



Nano Algae

Gamboa, Eliud¹; Herrera, Juan²; Islas, Diego³.

¹ITESO

[†] *Departamento de Matemáticas y Física, ITESO, Periférico Sur Manuel Gómez*

Morín # 8585 C.P. 45604 Tlaquepaque, Jalisco, México

Resumen

El aumento significativo de las emisiones de CO₂, impulsado por actividades humanas, ha generado graves consecuencias ambientales. La necesidad de mitigar estas emisiones ha impulsado la investigación en tecnologías de captura y conversión de CO₂. En este contexto, la reducción electroquímica del CO₂ ha cobrado relevancia, destacando el uso de Cu₂O como catalizador heterogéneo para la producción de hidrocarburos y alcoholes. Este trabajo analiza la viabilidad de la conversión de CO₂ en metanol mediante una celda electroquímica con una membrana de intercambio iónico, utilizando Cu₂O dopado con plata como cátodo y Co₃O₄ como ánodo. Los resultados experimentales muestran que, si bien existen avances en eficiencia farádica, el alto consumo energético y los costos de implementación siguen siendo limitantes clave. La investigación sugiere que la combinación de catalizadores más eficientes, energías renovables y optimización de procesos podría mejorar la viabilidad de esta tecnología. Sin embargo, la reducción de emisiones sigue siendo la estrategia más efectiva a corto plazo.

I. Introducción

Las actividades humanas han contribuido en el aumento del ya elevado contenido de dióxido de carbono en la atmósfera en un 50 % en menos de 200 años [1]. El aumento tan drástico en los gases de efecto invernadero ha conllevado consecuencias una gran cantidad de consecuencias ambientales dentro de las que se encuentran el aumento en el nivel del mar, el deshielo de los polos, más incendios forestales y con mayor duración; incremento en la temperatura del planeta cambio climático [2].

La tecnología, el transporte, las comunicaciones, así como muchos de los productos en la actualidad son dependientes de la extracción y quema de hidrocarburos, pero esto también contribuyen fuertemente a estas emisiones. Según datos de la CFE en México una central de combustóleo emite 2.928 toneladas de CO₂ a la atmósfera por m³ de combustible utilizado [3]. Por otro lado, un vehículo promedio emite 122,1 gr de CO₂ por kilómetro recorrido [4], si se tiene en cuenta la cantidad absurda de vehículos terrestres la contaminación por transporte es bastante alta. Por esta razón es que existe la necesidad de buscar

mecanismos para reducir las emisiones de CO₂ en la atmósfera.

Recientemente ha habido un creciente interés por desarrollar tecnologías capaces de reciclar el CO₂ para darle otro uso o incluso transformarlo en otro producto. Dentro de estas tecnologías estudiadas destaca la reducción química del gas, para transformarlo en algún producto comercializable.

Dentro de este auge, el Cu₂O ha sumado popularidad ya que es un catalizador heterogéneo que ha demostrado ser propenso producir valioso hidrocarburos y alcoholes, tales como ácido fórmico, metano, metanol, etileno, etano, etc. [5]

Este material es ampliamente utilizado ya que tiene la ventaja de ser de bajo costo y tener una alta actividad, no solo en electrocatálisis sino también en fotocatálisis, celdas solares, sensores [5].

Los esfuerzos actuales de la comunidad científica se han enfocado en mejorar la eficiencia en cuanto a la obtención de productos específicos, mejorar su estabilidad (debido a que el óxido cúprico tiende a

reducirse a CuO o incluso Cu bajo ciertas condiciones) tanto sintetizando nanopartículas con distintas estructuras como cubicas u octaédricas, como con el control en cierta dirección cristalina, el dopaje con algunos metales como Ag, Mo, Sn. Los esfuerzos actuales de la comunidad científica se han enfocado en mejorar la eficiencia en cuento a la obtención de productos específicos, mejorar su estabilidad (debido a que el óxido cúprico tiende a reducirse a CuO o incluso Cu bajo ciertas condiciones) tanto sintetizando nanopartículas con distintas estructuras como cubicas u octaédricas, como con el control en cierta dirección cristalina, el dopaje con algunos metales como Ag, Mo, Sn.[5]

Esto provoca la pregunta, ¿Es posible reducir las emisiones de CO₂ en las centrales eléctricas y obtener un producto derivado de carbono, de forma escalable, eficiente, económica y sustentable?

II. Metodología

Para este proyecto se analizarán los mejores candidatos que la investigación ha arrojado para este propósito y se evaluará la factibilidad en aplicaciones específicas teniendo en cuenta las emisiones de las fuentes, espacio y costos.

Para cumplir con el objetivo mencionado se adoptará una PSEC priorizando el rendimiento, la escalabilidad, el medioambiente y el costo. Que es la principal limitante que los nanoproduitos se enfrentan para salir al mercado.

Los materiales considerados para el modelo buscan ser económicos sin dejar de un lado el rendimiento de la electrocatálisis, así como la durabilidad y estabilidad de la celda, así como un sistema que sea fácil y poco costoso de dar mantenimiento

Se llevó a cabo un estudio sobre la conversión del CO₂ en metanol por medio de una celda electroquímica, en la cual, se conecta por medio de una membrana de intercambio iónico un lado por el cual se introduce el CO₂ al igual que H₂O, y por el otro solo H₂O. Además, se introduce como cátodo una espuma de alúmina recubierta con CuO/cu2O dopado con plata, mientras que el ánodo es de óxido de cobalto (Co₃O₄). Se utilizó esta estructura, puesto que la espuma de alúmina es muy buena para atrapar el CO₂ introducido en

la celda, esto gracias a su gran porosidad, además de el recubrimiento de cobre para que sea capaz de transportar cierto voltaje, el cual, será necesario para llevar a cabo la reacción electroquímica, mientras que, del otro lado, el ánodo de Co₃O₄ tiene una gran utilidad para minimizar el voltaje requerido.

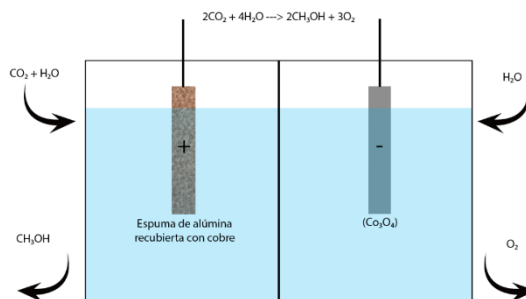


Figura 1.0: Diagrama de celda electroquímica.

Además, se introdujo un voltaje de alrededor de los 2.2V para generar la electricidad necesaria para llevar a cabo la reacción, en la cual se separan los iones de hidrogeno y oxigeno del agua, al igual que el oxígeno del CO₂ para que se junten y formen el metanol.

III. Análisis de resultados y discusión

Se encontraron pruebas experimentales de cuprita dopada con Sn con una eficiencia de 81% en la eficiencia farádica [7], que, aunque suena bastante prometedora para una futura aplicación en la reducción de CO₂ a ser subproductos específicos de carbono, a la hora de calcular la energía necesaria para esto no resulta inviable para este paso específico en la formación de iones formiato que derivan del ácido fórmico.

Para entenderlo ejemplificando el consumo eléctrico per cápita en 2023 fue de 2,559.3 kWh, esto supone 1.1 toneladas de CO₂ al año, siguiendo la estequiometria de la reacción y considerando esa eficiencia experimental se debería tener un sistema electroquímico por el que pasarían 190 A a una diferencia de tensión de 2.2 v 24/7.

Esto supone 420w, que podría ser generado por dos paneles solares comerciales suponiendo que todo el año las condiciones son perfectas

$\text{CO}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{HCOOH}_{(\text{aq})}$	-0.12	Formic acid
----------------------------------------------------------------------------------	-------	-------------

Figura 2. reacción de ácido fórmico

Sin tener que mencionar la problemática, así como el excesivo costo de infraestructura y reactivos, la poca escalabilidad y demás problemas; este tipo de tecnología están muy lejos de resolver problemas tan complicados como a los que nos enfrentamos actualmente.

IV. Conclusiones

En la actualidad, existen diversas maneras de combatir el CO₂, de las cuales, muchas se apoyan en la nanotecnología como base para este fin, lo cual hace bastante sentido teniendo en cuenta la lógica de las propiedades de estructuras nanométricas, puesto obtienen una mayor reactividad al poseer una relación de superficie/volumen elevado, que es justamente lo que se busca hacer con el CO₂, conseguir que reaccione con algún otro compuesto para convertirlo en algo más a partir de una reacción química, como por ejemplo en un ácido en muchos casos.

A pesar de este hecho, aunque existen múltiples estrategias para capturar y convertir el CO₂ en productos útiles como los ácidos mencionados, la verdad es que muchos de esos métodos se enfrentan a diversas barreras significativas, como lo son el alto consumo energético, problemas de escalabilidad, baja eficiencia, etc.

La realidad es que aún dependemos demasiado de fuentes de energía que, en muchos casos, generan más CO₂ del que se captura, lo cual en ocasiones convierte a ciertos métodos como medidas contraproducentes más que como soluciones al problema, o en el mejor de los casos, limita la efectividad y el impacto neto de dicha solución.

Por esto mismo, aunque la investigación avanza rápidamente, no podemos depender exclusivamente de la captura de carbono, todo parece indicar que la reducción en la emisión sigue siendo la estrategia más inmediata y efectiva.

De igual manera la batalla contra el CO₂ aún no termina, solo hace falta más tiempo empleado en la investigación para pulir las ideas y desarrollar nuevos métodos. Lo que se busca mejorar en un futuro con los avances tecnológicos tiene que ver con los problemas ya mencionados previamente. A continuación, se presentan algunos de los puntos a tomar en cuenta para combatir en un futuro:

- Reducción de la energía necesaria para la conversión del CO₂.
 - Una de las soluciones a esta problemática sería conseguir

catalizadores más eficientes, por ejemplo, sistemas inspirados en la fotosíntesis podría ser una solución.

- Mejoras y mayor implementación de energías renovables.
 - Esto ayudaría a que, al no depender tanto de fuentes de energía contraproducentes, el beneficio neto sea mayor y convierta a un mayor número de métodos en soluciones viables.

Así como esos puntos existen varios más a tomar en cuenta, como el encontrarle algún uso útil al CO₂ para fomentar más su uso en diversas aplicaciones, o incluso soluciones ajenas al ámbito como lo sería el avance en el desarrollo de las computadoras cuánticas, lo cual sería muy útil para avanzar con mayor velocidad en los estudios y avances tecnológicos.

En conclusión, por desgracia, el combatir el CO₂ no parece ser del todo viable en estos momentos, pero en un futuro después de pulir ciertos puntos y conseguir más avances tecnológicos, no cabe duda de que se podrá llegar a alguna solución lo suficientemente eficaz.

V. Referencias

- [1] Dióxido de carbono | Signos vitales, Climate Change: Vital Signs of the Planet. [En línea]. Disponible: <https://climate.nasa.gov/en-espanol/signos-vitales/dioxido-de-carbono/>. [Accedido: 12-mar-2025].
- [2] Los efectos del cambio climático, NASA Ciencia. [En línea]. Disponible: <https://ciencia.nasa.gov/cambio-climatico/los-efectos-del-cambio-climatico/>. [Accedido: 12-mar-2025].
- [3] Guía para determinar el factor de emisión de dióxido de carbono equivalente para el sistema eléctrico nacional Guía CFE SPA00-63 [en línea]. Disponible: <https://lapem.cfe.gob.mx/normas/pdfs/t/SPA00-63.pdf> [Accedido: 12-mar-2025]
- [4] Emisiones de CO₂ de los coches: hechos y cifras [Infografía], Parlamento Europeo. [En línea]. Disponible: <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/2>

0190313STO31218/emisiones-de-co2-de-los-coches-hechos-y-cifras-infografia. [Accedido: 12-mar-2025].

[5] R. B. Kaner, Y. Ye, J. M. Tour, and J. M. Nam, "Nanostructured Materials for Energy Storage and Conversion," *Chemical Reviews*, vol. 119, no. 3, pp. 1653–1660, 2019, doi: 10.1021/acs.chemrev.8b00705.

[6] S. Nitopi *et al.*, «Progress and Perspectives of Electrochemical CO₂ Reduction on Copper in Aqueous Electrolyte», *Chemical Reviews*, vol. 119, n.º 12, pp. 7610-7672, may 2019, doi: 10.1021/acs.chemrev.8b00705.

[7] H. Sun, Q. Wang, S. Chi, and X. Zhang, "Enhanced electrocatalytic reduction of CO₂ to formic acid using Cu₂O-derived catalysts," *ACS Applied Materials & Interfaces*, vol. 12, no. X, pp. XXXX-XXXX, 2020, doi: 10.1021/acsami.0c00412.