tecnología necesaria para ello se ajustase a la infraestructura industrial ya existente? Tal situación podría tornarse realidad en la costa del Golfo estadounidense. Debido a sus peculiares características geológicas, dicha región resulta apta para enterrar ingentes cantidades de CO₂ disuelto en salmuera caliente a varios kilómetros de profundidad. Al mismo tiempo, ese almacenamiento generaría un gran volumen de metano, el cual podría emplearse como combustible, así como calor para consumo doméstico. Por sí mismos, ni el almacenamiento de CO₂ ni la producción de metano o de energía geotérmica son rentables. Sin embargo, algunos cálculos recientes demuestran que, combinados, dichos procesos reportarían buenos resultados tanto en EE.UU. como en otros países.

LA LEY DE LA GRAVEDAD

¿Metano? ¿Uno de los peores responsables del cambio climático? ¿El gas que puede fugarse en las zonas donde se han efectuado fracturaciones hidráulicas y cuya potencia de calentamiento resulta, molécula por molécula, 20 veces superior a la del CO₂? En efecto, metano.

Para entender la idea, consideremos primero el proceso de captura y enterramiento, o «secuestro», de carbono. Fue pensar en tales objetivos lo que, junto con mis colaboradores, nos llevó a formular una propuesta aparentemente herética.

El secuestro de carbono consiste en atrapar el CO₂ allí donde se emite (lugares como las chimeneas de una central de combustibles fósiles) y apartarlo antes de que se incorpore a la atmósfera. «Almacenarlo» suena sencillo, pero el único depósito cercano y lo bastante grande como para albergar enormes cantidades de CO₂ es el subsuelo. Según los expertos, los poros de las rocas sedimentarias emplazadas en los kilómetros más superficiales de la corteza terrestre podrían acumular una cantidad de CO₂ equivalente a siglos de emisiones, al menos en teoría.

Almacenar el 15 por ciento de las emisiones de EE.UU. requeriría secuestrar una gigatonelada de CO₂ al año. La industria energética global extrae anualmente unas cuatro gigatoneladas de crudo y unas dos gigatoneladas de gas natural a partir de rocas sedimentarias. Dicha cifra sugiere que enterrar una gigatonelada de CO₂ comprimido debería resultar factible, si bien supondría un esfuerzo mayúsculo. Por supuesto, si otros cambios como mejorar la eficiencia energética o apostar por fuentes de energía alternativas se aplicasen a una escala similar, se reduciría en primer lugar el volumen de CO₂ generado.

El siguiente paso parece obvio: comenzar ya a adaptar las técnicas de producción de petróleo y gas para implementar el almacenamiento geológico de carbono. Por desgracia, esa estrategia ha de hacer frente a un inconveniente fundamental: con el tiempo, el CO₂ tendería a emerger de nuevo hacia la superficie a través de fisuras y poros. Para impedirlo, deberíamos disponer de un «sello» impermeable, un estrato rocoso con poros tan diminutos que el gas no pudiera atravesarlos.

La industria petrolera se beneficia de la existencia de tales flujos ascendentes. El petróleo y el gas de los yacimientos subsuperficiales llegaron a ellos desde rocas más profundas, a través de diversos conductos. A lo largo de su lento y prolongado ascenso, una fracción del fluido queda atrapado, pero gran parte de él prosigue su migración hasta la superficie. Durante los inicios de la industria petrolera, la mayoría de las compañías perforaban allí donde se observaban fugas superficiales.

Los estudios de plumas subterráneas de CO₂ llevados a cabo por varios científicos muestran una situación similar. Aunque numerosas estructuras geológicas impiden el paso del CO₂, siempre aparecen conductos que permiten su ascenso. Sin embargo, los ingenieros podrían sacar partido de una interesante peculiaridad del dióxido de carbono: aunque la mayoría de los líquidos se tornan menos densos cuando en ellos se disuelve un gas, al inyectar CO₂ en agua, la densidad aumenta. La mayor parte del líquido acuoso que descansa en las profundidades es salmuera

(agua muy salina), cuya densidad también se incrementa al incorporar CO₂. Por tanto, si el dióxido de carbono se almacenase de esa forma, el riesgo de ascenso desaparecería, ya que tendería a hundirse y aumentaría la seguridad de la captura.

ENERGÍA PARA CUBRIR LOS GASTOS

El problema reside en que, en las condiciones de temperatura y presión a las que suelen encontrarse las salmueras profundas, el CO₂ tarda mucho en disolverse por sí solo. De modo que, hace un tiempo, junto con Mac Burton, por entonces uno de mis estudiantes de doctorado, propusimos una idea radical: excavar un pozo hasta la salmuera, traerla a la superficie, presurizarla, inyectar CO₂ (que se disolvería rápidamente en un tanque de mezcla) y enviarla de regreso al subsuelo.

Pero semejante plan requeriría grandes cantidades de energía. Además, la salmuera puede retener relativamente poco CO₂ en peso, por lo que deberían extraerse cantidades enormes. Cualquiera de estos dos inconvenientes amenazaba con echar por tierra la idea.

El segundo problema no parecía tan desalentador. En las reservas petrolíferas, las compañías suelen excavar varios pozos equidistantes. A través de un conjunto de ellos se inyecta agua o salmuera, la cual presiona el petróleo profundo y fuerza su ascenso por las otras perforaciones de la explotación. Hoy en día, la industria inyecta en los yacimientos de combustibles fósiles unas 10 gigatoneladas anuales de salmuera, la mayoría extraída en el mismo lugar. Por tanto, debería resultar factible lograr el flujo de salmuera necesario para enterrar grandes volúmenes de CO₂. En un mismo punto de almacenamiento, una serie de pozos extraerían el fluido salino; al mismo tiempo, la salmuera con el CO₂ disuelto se inyectaría a través de otras perforaciones.

El primer inconveniente —el capital necesario para excavar los pozos y la energía requerida para mantenerlos en funcionamiento— se antojaba mucho más difícil de superar. La razón por la que la industria no se ha apresurado a capturar y almacenar el CO₂ obedece a la falta de incentivos económicos: en general, las emisiones no se gravan con sanciones o impuestos, y los argumentos de política ambiental basados en la necesidad de proteger el planeta o en cubrir el «coste total» del uso de combustibles fósiles (incluida la alteración del medioambiente) no han persuadido a nadie para imponer tales medidas. A primera vista, no parecía haber ningún mecanismo para financiar la inyección de CO₂ en salmuera.

No hace mucho, sin embargo, desde uno de los despachos de la Universidad de Texas en Austin muy próximo al mío, surgió una idea prometedora. Gary Pope, catedrático en ingeniería petrolífera que ha dedicado la mayor parte de su carrera a mejorar los métodos de extracción de crudo, reparó en la posibilidad de explotar un recurso oculto.

El golfo de México, al igual que otras regiones productoras de petróleo del mundo, alberga acuíferos salinos profundos ricos en metano disuelto. El metano es uno de los componentes principales del gas natural, por lo que puede emplearse como combustible o distribuirse con facilidad a lo largo de una red de gasoductos. Por tanto, una vez que la salmuera llegase a la superficie, podríamos extraer de ella el metano e inyectar CO₂. Incluso al bajo precio del gas natural, el beneficio obtenido gracias al metano y al calor geotérmico tal vez compensase los costes del secuestro de CO₂. El siguiente paso era estudiar si el proceso podía autofinanciarse. Junto con Pope, reclutamos a un estudiante de doctorado, Reza Ganjdanesh, para estudiar la cuestión.

En una perforación tradicional, la salmuera que asciende por un pozo de producción va perdiendo presión poco a poco y liberando una fracción del metano. Disolver CO₂ en la salmuera provoca la expulsión de más metano. Por otra parte, buena parte de los acuíferos de las costas de Texas y Luisiana emplazados a más de tres kilómetros de profundidad se hallan sometidos a altas presiones, por lo que se necesitaría poca energía, o ninguna en absoluto, para extraer la salmuera hasta la superficie.

Además, la elevada temperatura de los acuíferos permitiría emplear la salmuera como fuente de energía geotérmica. Según los cálculos de Ganjdanesh, el proceso combinado (la extracción de metano y agua caliente al tiempo que se inyecta CO₂) liberaría bastante más energía que la requerida para llevar a cabo la operación. Tal forma de almacenamiento geológico de carbono, con un balance de energía positivo, resultaría atractiva desde el punto de vista económico incluso en un mundo sin tasas sobre las emisiones de carbono.

PERFORAR LA PIRÁMIDE

Nuestra propuesta también puede verse como un método para extraer combustible. Según un dicho popular en la industria de combustibles fósiles, el petróleo fácil está acabado. Y el gas fácil también. Las compañías han perforado durante décadas los yacimientos de petróleo y gas más accesibles, concentrados y fáciles de explotar, en los que el combustible ascendía sin problemas hacia la superficie. Pero, a medida que dichas reservas se han ido agotando, las empresas han comenzado a descender peldaños en la «pirámide de recursos», dirigiendo su interés hacia combustibles fósiles menos accesibles.

Entre los últimos tres y cinco años, la producción estadounidense de petróleo y gas ha aumentado gracias a la fracturación hidráulica de lutitas profundas. Pero extraer cualquier material a partir de dichas rocas supone una tarea lenta y ardua. Además, tanto el petróleo como el gas se encuentran en concentraciones mucho menores. Con todo, la fracturación hidráulica constituye el siguiente paso lógico en el descenso de la pirámide, pues aunque la demanda de combustible continúa creciendo, el número de reservas fáciles de explotar disminuye.

Pero la pirámide de recursos presenta una característica tentadora: por regla general, la cantidad de reservas aumenta cuanto más difícil resulta extraerlas. Solo el volumen de gas natural atrapado en lutitas ya lo convierte en un objetivo atractivo, por más que su extracción implique un proceso menos eficiente que la explotación tradicional.

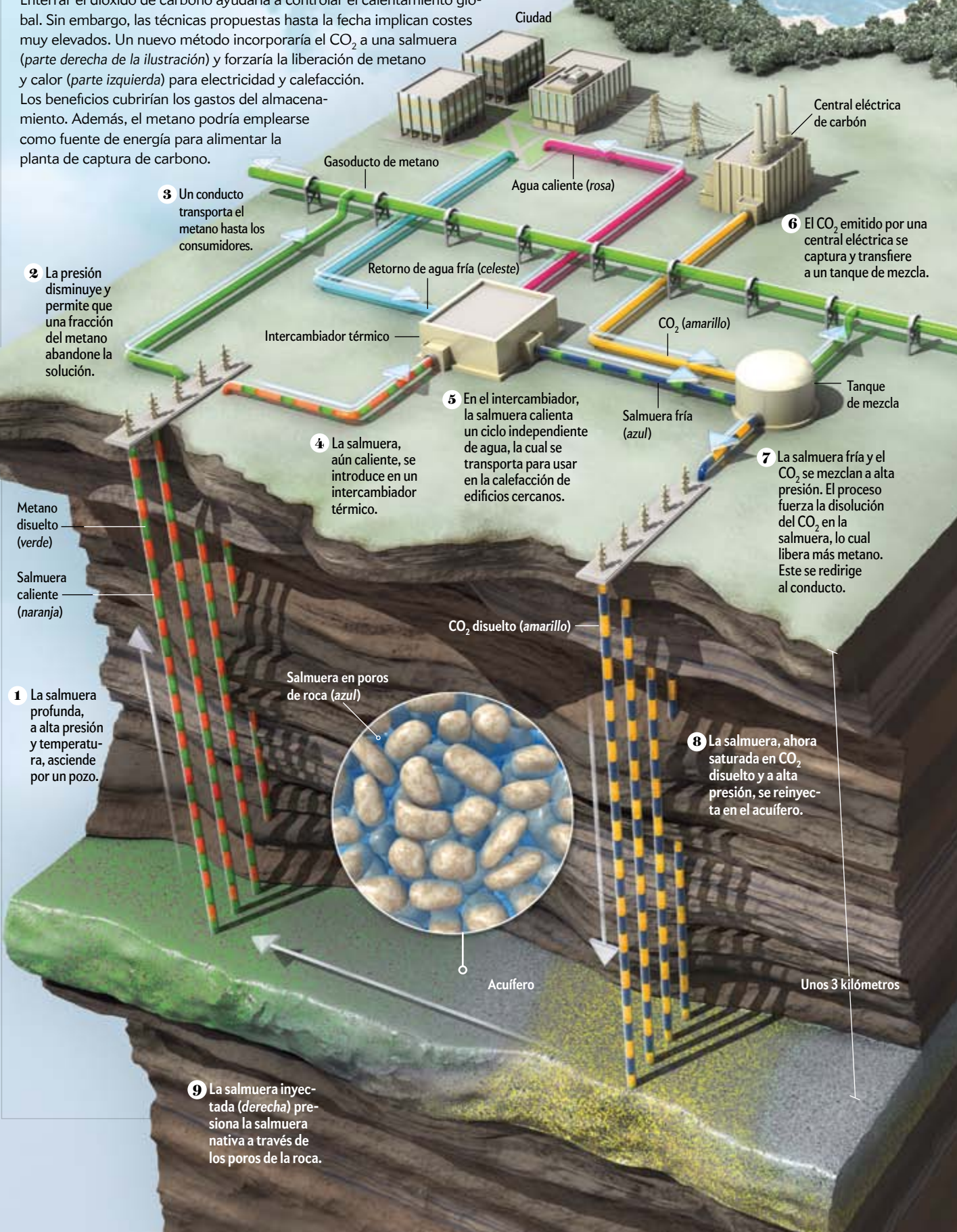
Tras el gas de lutitas, el siguiente peldaño en la pirámide de recursos sería el metano disuelto en yacimientos de salmueras. Si bien este combustible se encuentra cinco veces menos concentrado que en las lutitas, la cantidad total disponible resulta asombrosa. Según las estimaciones realizadas para el golfo de México, su volumen oscilaría entre varias decenas y algunas centenas de billones de metros cúbicos (Tm³). Como referencia, el consumo estadounidense de gas natural durante la última década ha oscilado entre 0,56 y 0,7 Tm³.

A la vista de semejantes reservas, durante los años setenta y ochenta, el Departamento de Energía (DOE) estadounidense excavó varios pozos a fin de sondear los depósitos profundos de salmuera. Si bien esta logró extraerse, la producción de metano a partir de agua salina no podía competir en términos económicos con otras fuentes.

Aún hoy, la extracción de metano a partir de salmuera sigue sin poder pugnar en el mercado. Sin embargo, su otro gran beneficio potencial —la producción de energía geotérmica— tal

Eliminar CO₂ y obtener energía

Enterrar el dióxido de carbono ayudaría a controlar el calentamiento global. Sin embargo, las técnicas propuestas hasta la fecha implican costes muy elevados. Un nuevo método incorporaría el CO₂ a una salmuera (parte derecha de la ilustración) y forzaría la liberación de metano y calor (parte izquierda) para electricidad y calefacción. Los beneficios cubrirían los gastos del almacenamiento. Además, el metano podría emplearse como fuente de energía para alimentar la planta de captura de carbono.



2 La presión disminuye y permite que una fracción del metano abandone la solución.

3 Un conducto transporta el metano hasta los consumidores.

4 La salmuera, aún caliente, se introduce en un intercambiador térmico.

5 En el intercambiador, la salmuera calienta un ciclo independiente de agua, la cual se transporta para usar en la calefacción de edificios cercanos.

6 El CO₂ emitido por una central eléctrica se captura y transfiere a un tanque de mezcla.

7 La salmuera fría y el CO₂ se mezclan a alta presión. El proceso fuerza la disolución del CO₂ en la salmuera, lo cual libera más metano. Este se redirige al conducto.

1 La salmuera profunda, a alta presión y temperatura, asciende por un pozo.

8 La salmuera, ahora saturada en CO₂ disuelto y a alta presión, se reinyecta en el acuífero.

9 La salmuera inyectada (derecha) presiona la salmuera nativa a través de los poros de la roca.

Metano disuelto (verde)

Salmuera caliente (naranja)

Salmuera en poros de roca (azul)

CO₂ disuelto (amarillo)

Acuífero

Unos 3 kilómetros



vez modificase la ecuación. Medido en escalas de tiempo humanas, el calor del interior de la Tierra proporciona una fuente de energía indefinida. Al igual que otros recursos del subsuelo, su explotación requiere el empleo de pozos de extracción e inyección, una técnica disponible y bien conocida. Si la producción de energía geotérmica a partir de salmuera no ha penetrado más en el mercado, se debe a que la densidad energética del agua caliente resulta unos dos órdenes de magnitud menor que la que se obtiene a partir de la combustión del mismo volumen de carbón, petróleo o gas.

Esa valoración tan pesimista se refiere al aprovechamiento de la energía geotérmica para generar electricidad. Sin embargo, según un informe reciente del DOE, cerca del 10 por ciento del consumo energético estadounidense se destina a la calefacción y refrigeración de edificios y al agua caliente doméstica. Para ello, los 1200 grados Celsius de la llama de un calentador de gas resultan a todas luces excesivos. La energía geotérmica puede bastar para aplicaciones de baja intensidad, como el aire y el agua calientes. Desde hace años, las bombas geotérmicas han venido cumpliendo ese cometido con éxito en multitud de hogares europeos.

TRES EN UNO

Ni el enterramiento de CO₂ ni la extracción de salmuera para obtener metano o para aprovechar su energía geotérmica constituyen, por sí mismos, procesos económicamente viables. Pero la combinación de todos ellos comienza a parecerse a una banqueta con tres patas, en la que cada una garantiza la estabilidad de las otras dos. Con todo, la gran pregunta es si un sistema semejante podría secuestrar una cantidad de CO₂ suficientemente elevada para lograr una reducción apreciable del carbono acumulado en la atmósfera, tanto a una escala local como internacional.

En fecha reciente hemos realizado algunos cálculos relativos a la costa del Golfo. La región que alberga numerosas centrales de combustibles fósiles y varias industrias generadoras de grandes volúmenes de CO₂. Si se deseara mermar aún más las emisiones, el CO₂ podría también transportarse desde zonas distantes. El capital necesario para construir los gasoductos sería elevado, pero los costes de operación resultarían modestos.

En ese aspecto, la escala del proyecto se antoja viable. En la década de los ochenta se construyeron más de 3400 kilómetros de gasoductos cerca de la cuenca pérmica del oeste de Texas. Su objetivo consistía en transportar el CO₂ desde yacimientos naturales profundos hasta campos de petróleo, donde se utilizaba para facilitar la extracción de crudo. La costa presenta enormes yacimientos profundos de salmuera y cuenta con una extensa infraestructura de gasoductos que abastecen al resto del país. Además, se trata de una región muy poblada, lo que posibilitaría la explotación local de la energía geotérmica.

Almacenar una gigatonelada de CO₂ al año (el equivalente a una sexta parte de la tasa de emisiones de EE.UU.) implicaría inyectar y extraer unos 400 millones de barriles de salmuera al día. Se trata de un volumen considerable, pero podría lograrse con unos 100.000 pozos. En comparación, en Texas, se han efectuado ya más de un millón de perforaciones para buscar petróleo y gas. La excavación de semejante cantidad de pozos llevaría décadas; sin embargo, cualquier otro método capaz de reducir una gigatonelada de emisiones de CO₂ al año requeriría un tiempo de construcción similar. Una manera de lograrlo, por ejemplo, sería reemplazar 200 de los gigavatios que hoy se generan en centrales de carbón estadounidenses por energía

nuclear. Pero para ello deberían construirse unos 200 reactores de gran tamaño, lo que también llevaría décadas.

En este caso, sin embargo, la tasa de generación de energía permitiría además financiar la técnica. Almacenar una gigatonelada de CO₂ produciría unos 0,1 Tm³ de gas natural al año, cerca de una sexta parte del consumo estadounidense actual. En 2012, el país extrajo unos 0,25 Tm³ de gas natural a partir de lutitas, por un valor de unos 25.000 millones de dólares.

La obtención de energía geotérmica también alcanzaría cotas notables. Si el calor se utilizara para suministrar aire y agua calientes (y si se aprovechara en intercambiadores de calor que transformasen el aire caliente en frío para aire acondicionado), la potencia generada equivaldría a la obtenida a partir del metano: unos 200 gigavatios. Desconocemos si existiría tanta demanda a lo largo de la costa del Golfo, aunque numerosas plantas petroquímicas de la región, así como las unidades de captura de carbono que se construirían, podrían consumir una buena parte. Como alternativa, si la energía geotérmica se convirtiese en electricidad con un 10 por ciento de eficiencia —lo habitual en otras zonas—, se producirían unos 20 gigavatios de electricidad, una cantidad nada despreciable. La capacidad eólica de EE.UU., por ejemplo, suma unos 50 gigavatios.

Nuestro sistema parece presentar unos índices de producción lo bastante elevados como para contribuir a una reducción de emisiones a gran escala. A un ritmo de almacenamiento de una gigatonelada al año, en un siglo se secuestrarían 100 gigatoneladas de CO₂ y se producirían unos 10 Tm³ de metano, menos de una décima parte de la cantidad que se cree contenida en los acuíferos profundos de la costa del Golfo. Por tanto, el método ofrece un amplio margen tanto para almacenar CO₂ como para suministrar metano.

Si ese metano se quemara en centrales eléctricas, aun sin capturar el CO₂ que liberara su combustión, la disminución neta de las emisiones de CO₂ equivaldría a 80 gigatoneladas en un siglo de funcionamiento. Se trataría, por tanto, de una reducción sustancial. Según los cálculos de la Unión de Científicos Preocupados (UCS), para que la concentración global de CO₂ atmosférico no supere las 450 partes por millón (el valor que suele considerarse límite para que el calentamiento no exceda los dos grados Celsius), EE.UU. y otros países industrializados deberían reducir sus emisiones hasta alcanzar, en 2050, en torno al 25 por ciento de los niveles del año 2000. Para ello, EE.UU. debería evitar la emisión de unas 150 gigatoneladas de CO₂ de aquí a 2050. Incluso si la captura con salmuera tardase 20 años en alcanzar una tasa de secuestro de una gigatonelada al año, aún podría dar cuenta del 15 por ciento de la reducción total que necesita el país.

Por supuesto, los pozos y las centrales de inyección de salmuera deberían construirse y mantenerse en funcionamiento con sumo cuidado, a fin de evitar fugas de metano a la atmósfera. Las perforaciones se asemejarían a los pozos costeros tradicionales de extracción de petróleo y gas, una técnica veterana. La Agencia de Protección Ambiental estadounidense cuenta con un sólido programa destinado a detectar las emisiones y su procedencia. Por otro lado, la industria no querrá perder la oportunidad de vender un producto con valor comercial. El procesado de la salmuera, del metano y del CO₂ no resultaría mucho más complejo que las operaciones realizadas en las centrales petroquímicas al uso. Por último, dado que en los yacimientos profundos solo se transferirían líquidos, tanto la perforación como la gestión de los pozos se asemejarían en gran medida a la extracción tradicional de petróleo. Adoptar dicho proceso

evitaría los problemas asociados a la fracturación hidráulica de pizarras, la cual requiere inyectar en el subsuelo grandes volúmenes de agua dulce cargada de productos químicos, que luego debe desecharse de forma segura [véase «Los inconvenientes de la fracturación hidráulica», por Chris Mooney; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, enero de 2012].

Además, las posibilidades de inducir actividad sísmica serían extremadamente reducidas. Las últimas investigaciones revelan que la adición neta de grandes volúmenes de líquido en determinadas formaciones geológicas (una operación empleada en ocasiones para eliminar aguas residuales) puede acentuar el riesgo sísmico. Sin embargo, la explotación de salmuera tendría lugar como parte de un ciclo cerrado, ya que el fluido salino inyectado se habría extraído previamente de la misma formación rocosa. Por tanto, la presión media de la formación se mantendría constante.

Sin duda, levantar semejante sistema de explotación conllevaría un elevado coste que tal vez repercutiese en la factura de los consumidores. Pero lo mismo ocurriría con cualquier otra estrategia capaz de reducir de manera notable las emisiones de carbono, tanto si hablamos de construir miles de granjas solares y eólicas, como de reemplazar centrales de carbón por 200 nuevos reactores nucleares.

PRIMEROS PASOS

Tras realizar un gran número de cálculos, podemos decir que nuestro sistema de captura con salmuera parece funcionar sobre el papel. Las instalaciones de prueba desempeñarán una función decisiva a la hora de determinar si el método podrá llevarse a la práctica. Varios investigadores de los Laboratorios Sandia, el Laboratorio Nacional Lawrence en Livermore y la Universidad de Edimburgo están diseñando métodos para inyectar CO₂

en salmuera y extraer energía de manera eficiente. Al mismo tiempo, dos compañías que prefieren permanecer en el anonimato están contemplando la posibilidad de construir centrales piloto en la costa del Golfo. Adquirir experiencia hoy constituiría un prudente ejercicio. Si el mundo alberga alguna esperanza de limitar el calentamiento global, las emisiones de CO₂ deberían comenzar a reducirse de inmediato.

La costa del Golfo en Estados Unidos ofrece un emplazamiento óptimo para llevar a cabo el secuestro de carbono con salmuera. No obstante, las emisiones representan un problema de dimensiones globales. Desconocemos en qué otras ubicaciones podría aplicarse este proyecto, pero el elemento clave es la salmuera rica en metano, cuya existencia puede esperarse allí donde hay hidrocarburos. China y Rusia, países con emisiones crecientes de carbono y extensas cuencas de petróleo y gas, podrían ser buenas zonas en las que comenzar a explorar.

PARA SABER MÁS

Eliminating buoyant migration of sequestered CO₂ through surface dissolution: Implementation costs and technical challenges. McMillan Burton y Steven L. Bryant en *SPE Reservoir Evaluation & Engineering*, vol. 12, n.º 3, págs. 399-407, junio de 2009.

Coupled CO₂ sequestration and energy production from geopressured-geothermal aquifers. Reza Ganjandeh et al. Presentado en el Congreso de Técnicas de Gestión de Carbono; Orlando, Florida, 7-9 de febrero de 2012.

Regional evaluation of brine management for geologic carbon sequestration. Hanna M. Breunig et al. en *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 14, págs. 39-48, mayo de 2013.

EN NUESTRO ARCHIVO

¿Qué hacer con el carbón? David G. Hawkins, Daniel A. Lashof y Robert H. Williams en *IyC*, noviembre de 2006 (número monográfico sobre energía).

LOS EJEMPLARES DE INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

FORMAN VOLÚMENES
DE INTERÉS PERMANENTE



Para que pueda conservar y consultar mejor la revista, ponemos a su disposición tapas para encuadernar sus ejemplares.

Ya disponibles
las tapas del año 2013

Para efectuar su pedido:

☎ 934 143 344

✉ administracion@investigacionyciencia.es

🌐 www.investigacionyciencia.es

