

Curiosidades de la Química

REIMAGINEMOS EL CO₂: NO COMO UN PROBLEMA, SINO COMO LA BASE DE SU PROPIA SOLUCIÓN

Abigail Guerrero

Durante décadas, el dióxido de carbono (CO₂) ha sido presentado casi exclusivamente como el residuo final de los sistemas productivos modernos, en otras palabras, un subproducto inevitable, acumulativo y ambientalmente perjudicial. Esta visión, aunque correcta desde una perspectiva climática, resulta incompleta desde el punto de vista químico. El CO₂ no es un compuesto inerte ni un callejón sin salida, más bien es carbono en su estado más oxidado y, por tanto, una molécula con potencial para ser transformada. Lo que realmente importa no es únicamente cuánto CO₂ emitimos, sino cómo decidimos interactuar con él una vez liberado.

La química contemporánea ha comenzado a replantear este enfoque, desplazando la atención desde la simple captura hacia la utilización del CO₂ como materia prima. Sin embargo, esta transición no es trivial. Convertir CO₂ requiere energía, control de selectividad y diseños que eviten balances energéticos negativos. En este escenario, las tecnologías electroquímicas emergen como una alternativa sólida, ya que permiten acoplar fuentes

eléctricas renovables con reacciones redox controladas. Según Leonzio (2024), la electroreducción de CO₂ representa una de las estrategias más prometedoras para cerrar el ciclo del carbono, siempre que se logre integrar de forma eficiente con sistemas energéticos sostenibles.

Dentro de este marco, las tecnologías bioelectroquímicas ofrecen una aproximación particularmente interesante. Las celdas de combustible microbianas (MFC) demuestran que ciertos microorganismos pueden oxidar sustratos orgánicos y transferir electrones directamente a un ánodo, generando electricidad de manera simultánea al tratamiento de residuos. De acuerdo con Logan et al. (2006), este proceso se basa en microorganismos exoelectrogénicos capaces de establecer un flujo electrónico estable bajo condiciones anaerobias. Más allá de su valor energético, estas celdas obligan a repensar la separación tradicional entre remediación ambiental y producción de energía, integrándolas en un solo sistema funcional.

El interés por estas tecnologías no reside únicamente en su principio de funcionamiento, sino en su potencial de adaptación a contextos reales. Según Bahamonde (2022), uno de los principales desafíos para la implementación práctica de las MFC no es la bioquímica microbiana, sino el desempeño de componentes clave como las membranas. Factores como el costo, la resistencia iónica y la susceptibilidad al biofouling condicionan directamente la eficiencia global del sistema. En este sentido, la modificación bioinspirada de membranas de bajo costo con óxidos metálicos como TiO_2 y ZnO ha mostrado mejoras significativas en estabilidad y rendimiento electroquímico, evidenciando que el diseño de materiales es tan determinante como la biología involucrada.

Paralelamente, la conversión del CO_2 hacia moléculas de un solo carbono aparece como una de las rutas más realistas desde el punto de vista energético. El formiato y el ácido fórmico, en particular, han ganado atención debido a su relativa facilidad de producción y a su versatilidad como intermediarios químicos. Según Fan et al. (2020), la electroreducción de CO_2 a ácido fórmico presenta ventajas termodinámicas frente a otros productos más reducidos, además de facilitar su integración en procesos posteriores. Esta característica convierte al formiato en un vector atractivo tanto para almacenamiento químico como para aplicaciones bioquímicas.

En este punto, la biocatálisis adquiere un rol central. La enzima *formate dehydrogenase* (FDH) es capaz de catalizar la interconversión entre CO_2 y formiato bajo condiciones suaves, lo que la posiciona como un puente natural entre la electroquímica y los sistemas biológicos. Según Calzadiaz-Ramírez. (2022), la integración de FDH en sistemas electroquímicos permite alcanzar altos niveles de selectividad y eficiencia, reduciendo la necesidad de condiciones extremas típicas de la catálisis térmica convencional. Este tipo de enfoques refuerza la idea de que la utilización del CO_2 no debe abordarse desde una única disciplina, sino desde la convergencia entre química, biología y ciencia de materiales.

Es importante reconocer que estas tecnologías no constituyen soluciones inmediatas ni universales frente a la crisis climática. La conversión de CO_2 solo resulta relevante si se sostiene sobre balances energéticos favorables, materiales dura-

bles y esquemas escalables. No se debe tomar a la ligera la complejidad que implica trasladar estos sistemas del laboratorio a aplicaciones industriales o ambientales. Sin embargo, como plantea Bahamonde (2022), su verdadero valor reside en la integración de procesos que históricamente se han tratado de forma aislada como la generación de energía, tratamiento de residuos y transformación química del carbono.

Reimaginar el CO_2 como reactivo no significa negar su impacto ambiental, sino enfrentarlo desde una perspectiva más activa y técnica. Implica aceptar que la solución no pasa únicamente por capturar y almacenar, sino por diseñar sistemas capaces de transformar un pasivo ambiental en una oportunidad tecnológica. En este sentido, las tecnologías bioelectroquímicas no prometen respuestas simples, pero sí abren un espacio donde la química deja de ser espectadora del problema y se convierte en una herramienta concreta para replantear el ciclo del carbono.

BIBLIOGRAFÍA

- Bahamonde Soria, R., Chinchin, B. D., Arboleda, D., Zhao, Y., & Bonilla, P. (2022). Effect of the bio-inspired modification of low-cost membranes with TiO_2 : ZnO as microbial fuel cell membranes. *Chemosphere*, 291(Part 1), 132840. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132840>.
- Calzadiaz-Ramírez., Meyer., (2022). Formate dehydrogenases for CO_2 utilization. *Biotechnology Advances*.
- Fan, L., Xia, C., Zhu, P., Lu, Y., & Wang, H. (2020). Electrochemical CO_2 reduction to high-concentration pure formic acid solutions. *Nature Communications*, 11(1), 3633.
- Leonzo, G. (2024). Electrochemical reduction of CO_2 : A state-of-the-art review of catalysts, processes and applications. *Chemical Engineering and Processing*.
- Logan, B. E., Hamelers, B., Rozendal, R., Schröder, U., Keller, J., Freguia, S., Aelterman, P., Verstraete, W., & Rabaey, K. (2006). Microbial fuel cells: Methodology and technology. *Environmental Science & Technology*, 40(17), 5181–5192. <https://doi.org/10.1021/es0605016>