



9P

Captura de CO₂

Dr. Juan Carlos Chavarría Hernández

Dr. Luis Orlando Polanco Vásquez

Unidad de Energía Renovable

Descripción

Las y los estudiantes realizarán un experimento para generar dióxido de carbono (CO₂) y, posteriormente, capturarlo. Aprenderán las ecuaciones de las reacciones químicas a realizar y se relacionarán los conocimientos adquiridos con la captura de CO₂ como una importante medida para afrontar el cambio climático.

Objetivo

Que las y los estudiantes aprendan que es posible capturar el CO₂ del ambiente y cómo se relaciona esto con el combate al cambio climático.



Materia afín

- Química en la vida cotidiana.
- Conservación del medio ambiente.
- Universo natural.
- Impacto de la ciencia y la tecnología.

¿Qué vas a aprender?

- CO₂ y otros gases de efecto invernadero.
- Aplicación de los pasos del método científico: observación, hipótesis, experimentación y análisis.
- Ecuaciones químicas de las reacciones realizadas.
- Qué es la captura de carbono.
- Aplicación de la captura de carbono para combatir el cambio climático

Pregunta inicial



¿Es posible retirar el exceso de CO₂ que está en el ambiente, la causa principal del cambio climático?



PANORAMA GENERAL DEL TEMA

Como seguramente has escuchado, existen los denominados gases de efecto invernadero, conocidos también por sus iniciales como **GEI**. El más conocido y más abundante es el **dióxido de carbono** (CO₂), pero no es el único; el óxido nitroso (N₂O) y el metano (CH₄) son otros ejemplos de los GEI, además de otros tantos de los que te invito a investigar para saber cuáles son (Ballesteros et al., 2007).

Los GEI están presentes en la atmósfera de nuestro planeta, es decir, en el aire, y son llamados así porque atrapan el calor permitiendo que la temperatura del ambiente aumente, de manera similar a como sucede en el interior de un invernadero para cultivar plantas. Por esta razón, los GEI son fundamentales para que pueda existir la vida en la Tierra tal y como la conocemos, de la misma manera que un invernadero hace posible el crecimiento de las plantas que son cultivadas en él. Es decir, es bueno que los GEI, y en particular el CO₂, estén presen-

tes en la atmósfera, ya que ayudan a mantener la temperatura del ambiente una vez que el Sol se ha metido. Pero, ¿qué pasa si la concentración de los GEI aumenta más allá de los valores que han tenido durante miles de años?

Sabemos que las actividades realizadas por todas las personas que vivimos en el planeta, quienes por cierto somos cada vez más, resultan en emisiones de GEI a la atmósfera, por lo que la concentración de los gases ha ido aumentando, sobre todo a partir de la llamada Revolución Industrial que inició en el siglo XIX (Guilyardi et al., 2019). El aumento de los GEI ha provocado un incremento de la temperatura global del planeta y, en consecuencia, ha desencadenado cambios en los climas de las diferentes regiones del mundo, a lo que se hace referencia de manera general como **cambio climático**. Esto se esquematiza en la **Figura 1**.



Figura 1. Representación del cambio climático ocasionado por las emisiones de los GEI.

De acuerdo con un reporte publicado en el 2021 por parte del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (**IPCC**), científicos y científicas de muchos países que se dedican a estudiar estos temas, han encontrado que el cambio climático está ocurriendo más pronto de lo que habían pronosticado y han alertado a los gobiernos y a la población en general a actuar urgentemente para reducir las emisiones de GEI a la atmósfera (Masson-Delmotte et al., 2021).

El cambio en los patrones climáticos afecta directamente el equilibrio de la naturaleza, lo cual implica grandes riesgos para los seres humanos, pero también para todas las formas de vida presentes en nuestro planeta. Algunos ejemplos de los efectos del cambio climático incluyen tormentas más intensas y frecuentes, las cuales pueden provocar inundaciones y corrimientos de tierra; el derretimiento de los polos y el consecuente incremento del nivel del mar, la extinción de especies, migraciones masivas, así como la aparición de enfermedades en regiones donde antes no se presentaban, entre otras muchas consecuencias (Pörtner et al., 2022).

Por ello es urgente que los gobiernos, empresas y sociedad en general tomemos

medidas para reducir las emisiones de los GEI. Sin embargo, los cambios que se requieren para lograr esto se irán implementando de manera gradual. Ante esta situación, algunos científicos han propuesto retirar o capturar parte del CO₂ que ya hemos emitido a la atmósfera y de esa manera reducir su concentración. A esto se conoce como **captura de carbono**, pues como sabes el CO₂ es una molécula que tiene un átomo de dicho elemento.

Hay dos posibles cosas que se propone hacer con el CO₂ capturado, una es almacenarlo en el subsuelo, bajo una capa rocosa hermética para evitar que escape nuevamente hacia la atmósfera. A esto se le conoce como «captura y almacenamiento de carbono» o CCS por las iniciales en inglés de *carbon capture and storage* (Bui et al., 2018). La otra opción es utilizar el CO₂ capturado para producir diferentes bienes, incluyendo combustibles, plásticos, así como sustancias como el metanol que sirve de partida para la síntesis de muchos productos en diferentes industrias. A esto se le conoce como «captura y uso de carbono» o CCU por las iniciales en inglés de *carbon capture and utilization* (Baena-Moreno et al., 2019). Ambas opciones están representadas en la **Figura 2**.

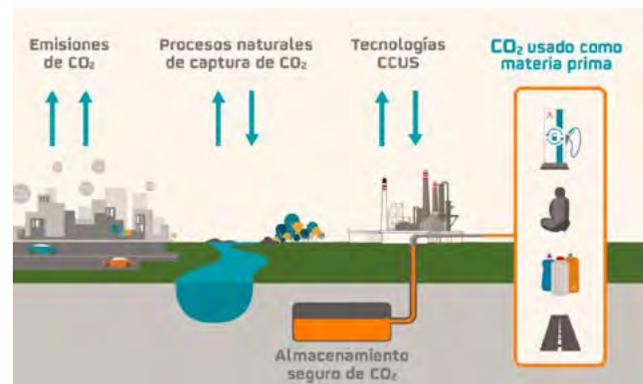


Figura 2. Captura, almacenamiento y uso del CO₂ (El País: https://cincodias.elpais.com/cincodias/2021/11/02/extras/1635856295_210373.html).



PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

En este proyecto aprenderás, a partir de una experimentación sencilla, que el CO₂ es un gas que puede ser capturado, es decir, retirado de la fase gas al hacerlo reaccionar con otra sustancia.

En la primera parte del experimento llevarás a cabo una reacción química para generar CO₂, y en la segunda harás una más para capturar lo previamente generado. Deberás tomar las debidas precauciones, ya que utilizarás algunos materiales irritantes.

Asimismo, revisaremos las ecuaciones de las reacciones químicas que vas a llevar a

cabo. Los conocimientos y la experiencia adquirida te permitirán comprender mejor por qué muchos científicos y científicas hoy en día están trabajando para mejorar los procesos de captura del CO₂ del ambiente y, de esa manera, contribuir en la lucha contra el cambio climático.

El manual que estás leyendo fue redactado por académicos del Laboratorio de Síntesis de la Unidad de Energía Renovable del CICY, y la metodología se desarrollará aplicando el método científico, empleando materiales fáciles de conseguir en casa o en una ferretería.



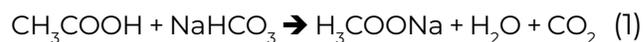
DESARROLLO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Generación de CO₂

Como hemos dicho, el objetivo de este proyecto es demostrar la captura de CO₂, pero para poder hacerlo, primero vamos a necesitar generarlo de manera concentrada. Esto quiere decir que necesitamos crear un volumen prácticamente puro para que el proceso de captura sea muy evidente durante la segunda parte del experimento.

Para ello, vamos a realizar una reacción química en la cual se formará CO₂ en forma de gas. Utilizarás **vinagre** y **bicarbonato de sodio** como reactivos, formando como productos de reacción dióxido de carbono, agua y acetato de sodio. Es importante saber que el vinagre tiene entre el 3 y 5% de ácido acético, y el resto es agua casi en su totalidad. En nuestro caso, el reactivo que nos interesa es esa pequeña cantidad de ácido acético que contiene, ya que

es el componente que reaccionará con el bicarbonato de sodio, de acuerdo con la siguiente ecuación química:



En la ecuación (1), CH₃COOH es el ácido acético, NaHCO₃ es el bicarbonato de sodio, CH₃COONa es el acetato de sodio, H₂O es agua y CO₂ el dióxido de carbono, el producto que deseamos obtener en esta reacción.

Captura de CO₂

En esta parte del experimento será muy importante que sigas las medidas de seguridad indicadas porque trabajarás con **sosa cáustica**, un reactivo altamente corrosivo e irritante. Además, al agregar sosa cáustica al agua ocurrirá una liberación de calor importante, por lo que también deberás tener precauciones para evitar sufrir quemaduras.



La sosa cáustica, cuyo nombre químico es hidróxido de sodio y su fórmula química es NaOH, es un reactivo que al estar en contacto con agua o la humedad del aire, reacciona fácilmente con el CO₂ del ambiente. No obstante, con la finalidad de hacer muy evidente la absorción del CO₂ realizaremos el experimento en el interior de una botella llena con dióxido de carbono previamente generado.

La reacción química que realizarás está dada por la siguiente: ecuación



Esta ecuación nos dice que una molécula de CO₂ reacciona con dos moléculas de hidróxido de sodio (NaOH) para producir una molécula de carbonato de sodio (Na₂CO₃) y una molécula de agua (H₂O).

Es decir, el CO₂ que inicialmente ocupa casi todo el volumen de la botella, pasará a formar parte de una sal de sodio (Na₂CO₃), que al estar en presencia de agua estará parcial o totalmente disociada, es decir, como iones Na⁺ e iones CO₃²⁻.

Es importante que sepas que en las investigaciones actuales sobre la captura de CO₂ para el combate al cambio climático, en lugar de hidróxido de sodio, usualmente se usan unos compuestos llamados aminas (Yu et al., 2012), las cuales tienen una gran capacidad para absorber el CO₂, ya sea directamente del ambiente o de una corriente altamente concentrada en dióxido de carbono, como puede ser el escape de gases de combustión de un proceso industrial.

Sin embargo, el principio es similar al de la experimentación que realizarás, ya que se toma el CO₂ de la fase gas, el cual pasa a formar parte de la fase líquida y/o de la fase sólida. En las investigaciones sobre la cap-

tura, almacenamiento y utilización del CO₂, este es liberado de las aminas de manera controlada para su posterior almacenaje (CCS) o para hacerlo reaccionar (CCU) y generar una diversidad de productos.

Pregunta de investigación

¿De dónde proviene el CO₂ gaseoso que se forma en la reacción? y ¿a dónde se va el CO₂ que es sustraído de la fase gas?



Objetivo

Llevar a cabo una reacción química usando materiales accesibles, en la cual se genere CO₂ en forma de gas, y capturarlo en el interior de una botella de plástico.



Materiales

En la **Figura 3** se muestran los materiales que emplearemos para realizar el experimento completo.

Para la generación de CO₂

- ¼ de taza de vinagre blanco o de manzana (el que tengas).
- 2 cucharadas de bicarbonato de sodio.
- Una botella PET vacía.
- Un globo.
- Una cuchara desechable.
- Una manguera de ¼ de pulgada de diámetro, de unos 20 cm de longitud.
- Cubrebocas.

Para la captura de CO₂

- Una botella de agua de plástico con tapa.
- Dos cucharadas de sosa cáustica (NaOH) (puedes comprarla en la ferretería).
- ¼ de taza de agua.
- Guantes de látex.
- Lentes de protección.
- Cubrebocas.



Figura 3. Materiales por emplear en el experimento completo (formación y captura de CO₂).

Desarrollo

1. Agrega $\frac{1}{4}$ de taza de vinagre en una botella PET, como se muestra en la **Figura 4**.



Figura 4. Agrega aproximadamente $\frac{1}{4}$ de taza de vinagre en una botella PET.

2. A continuación, haz una pequeña perforación del globo en el extremo opuesto a la boquilla por donde se infla, y luego introduce la manguera a través de la perforación, como se muestra en la **Figura 5**.

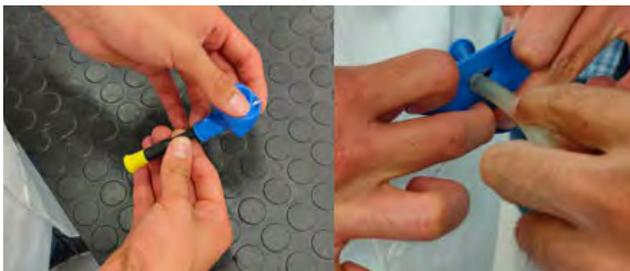


Figura 5. A la izquierda, perforación del globo con un objeto puntiagudo y, a la derecha, introducción de la manguera a través de la perforación.

3. Ahora abre cuidadosamente la boca del globo y agrega dos cucharadas de bicarbonato de sodio, cuidando que no se introduzca por la manguera, como se muestra en la **Figura 6**. Es recomendable realizar la actividad entre dos personas.



Figura 6. Agregar dos cucharadas de bicarbonato de sodio al globo, sin que se introduzca en la manguera.

4. Abre la boca del globo con cuidado y tapa la botella que tiene vinagre, cuidando que el bicarbonato no caiga dentro de la botella, como se muestra en la **Figura 7**. Se recomienda realizar este paso entre dos personas.



Figura 7. Colocación correcta del globo, evitando que el bicarbonato de sodio que contiene caiga dentro de la botella.

5. En la otra botella de PET, agrega $\frac{1}{4}$ de taza de agua de la llave, como se muestra en la **Figura 8**.



Figura 8. Agregar aproximadamente $\frac{1}{4}$ de taza de agua a la otra botella PET.



PRECAUCIÓN



El siguiente paso deberás hacerlo con extremo cuidado, ya que manipularás la sosa cáustica, la cual es muy irritante. Deberás usar guantes de látex, cubrebocas y lentes de protección.

6. Con la cuchara desechable, agrega en pequeñas porciones aproximadamente dos cucharadas de sosa cáustica a la botella con agua, como se muestra en la **Figura 9**. Realiza esto con mucha precaución porque la disolución del hidróxido de sodio libera bastante calor y puede desprender vapores irritantes. Usa cubrebocas y lentes de protección, y no acerques tu cara a la boca de la botella donde estás agregando la sosa cáustica. Además, no tomes la botella desde la base porque se calentará y podría causarte una quemadura.



Figura 9. Agregar con mucho cuidado dos cucharadas de sosa cáustica a la botella que contiene ¼ de taza de agua. No debes tomar la botella de la base para evitar quemaduras. Tampoco acercar tu cara a la boca de la botella, de la cual pueden emanar vapores corrosivos e irritantes. Al terminar puedes dejar destapada la botella, ya que así se requerirá para el siguiente paso.

7. Regresamos a la botella con el globo. Ahora es el momento de dejar caer el bicarbonato que está en el globo sobre el vinagre en la botella. Inmediatamente comenzará a formarse el CO₂, lo cual podrás corroborar por la formación de burbujas y porque que el globo comenzará a inflarse, como se muestra en la **Figura 10**. ¡Tapa el extremo expuesto de la manguera para evitar que se escape el CO₂ que se está formando!



Figura 10. Formación de CO₂ al verter el bicarbonato de sodio sobre el vinagre.

No es necesario esperar a que el globo se infle mucho, cuando comience a hacerlo es momento de vaciar el CO₂ en la botella que tiene la sosa cáustica. Así es, he dicho «vaciar». El CO₂ es un gas más denso que el aire, por lo que puedes verterlo como si se tratara de un líquido que no puedes ver. Solo que debes hacer movimientos lentos para evitar que se forme turbulencia (pequeños remolinos) y que pierdas parte del dióxido de carbono generado.

8. Introduce el extremo expuesto de la manguera en la botella con sosa cáustica para verter el CO₂. Inclina la botella evitando que el líquido en ella salga a través de la manguera, como se muestra en el lado izquierdo de la **Figura 11**. Además de inclinar la botella para verter el CO₂, puedes apretarla un poco para obligar a que salga una mayor cantidad de gas, como se observa en el lado derecho de la **Figura 11**.



Figura 11. Izquierda: vaciado del CO₂ en la botella con la solución de sosa cáustica. Derecha: se aprieta la botella para expulsar más CO₂, cuidando de no expulsar el líquido que contiene.

9. Inmediatamente después de vaciar el CO₂, tapa muy bien la botella con hidróxido de sodio. Observa lo que ocurre. Puedes agitar un poco la botella para favorecer la reacción que está ocurriendo en su interior.

Lo que debes saber



El agua que contiene el vinagre juega un papel muy importante en la reacción, a pesar de que no aparece como reactivo en la ecuación química (1). Es importante porque su presencia facilita la formación del CO₂ al mezclar el vinagre y el bicarbonato de sodio.

Cuando se disuelve hidróxido de sodio en el agua, se libera una gran cantidad de calor, por lo que debes tener la precaución de no tomar la botella por la base para evitar quemarte.

NOTAS

- Cuando agregues la sosa cáustica al agua de la botella, debes hacerlo poco a poco y no de golpe. Al mismo tiempo debes evitar que te salpique agua, ya que la sosa cáustica y la solución son muy corrosivas e irritantes. Asimismo, debes evitar inhalar o entrar en contacto con los vapores que emanen, ya que pueden causar serias irritaciones a la piel, a los ojos y al tracto respiratorio.
- Si la piel entra en contacto con la sosa cáustica, lavar inmediatamente con agua la parte contaminada. Si el hidróxido de sodio penetra en la ropa, quitársela y lavar la piel con agua y jabón. Si la irritación persiste después de lavarse, conseguir ayuda médica.
- Si la solución de sosa cáustica salpica en los ojos, lavarlos con abundante agua levantando ocasionalmente los párpados inferiores y superiores. Si después

de lavarse persiste la irritación, conseguir ayuda médica inmediatamente. No deben usarse lentes de contacto cuando el trabajador utilice esta sustancia.

- Si una persona inhala vapores de sosa cáustica, debe trasladarse a una zona donde haya aire puro.
- Se recomienda ampliamente realizar las actividades entre dos personas.
- ¿Qué hacer con los residuos de sosa que quedan en la botella donde realizaste la captura del CO₂?
- Con tus guantes puestos y una cuchara de plástico, toma el hidróxido de sodio y disuélvelo en un litro de agua de la llave, con lo cual tendrás una solución que podrás utilizar para la limpieza de tuberías y caños en tu hogar.





Conclusiones

- ¿Por qué el CO₂ puede vaciarse de una botella a otra como si se tratara de un líquido?
- ¿Qué le sucede a la botella que contiene la sosa cáustica cuando agregas el CO₂? ¿Por qué ocurre eso?
- Relaciona los conocimientos adquiridos con las investigaciones actuales sobre la captura de carbono para su almacenamiento o utilización en la síntesis de productos.

Elabora tus conclusiones.



CONCLUSIÓN GENERAL

En este capítulo aprendiste que los gases de efecto invernadero son necesarios para la subsistencia de la vida en el planeta, pero sus excesivas concentraciones son causa del cambio climático. No obstante, el CO₂ se puede extraer del ambiente, o sea de la fase gas de la que forma parte, preferentemente de corrientes de gas donde está muy concentrado, como puede ser en escapes de gases de combustión.

Una vez capturado, el CO₂ se puede confinar en almacenamientos subterráneos o bien, utilizarlo para la producción de diferentes artículos. Su captura es una medida que sin duda jugará un papel muy importante en los siguientes años en el combate al cambio climático.



SOBRE LOS AUTORES

Mi nombre es **Juan Carlos Chavarría Hernández** y soy investigador en la Unidad de Energía Renovable del CICY, ubicada en el Parque Científico Tecnológico de Yucatán. Mi trabajo está enfocado en la obtención de biocombustibles líquidos: bioturbosina, diésel verde y biodiesel. Asimismo, me interesan los procesos de captura de carbono para su almacenamiento o utilización como materia prima para la obtención de productos. Yo a tu edad empecé a sentir interés por la química, por lo que posteriormente decidí estudiar Ingeniería Química, pero aún no sabía que me dedicaría a la investigación. Ahora valoro todo el conocimiento que pude adquirir años atrás, ya que constituye la base para poder comprender nuevas cosas.

Mi nombre es **Luis Orlando Polanco Vásquez**, soy **Técnico Titular A** en la Unidad de Energía Renovable del CICY. Mi trabajo está enfocado en el área de síntesis y catálisis, además del área de sistema híbridos. Asimismo, me interesan los procesos que ayudan a mitigar el cambio climático, como lo es la captura de carbono. Yo a tu edad me interesé mucho por la producción de energía y la sustentabilidad, y descubrí que quería especializarme en esta área, así que comencé a estudiar Ingeniería Eléctrica. Esto, a lo largo de los años, me ha llevado al mundo de la investigación y pude hacer un doctorado en Energía Renovable, que me llenado de mucho aprendizaje.



GLOSARIO

Bicarbonato de sodio: compuesto químico cuya fórmula es Na_2CO_3 , también nombrado carbonato ácido de sodio. Es un polvo blanco que comúnmente está presente en nuestros hogares. Se ha utilizado para aliviar la acidez estomacal y la indigestión ácida, así como para fines de limpieza.

Calentamiento global: se refiere al calentamiento a largo plazo del sistema climático de nuestro planeta, registrado desde el periodo preindustrial (entre 1850 y 1900) debido a las actividades humanas, principalmente a la quema de combustibles fósiles, lo que ha aumentado la concentración de los GEI que atrapan el calor en la atmósfera de la Tierra.

Cambio climático: se refiere a los cambios a largo plazo en las temperaturas y los patrones climáticos de nuestro planeta. Estos pueden ser naturales, por ejemplo, a través de variaciones en el ciclo solar. Pero desde el siglo XIX, las actividades humanas han sido el principal impulsor del cambio climático, principalmente debido a la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas.

Captura de carbono: para los fines de este trabajo, se refiere a la captura o secuestro de CO_2 presente en la fase gas, para incorporarlo a una fase líquida o una fase sólida. El CO_2 puede ser capturado del ambiente, pero para hacer más eficiente el proceso de captura, esta puede realizarse en efluentes industriales altamente concentradas en dióxido de carbono para su posterior confinamiento o utilización en la síntesis de productos químicos. En un sentido más amplio, el secuestro o captura natural de carbono, es un ciclo

que ha estado ocurriendo en nuestro planeta durante miles de millones de años. A través de este proceso, la naturaleza ha logrado un equilibrio de dióxido de carbono en nuestra atmósfera, permitiendo la vida como la conocemos.

Dióxido de carbono: compuesto químico también conocido como bióxido de carbono, cuya fórmula química es CO_2 . Se trata de un gas de efecto invernadero cuya concentración se ha incrementado exponencialmente en los últimos siglos, relacionándose directamente con el calentamiento global.

GEI: iniciales de gases de efecto invernadero. Los GEI son aquellos presentes en la atmósfera de nuestro planeta y que son capaces de absorber la radiación infrarroja del sol, aumentando y reteniendo el calor en la atmósfera. Es decir, son aquellos gases presentes en la atmósfera de manera natural o debido a la acción humana, que dan lugar al efecto invernadero.

IPCC: son las iniciales en inglés de Intergovernmental Panel on Climate Change, que en español se conoce como el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Actualmente, el IPCC comprende tres equipos de trabajo: el Grupo de Trabajo I, cuyo objeto de estudio son las bases físicas del cambio climático; el Grupo de Trabajo II, responsable del impacto, la adaptación y la vulnerabilidad; y el Grupo de Trabajo III, encargado de la mitigación del cambio climático.

Sosa cáustica: compuesto químico, también conocido como soda cáustica, cuyo nombre científico es hidróxido de sodio y su fórmula química es NaOH . Se trata de



un sólido blanco cristalino a temperatura ambiente. Es muy corrosivo y absorbe la humedad del aire en cuya presencia reacciona fácilmente con el CO₂ del ambiente. Cuando se disuelve en agua, la sosa cáustica libera el calor suficiente para encender materiales combustibles.

Vinagre: es un producto que comúnmente tenemos en nuestros hogares. Lo usamos como alimento en ensaladas, así como un producto de limpieza. El vinagre tiene ácido acético en una concentración que va de 3 al 5% en agua, aunque también suele contener pequeñas cantidades de ácido tartárico y cítrico.



REFERENCIAS

- Baena-Moreno, F. M., Rodríguez-Galán, M., Vega, F., Alonso-Fariñas, B., Vilches Arenas, L. F., y Navarrete, B. (2019). Carbon capture and utilization technologies: a literature review and recent advances. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 41(12), 1403-1433. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15567036.2018.1548518?journal-code=ueso20>
- Ballesteros, H. B., y Aristizabal, G. L. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), y Subdirección de Meteorología de Bogotá, Colombia.
- Bui, M., Adjiman, C. S., Bardow, A., Anthony, E. J., Boston, A., Brown, S., Fennell, P. S., Fuss, S., Galindo, A., Hackett, L. A., Hallett, J. P., Herzog, H. J., Jackson, G., Kemper, J., Krevor, S., Maitland, G. C., Matuszewski, M., Metcalfe, I. S., Petit, C., ... y Mac Dowell, N. (2018). Carbon capture and storage (CCS): the way forward. *Energy & Environmental Science*, 11(5), 1062-1176. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2018/ee/c7ee02342a>
- Granda, M. (15 de noviembre 2021). CCUS: Las tecnologías que atrapan el CO₂ para luchar contra el cambio climático, cinco días, el país economía. *El País*. https://cincodias.elpais.com/cincodias/2021/11/02/extras/1635856295_210373.html
- Guilyardi, E., Lescarmontier, L., Matthews, R., Point, S. P., Rumjaun, A. B., Schlüpmann, J., & Wilgenbus, D. (2019). *Reporte especial del IPCC "Calentamiento Global de 1.5°C". Resumen para profesores*. Office for Climate Education.
- Hidróxido de sodio, Wikipedia. https://es.wikipedia.org/wiki/Hidr%C3%B3xido_de_sodio [consultado el 21 de junio de 2022]
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- Yu, C.H., Huang, C.H., y Tan, C.S. (2012). A review of CO₂ capture by absorption and adsorption. *Aerosol and Air Quality Research*, 12(5), 745-769. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2012.05.0132>