



IDEAS PARA EL DEBATE

HACIA UNA ENERGÍA Y MATERIALES SOSTENIBLES





La Dra. Ah-Hyung (Alissa) Park del Centro Lenfest de Energía Sostenible, Departamento de Ingeniería Ambiental y de la Tierra y Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Columbia, Nueva York, EE.UU, participó como ponente en la jornada organizada conjuntamente por la Fundación Ramón Areces y Springer Nature titulada *Captura de CO₂ atmosférico: tecnologías para un futuro sostenible*. En su conferencia explicó el significado de la captura y almacenamiento de carbono, poniendo énfasis en su relevancia y en la necesidad de adoptar medidas que se prolonguen en el tiempo, incluso hasta el próximo siglo. Para la Dra. Ah-Hyung (Alissa) Park, sin duda, este es el problema mundial más importante en la actualidad.

Ah-Hyung (Alissa) Park
Universidad de Columbia,
Nueva York

En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre "Cambio Climático" de 2015 se consensuó que este era un gran problema y que era indispensable trabajar para solucionarlo, lo que llevó a la introducción de una serie de medidas. Sin embargo, aún tenemos que lidiar con desafíos muy diversos. Esta reunión de 2015 fue la primera en la que países de todo el mundo se asociaron para plantear la necesidad, no solo de implementar tecnologías ya existentes, sino también de movernos hacia un futuro sostenible y desarrollar opciones eficaces de ingeniería y de nuevos desarrollos científicos multidisciplinarios.

A lo largo de la historia se ha emitido, y se sigue emitiendo, tanto CO₂ que tenemos que empezar a gestionar activamente el carbono al mismo tiempo que trabajamos en otras tecnologías.

En esta conferencia se estableció la necesidad de acelerar la revolución de las energías limpias y se fijaron una serie de ámbitos (ocho, en concreto) en los que había que hacer un especial hincapié y esfuerzo. Algunas de las áreas son, por ejemplo, los biocombustibles sostenibles, el hidrógeno o la captura, utilización y almacenamiento de carbono. Estas áreas no son independientes entre sí, sino que están interconectadas, por lo que es preciso un abordaje holístico en lugar de centrarnos en una sola solución.

Energy Earthshots

En EE.UU. se ha cambiado de dirección y ya el año pasado, en 2021, el Secretario de Energía puso de relieve que estamos muy comprometidos en la lucha contra el cambio climático, pero que sin recursos y sin apoyo no podemos alcanzar nuestros objetivos. Esto llevó a la creación de la iniciativa "Energy Earthshots" para acelerar el progreso hacia una economía de coste energético cero.

El primer paso en esta iniciativa es cambiar la economía con vistas al año 2050. En este sentido, como primera medida se quiere reducir el coste del hidrógeno limpio en un 80% hasta alcanzar un precio de 1 dólar/kg de hidrógeno en una década; sin duda, se trata de un objetivo realmente ambicioso.

El segundo objetivo tiene relación con el *earthshot* de carbono negativo. Se debe aumentar drásticamente la responsabilidad en la eliminación de dióxido de carbono (CO₂), así como reducir los costes de la tecnología imprescindible para generar energía limpia. Se pretende lograr que el precio sea inferior a los 100 dólares por tonelada de CO₂ neto para el año 2050, incluyendo en esta meta la captura, utilización y almacenamiento de carbono. Sin duda, otro objetivo muy ambicioso, ya que se pretende lograr cero emisiones netas de CO₂ para 2050.

No cabe duda de que cada vez hay más interés, trabajo y capital invertido en este proceso en EE.UU., en espera de contar con más colaboración internacional con el paso del tiempo para la consecución de este propósito.

Tecnologías de captura, utilización y almacenamiento de carbono

La captura de carbono es un proceso beneficioso que se puede realizar a diversos niveles de concentración y mediante diferentes métodos. Muchos de los materiales utilizados en estos procesos están diseñados para que sean reciclables en sí mismos, ya que al desarrollar estas nuevas tecnologías es importante utilizar componentes que se puedan reutilizar miles de veces.

La captura de material de carbono va a exigir también energía que permita volver a liberar ese CO₂ cuando sea necesario. Partiendo de esta necesidad, se han evaluado diferentes

opciones para no utilizar demasiada energía durante la captura. Se han estudiado diversas reacciones que tienen lugar a gran velocidad (a mayor velocidad, mayor gasto de energía). También se han estudiado las soluciones aminadas, que al ser disolventes líquidos pueden moverse entre los reactores.

A través de demostraciones prácticas a gran escala, como el proyecto Petra Nova, apoyado por el National Energy Technology Laboratory de EE.UU. (NETL), se ha comprobado que es posible aplicar estas soluciones aminadas con éxito. Con el proyecto Petra (iniciado a finales de 2016 en Houston, Texas), se capturaron más de un millón de toneladas de CO₂. Hubo desafíos difíciles de superar, sobre todo por la cantidad tan enorme de carbono que había que capturar y porque los materiales utilizados se degradaban con el tiempo. Pero cada día seguimos aprendiendo sobre este proceso y trabajando en nuevos proyectos.

Una pregunta que nos planteamos es qué hacer con la inmensa cantidad de CO₂, una vez que se capture, ya que hay que intentar gestionarla de alguna manera, quizás almacenando el carbono en formaciones geológicas o incluso en los océanos. En este sentido, ya se han encontrado bolsas de almacenamiento bajo tierra donde colocar y almacenar el carbono después de su captura.

Tal y como se reflejaba en un informe de 2005 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, donde se ofrecía una visión general de las opciones de almacenamiento geológico, el almacenamiento de CO₂ en formaciones geológicas profundas en el mar o en la tierra utiliza muchas de las tecnologías desarrolladas por la industria petrolera y del gas, y ha demostrado ser económicamente viable en condiciones específicas para los yacimientos de petróleo, gas y las formaciones salinas, aunque no todavía para el almacenamiento

en capas de carbón inexplotables.

Para inyectar este carbono de forma eficiente en estas bolsas subterráneas normalmente hay que aumentar la presión hasta 250 atmósferas sobre el carbono. Existen diferentes maneras de depositar el carbono en estas bolsas subterráneas. Inicialmente, el carbono queda atrapado bajo la roca, pero luego empieza a penetrar en los poros de la propia tierra y, finalmente, se forman unos reservorios de captura y almacenamiento de carbono.

Una de las rutas que se pueden utilizar para acceder al interior de la superficie terrestre es mediante la conversión del carbono en dióxido de carbono, con el desarrollo de reacciones entre los materiales utilizados. En este proceso pueden surgir problemas, como la fuga de carbono, de modo que en este caso solidificar el carbono sería una solución, aunque a día de hoy ignoramos cuánto tiempo se precisa para la formación de estas estructuras.

Una de las iniciativas de investigación más interesantes en este ámbito ha sido la que recientemente se ha llevado a cabo en Islandia. Se trata de un proyecto en el que se inyectaron 220 toneladas de dióxido de carbono en reservorios rocosos y de sal, a cientos de metros bajo tierra, confirmándose que el carbono empezaba a solidificar precozmente, formando cristales de carbono sólido.

En definitiva, este estudio ha confirmado, por vez primera, la eliminación permanente de CO₂, documentándose que más del 95% del CO₂ inyectado en el sitio de CarbFix en Islandia se transformó en minerales de carbonato en menos de dos años.

El almacenamiento seguro a largo plazo de las emisiones antropogénicas de CO₂, a través de la mineralización, puede ser mucho más rápido de lo que se creía anteriormente.

De lo que no cabe duda es de que el reciclaje de CO₂ necesita grandes mercados para tener un impacto significativo en el clima. Según cálculos recientes, el potencial para el año 2030 de almacenamiento de carbono en estas formaciones sería de 36.000 millones de toneladas o incluso más.

Economía circular de carbono

Otra pregunta que surge es si es posible descarbonizar los materiales sólidos y, por ahora, parece que la respuesta es negativa. También deberíamos plantearnos si podemos reconstruir ecosistemas industriales completos, fabricando productos químicos y materiales que no incluyan carbonos fósiles.

Sabemos que nuestra sociedad necesita productos químicos, tanto materiales como combustibles; por otro lado, queremos y necesitamos también sostener y mantener nuestro estilo de vida, lo que inevitablemente genera desechos que van al aire, al agua o a otros muchos y diversos lugares.

Podemos construir el mundo con agua, CO₂ y energía con cero emisiones de carbono.

Para que se haga realidad, es necesario que generemos posibilidades tecnológicas que puedan comercializarse de manera eficaz (Figura 1).

Esto no será posible sin disponer de unas buenas políticas económicas y de gestión. Una gran parte de estos materiales químicos y combustibles se transportarán de un país a otro y estarán presentes en todo el planeta; el desafío es, por tanto, muy ambicioso. Además, resulta fundamental determinar de dónde se va a sacar el carbono y cómo atraparlo, ya que, por ahora, no es posible prescindir completamente de él.

Cada una de las rutas planteadas presenta tanto desafíos como oportunidades. Una de las opciones que se están evaluando es la captura directa de CO₂ del aire, una alternativa especialmente interesante porque se trataría de emular un proceso similar al que efectúan las plantas, pero de forma artificial. En el proyecto Petra Nova, por ejemplo, hay instalaciones enormes que se pueden utilizar para este fin.

Cada vez se está avanzando más en instalaciones modulables y escalables que permiten reducir el volumen de los equipos necesarios para hacer efectiva la captura directa de carbono del aire. Esta captura directa en pequeñas cantidades es muy diferente a la que se realiza para capturar este elemento en otros medios; y, en este caso, se advierten importantes obstáculos y dificultades, entre los que se encuentran:

- a) La necesidad de tener una baja caída de presión. El CO₂ en el aire se encuentra a una concentración de 400 ppm (partes por millón), que es muy baja en comparación con su concentración en otras localizaciones; esto hace que su captura sea muy compleja por la cantidad y por los problemas de presión: el aire debe someterse a presión para poder capturar el carbono.
- b) La necesidad de ser estable bajo una alta concentración de O₂ en el aire, lo que provoca oxidación y degradación.
- c) Los niveles de humedad fluctuantes y los cambios en las condiciones medioambientales, además de otros contaminantes e impurezas (incluidas en las partículas del aire) que pueden interferir con el proceso.

En este ámbito de la captura directa de CO₂ del aire se han propuesto diferentes procesos y recursos, como nuevos disolventes de captura de CO₂ pobres en agua y sin agua. Algunos de los materiales con los que ahora se trabaja son los llamados "materiales híbridos orgánicos de nano-partículas" (NOHM, Nanoparticle

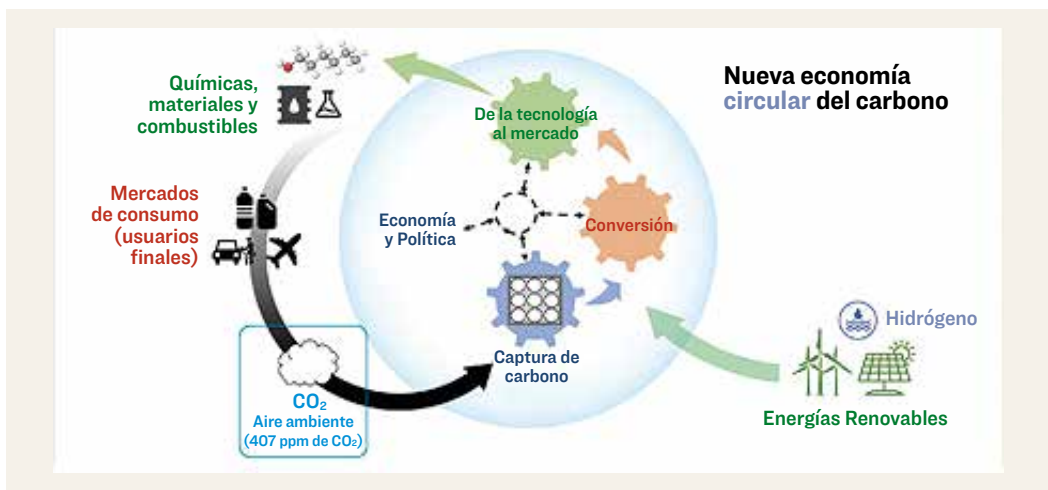


Figura 1. Nueva economía circular del carbono.

Organic Hybrid Materials). Se trata de unas partículas que se pueden dejar al aire libre durante días, semanas o meses, y siguen captando CO₂, a diferencia de otros materiales que, si se dejan fuera, se evaporan, desaparecen o se degradan.

Los NOHM son útiles para capturar CO₂, pero es preciso diseñar y sintetizar NOHM que permitan realizar esta acción de forma más efectiva. Estos materiales tienen propiedades realmente muy singulares, y el reto en este sentido es dar un paso más y progresar en el proceso de captura de CO₂. Es posible que se pueda hacer utilizando materiales basados en aminas, pero el principal obstáculo que debemos salvar es que estamos trabajando en el aire y es difícil desplazar los materiales de un lugar a otro.

Los investigadores han empezado a plantear nuevos escenarios y posibilidades con el fin de idear una manera más eficaz de mover estos materiales para capturar CO₂ a diferentes niveles, sin que haya problemas de transporte, con el fin añadido de mejorar el propio proceso de transporte para hacer frente a los problemas de viscosidad.

Hay diferentes maneras de hacerlo, y una de

las más prometedoras es la encapsulación mediante disolventes encapsulados con diferentes espesores de capa. En nuestro centro hemos desarrollado una solución de alto grado de viscosidad en la que se pueden crear microcápsulas que contienen NOHM, con la parte externa de fibra (como la usada en otros equipos industriales). Una vez encapsulados los NOHM, el nivel de absorción de CO₂ aumenta en comparación con los NOHM puros, lo cual permite capturar más CO₂ con menor superficie. Además, se está trabajando en el desarrollo de nuevos métodos de encapsulación, sobre todo, para tratar de evitar la caída de presión. De ahí surgió la posibilidad de utilizar materiales de captura de CO₂ encapsulados en fibra. Nuestros últimos resultados han sido fibras mejoradas que nos han permitido capturar dióxido de carbono desde el aire de una forma más eficaz y rápida.

Captura y conversión combinadas de CO₂

Una vez capturado el CO₂ nos planteamos qué hacer con él para almacenarlo de forma eficaz. A nivel industrial, además, se está investigando en qué se puede convertir el CO₂ capturado, para no solo capturar y distribuir este CO₂, sino también construir, desarrollar y fabricar muchas cosas.

Entre las líneas de investigación en marcha, también se está estudiando si, quizás, no es tan necesario alcanzar un gran nivel de pureza de CO₂ para fabricar diferentes productos. Este aspecto es ciertamente relevante, ya que el proceso de captura de CO₂ tiene un coste muy elevado y cualquier avance en este sentido ayudaría a optimizar el resultado económico de las operaciones y procesos que se realizan.

A la hora de desarrollar nuevos materiales, no solo hay que tener en cuenta si se utiliza energía renovable para su generación, sino también hay que estudiar la sostenibilidad del resto de compuestos implicados en su fabricación. Para que todo el proceso sea sostenible o incluso neutral en términos de carbono, debemos asegurarnos de que el reactor o reactivo (hidrógeno, normalmente) sea también sostenible. Hay que asegurarse de que la energía requerida provenga de fuentes de energía libres de carbono.

Como ejemplo práctico, cabe destacar lo que se está haciendo actualmente para capturar carbono en industrias como la del cemento o la del acero. Se captura CO₂ en esas industrias y luego se transporta mediante sistemas de conversión térmica para desarrollar materiales y productos químicos que necesitamos.

Las rutas de conversión de CO₂ no son sencillas, pero la cuestión es bastante interesante por la diversidad de materiales que pueden ser convertidos o transformados (la ceniza volátil de las industrias, los restos y la escoria del acero, los barros de desechos de diversas industrias, etc.). Estos desechos pueden ser sólidos o gaseosos, y aplicando reacciones ácido-base se pueden crear nuevos materiales que se vendan en el mercado con estos gases invernadero o desechos, que se erigen en buenos recursos alternativos para, por ejemplo, desarrollar productos de papel, de plástico e, incluso, recuperar también algunos elementos críticos de todos estos materiales.

Conclusiones

» Para alcanzar una nueva economía circular del carbono necesitamos considerar todas las fuentes de CO₂ y las múltiples soluciones que tenemos a nuestro alcance para resolver el problema que estas implican.

» La conversión y la utilización de CO₂ desempeñarán un papel muy importante (y diferente) al permitir que la energía renovable sea cada día más económica.

» Para garantizar la sostenibilidad global del proceso tenemos que centrarnos en los sistemas de ingeniería y separación de reactivos, así como en sus fases de intensificación.

» Asimismo, hemos de desarrollar nuevas rutas para productos químicos ya existentes o para nuevos productos, teniendo siempre muy en cuenta la protección del medio ambiente.

Referencias bibliográficas

1. Biniak K, Henderson K, Rogers M, et al. McKinsey Quarterly. Driving CO₂ emissions to zero (and beyond) with carbon capture, use, and storage. June 2020. Disponible en: <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/driving-co2-emissions-to-zero-and-beyond-with-carbon-capture-use-and-storage>.
2. Matter JM, Stute M, Snxbjörnsdóttir SO, et al. Rapid carbon mineralization for permanent disposal of anthropogenic carbon dioxide emissions. *Science*. 2016;352(6291):1312-4.
3. Metz B, Davidson O, Coninck H, et al. IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage (Cambridge Univ. Press, New York, 2005). Cambridge University Press, UK; 2005:431.
4. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2019. Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda. Washington, DC: The National Academies Press. Disponible en: <https://doi.org/10.17226/25259>.
5. Petit C, Park Y, Andrew Lin KY, et al. Spectroscopic investigation of the canopy configurations in nanoparticle organic hybrid materials of various grafting densities during CO₂ capture. *J Phys Chem C*. 2012;116(1):516-25.
6. Petit C, Park Y, Andrew Lin KY, et al. Investigation of CO₂ capture mechanisms of liquid-like nanoparticle organic hybrid materials via structural characterization. *Phys Chem Chem Phys*. 2011;13:18115-22.