

## MATERIALES ADSORBENTES DE CO<sub>2</sub> A PARTIR DE SUB-PRODUCTOS INDUSTRIALES

AMELIA JIMÉNEZ ALCÁNTARA,  
VANESSA HERNÁNDEZ TAPIA  
Y BRENDA CECILIA ALCÁNTAR VÁZQUEZ

Como resultado de las emisiones antropogénicas a la atmósfera relacionadas principalmente con la generación de energía (25%) y otras actividades industriales (21%), los gases de efecto invernadero continúan acumulándose en la atmósfera a un ritmo acelerado con impactos negativos sobre el medio ambiente y la salud. Dentro de los gases de efecto invernadero, el CO<sub>2</sub> es uno de los más abundantes, con aproximadamente

65% de las emisiones; la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico actualmente es de 414 ppm<sup>[1]</sup>. México ocupa el lugar número 12 a nivel mundial y el primer lugar en América Latina en emisiones de dióxido de carbono. Para contribuir con la reducción de estas emisiones, se han implementado algunas tecnologías para la captura, almacenamiento y utilización de CO<sub>2</sub> (CCUS, por sus siglas en inglés). Las CCUS (Figura 1) son una serie de prácticas disponibles para mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub> proveniente de fuentes fijas, tales como plantas de producción de energía, fabricación de acero y cemento. La etapa de captura o separación del CO<sub>2</sub> se puede llevar a cabo mediante absorción con aminas, destilación criogénica, separación con membranas y adsorción con sólidos. La adsorción con sólidos es una alternativa prometedora para la captura de CO<sub>2</sub>, ya que los materiales adsorbentes pueden reutilizarse, son de fácil manipulación, existe una amplia variedad de adsorbentes disponibles para diferentes temperaturas de operación y presentan altas capacidades de captura de CO<sub>2</sub>.

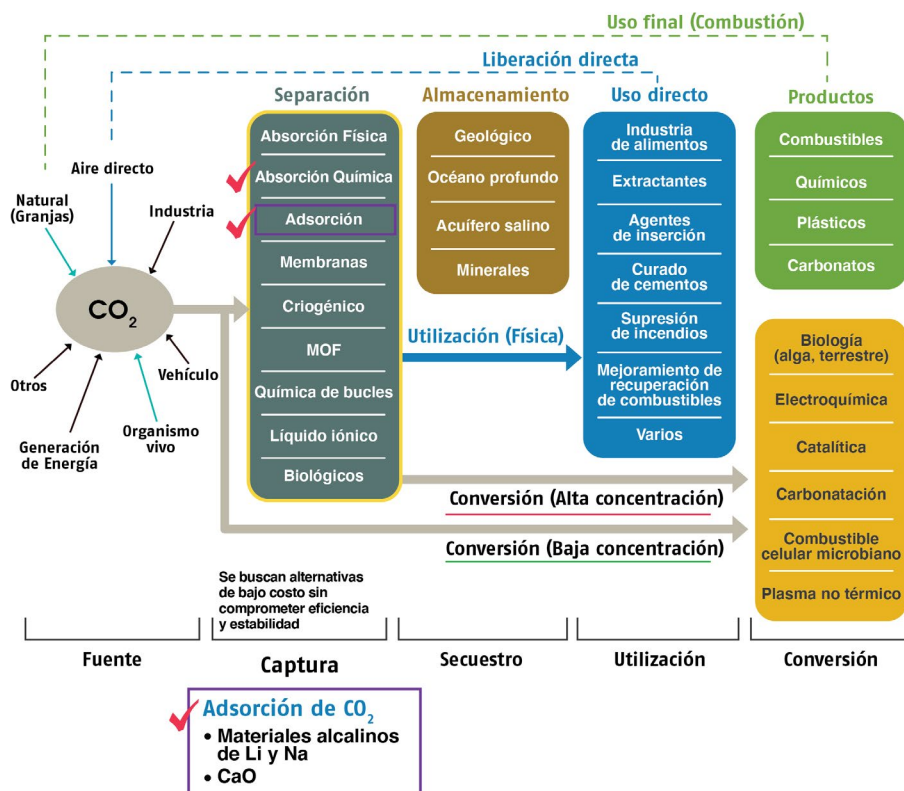


Figura 1. Captura, almacenamiento y utilización/conversión del CO<sub>2</sub>. Adaptado de <sup>[2]</sup>

Dentro de los materiales adsorbentes, el óxido de calcio y los cerámicos alcalinos son los que presentan mejores propiedades de captura de  $\text{CO}_2$  a elevadas temperaturas. Los cerámicos alcalinos se definen como un óxido de metal binario, donde al menos uno de los metales es un elemento alcalino como Li, K y Na; entre los que destacan zirconatos, silicatos, cupratos, titanatos, cobaltatos, aluminatos y ferritas de litio y sodio; para los que el grado de adsorción de  $\text{CO}_2$  está influenciado por factores como la temperatura, presión, concentración de  $\text{CO}_2$  en la corriente gaseosa, tamaño de partícula, estructura cristalina y transiciones de fase estructurales durante la síntesis del cerámico. Estos materiales poseen una alta selectividad al  $\text{CO}_2$  a elevadas temperaturas, cinética adecuada de adsorción-desorción, buenas propiedades de regeneración y alta estabilidad térmica y mecánica. Por lo que buscar alternativas de bajo costo para su síntesis, sin comprometer su eficiencia y estabilidad, es el objetivo del presente trabajo.

Bajo este escenario, utilizar residuos y/o sub-productos industriales para la síntesis de estos materiales ofrece ventajas como abundancia, disponibilidad y bajo costo. En el grupo de trabajo se han utilizado como materia prima escorias metalúrgicas de hierro, acero, cobre y sílice, obtenidas de la planta geotérmica de Cerro Prieto en Baja California, por su alto contenido en calcio, hierro y sílice.

#### Ortosilicato de litio, $\text{Li}_4\text{SiO}_4$

El  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$  fue preparado utilizando escorias de hierro como fuente de  $\text{SiO}_2$  por el método de reacción en estado sólido. En la figura 2 se puede observar que el material alcanza una

capacidad de adsorción de  $\text{CO}_2$  mayor al  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$  sintetizado a partir de sílice comercial con  $P_{\text{CO}_2}=0.05$  y 0.20 en la corriente gaseosa. El silicato derivado de escoria presenta una captura máxima de  $135 \text{ mg}_{\text{CO}_2}/\text{g}$  a  $675^\circ\text{C}$  con  $P_{\text{CO}_2}=0.05$ . Además, los silicatos de litio preparados con escoria presentan alta estabilidad durante 20 ciclos consecutivos de adsorción-desorción [3].

#### Ferrita de pentalitio, $\text{Li}_5\text{FeO}_4$

La  $\text{Li}_5\text{FeO}_4$  fue elaborada utilizando escorias metalúrgicas de cobre como fuente de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  utilizando el método de reacción en estado sólido. Los resultados del análisis termogravimétrico mostraron que la adsorción de  $\text{CO}_2$  en el material ocurre en tres etapas (Figura 3). La primera etapa se asocia a la formación del  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  en la superficie del material. Posteriormente, en la segunda etapa del proceso, la adsorción de  $\text{CO}_2$  aumenta con mayor velocidad, este comportamiento se asocia a que el incremento de temperatura activa el proceso de difusión de  $\text{CO}_2$  y de iones  $\text{Li}^+$  y  $\text{O}^{2-}$  en el material, por tanto, la quimisorción comienza a llevarse a cabo en el volumen de la  $\text{Li}_5\text{FeO}_4$  y no sólo en su superficie. En la tercera etapa, después de que se alcanza la temperatura máxima de carbonatación del material, comienza el proceso de desorción o descarbonatación, descrita por la pérdida de masa en el material. De los experimentos dinámicos, se determinó que el intervalo de mayor adsorción de  $\text{CO}_2$  es de  $400$  a  $700^\circ\text{C}$ . Posteriormente, en los experimentos isotérmicos (Figura 4), la isoterma a  $675^\circ\text{C}$  mostró la mayor captura de  $\text{CO}_2$ ,  $200 \text{ mg}_{\text{CO}_2}/\text{g}$ . A partir de estos resultados, se realizaron experimentos isotérmicos a distintas  $P_{\text{CO}_2}$  (0.05, 0.10, 0.15 y 0.20) a  $675^\circ\text{C}$ , donde la mayor captura

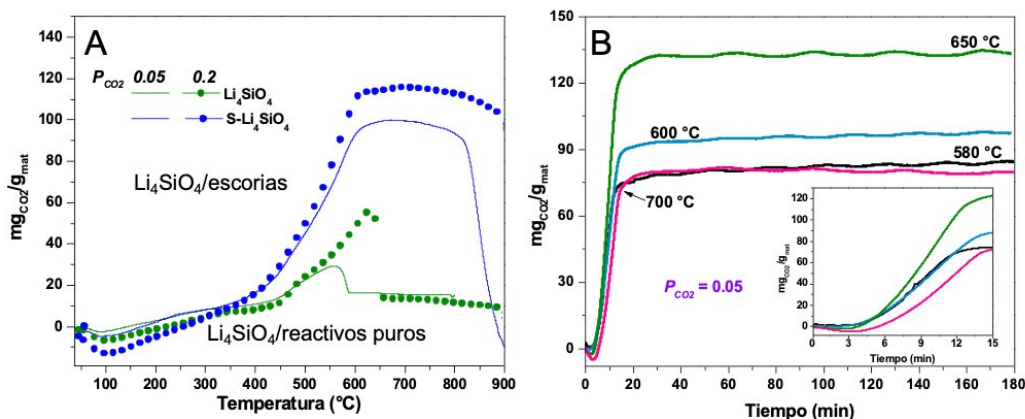


Figura 2. Adsorción de  $\text{CO}_2$  del  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$ : A) Termogramas dinámicos con  $P_{\text{CO}_2}=0.05$  y 0.20 y B) Isotermas a  $650^\circ\text{C}$  y  $P_{\text{CO}_2}=0.05$

de  $\text{CO}_2$  se obtuvo con  $P_{\text{CO}_2}=0.20$ , este comportamiento confirma que la capacidad máxima de captura disminuye cuando la  $P_{\text{CO}_2}$  disminuye hasta 11.6% con  $P_{\text{CO}_2}=0.05$ .

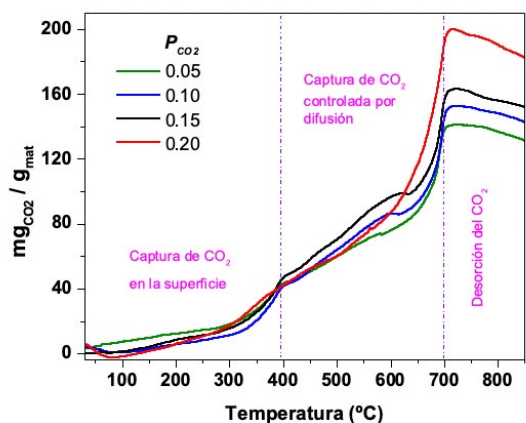


Figura 3. Termogramas dinámicos de  $\text{Li}_5\text{FeO}_4$  sintetizado a partir de escorias metalúrgicas de cobre en flujo de  $\text{CO}_2$  ( $P_{\text{CO}_2} = 0.05 - 0.20$ )

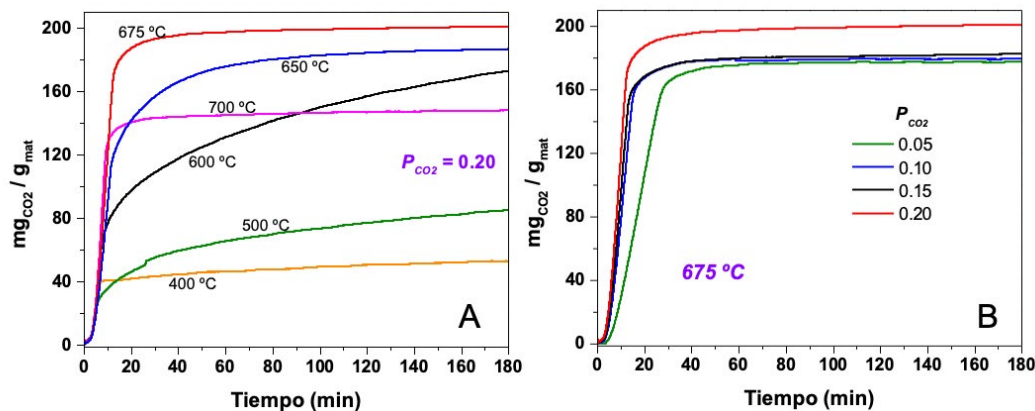


Figura 4. Análisis isotérmico de  $\text{Li}_5\text{FeO}_4$  sintetizado a partir de escorias metalúrgicas de cobre A) a diferentes temperaturas con  $P_{\text{CO}_2}=0.2$  y B) a  $675^\circ\text{C}$  con  $P_{\text{CO}_2}=0.05, 0.10, 0.15$  y  $0.20$

**Contacto:** Dra. Brenda Cecilia Alcántar Vázquez | BalcantarV@iingen.unam.mx

## Referencias

- National Oceanic and Atmospheric Administration *Global Monitoring Laboratory - Carbon Cycle Greenhouse Gases*. Recuperado de <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/mlo.html>.
- Pen-Chi, C. y Shu-Yuan, P. (2017). Carbon dioxide mineralization and utilization. Springer.
- Alcántar-Vázquez, B. C. y Ramírez-Zamora, R. M. (2020). Lithium silicates synthesized from iron and steel slags as high temperature  $\text{CO}_2$  adsorbent materials. *Adsorption*, 26, 687-699.

## Comentarios finales

Los adsorbentes derivados de residuos y sub-productos industriales poseen muchas ventajas que incluyen disponibilidad, regeneración, bajo costo y menor corrosión. Sin embargo, su aplicación aún enfrenta varios retos que superar antes de que pueda adoptarse para aplicaciones a gran escala:

- Demostrar detalladamente la estabilidad de los materiales para determinar su practicidad y rentabilidad efectiva.
- Evaluar la adsorción de  $\text{CO}_2$  en presencia de otros gases,  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_x$ .
- Los residuos tienen impurezas, por lo que es fundamental identificar todos los subproductos formados durante la síntesis y la adsorción de  $\text{CO}_2$ .
- Proponer alternativas para su disposición.

## Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el proyecto PAPIIT IA100520. |