



# El Dióxido de Carbono ¿amigo o enemigo?

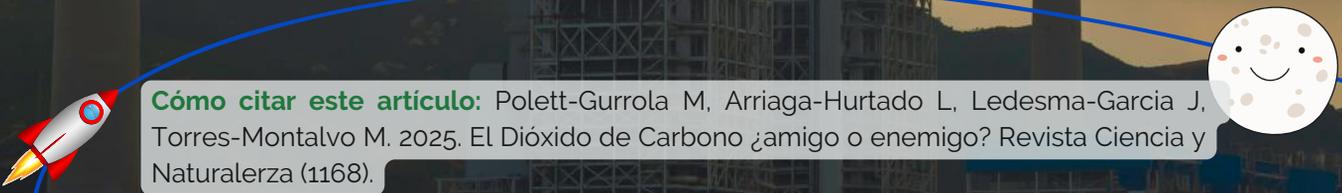
Mayra Polett Gurrola  
Luis G. Arriaga Hurtado  
Janet Ledesma García  
Miguel Á. Torres Montalvo



# El Dióxido de Carbono ¿amigo o enemigo?

*La mayor amenaza para nuestro planeta es la creencia de que alguien más lo va a salvar*

*Robert Swan*

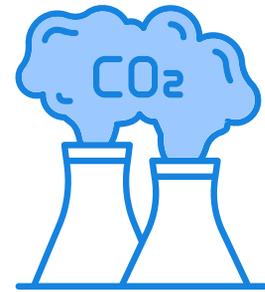


**Cómo citar este artículo:** Polett-Gurrola M, Arriaga-Hurtado L, Ledesma-García J, Torres-Montalvo M. 2025. El Dióxido de Carbono ¿amigo o enemigo? Revista Ciencia y Naturaleza (1168).



## *Calentamiento global y el CO<sub>2</sub>*

### Cambio climático



El cambio climático es la variación que ha ocurrido en el clima en un periodo o lapso prolongado de tiempo. Es propiciado por el rápido incremento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera de la Tierra, esto se debe esencialmente al alto consumo de los combustibles fósiles, como el carbón, petróleo y gas natural.

Estas capas de GEI actúan como una barrera que retiene el calor en la atmósfera, elevando progresivamente la temperatura del planeta y los océanos. Este calentamiento desencadena efectos en cascada: el derretimiento de los casquetes polares, aumenta el nivel del mar, mientras que los patrones climáticos se vuelven más extremos (tormentas impredecibles, olas de calor prolongadas, sequías devastadoras e incendios forestales más frecuentes).



Seguramente ya has notado estos cambios, cuando el aire acondicionado debe permanecer encendido por horas o cuando el sistema de enfriamiento de tu auto ya no es suficiente bajo un sol abrasador.



Si el clima cambia, nosotros debemos hacerlo. Acciones simples pero consistentes, como ahorrar energía, moverse en bicicleta, reforestar y optimizar viajes, reducen nuestro impacto. Sin cambios, enfrentaremos sequías más severas, incendios intensificados y un planeta menos habitable. La decisión es clara: actuar ahora o sufrir las consecuencias venideras.



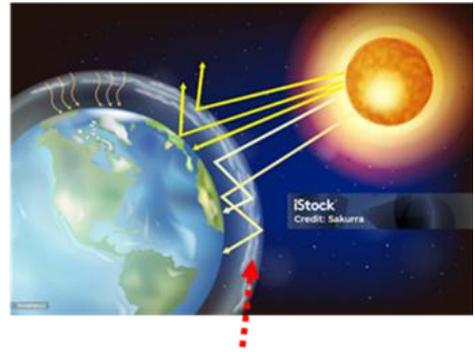
**Figura 1.** Hábitos que reducen el CO<sub>2</sub>

El cambio climático tiene un profundo impacto en la supervivencia y el desarrollo de la humanidad. Es un gran desafío para todos los países.

- Hu Jintao

## *Gases de efecto invernadero*

Para lograr un entendimiento de los GEI es necesario realizar una analogía, como se muestra en la Figura 2. Los granjeros utilizan invernaderos para extender sus temporadas de cultivo, ya que estos sistemas están diseñados para retener calor. Así, en días demasiado fríos, es posible regular la temperatura y favorecer el crecimiento de las plantas. De modo similar, los GEI en la atmósfera actúan como un 'invernadero global', manteniendo el calor en el planeta.



**Figura 2.** Analogía del efecto invernadero

Gases de efecto invernadero

Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) son compuestos naturales y artificiales que retienen calor en la atmósfera. Entre ellos se encuentran el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), generado principalmente por la quema de combustibles fósiles en vehículos e industrias; el metano ( $\text{CH}_4$ ), que proviene de la ganadería, los basureros y las fugas de gas natural; y los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), emitidos por automóviles y fertilizantes agrícolas.



También forman parte de este grupo el ozono ( $\text{O}_3$ ), que se produce cuando la contaminación reacciona con la luz solar, y el vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), que aumenta naturalmente con el calentamiento global. Los clorofluorocarbonos (CFC), usados antiguamente en refrigerantes y aerosoles, son los únicos totalmente artificiales y ya fueron prohibidos por dañar la capa de ozono.



Aunque la mayoría de estos gases existen en la naturaleza, las actividades humanas han incrementado sus concentraciones a niveles sin precedentes, potenciando el calentamiento global y sus consecuencias como se muestra en la Figura 3. Actualmente, el CO<sub>2</sub> representa el 80% del total de los GEI, producto de nuestras actividades cotidianas, como el consumo de combustibles en los automóviles y la generación de energía lo que incrementa de manera alarmante los niveles de GEI en nuestra atmósfera y que se resume en un planeta cada día más caliente.

Cuando quemamos combustibles como el petróleo y gas natural, el carbono que contienen se combina con el oxígeno del aire, produciendo CO<sub>2</sub>. Aunque el CO<sub>2</sub> es un gas que se encuentra de manera natural en nuestro planeta y esencial para procesos como la fotosíntesis, las actividades humanas han incrementado drásticamente sus niveles en la atmósfera.

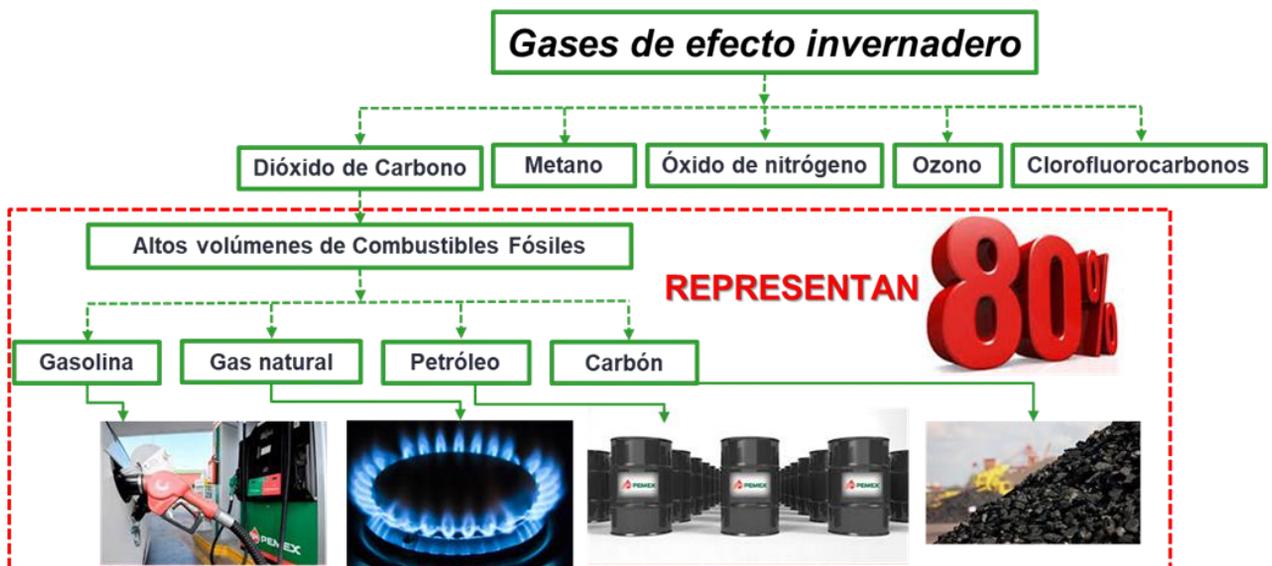
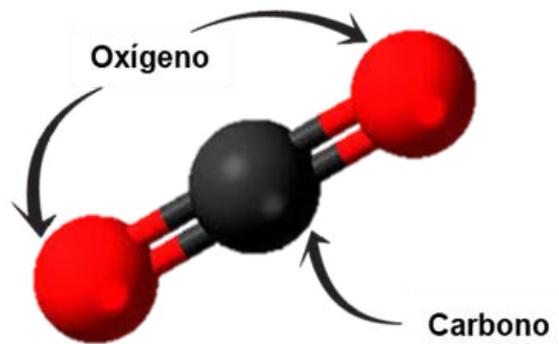


Figura 3. Los gases de efecto invernadero



## *El Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)*

El CO<sub>2</sub> es básicamente un GEI que forma parte de manera natural de nuestra atmósfera. Es conocido también como ácido carbónico, con fórmula molecular CO<sub>2</sub>, esto quiere decir que está formado por un átomo de carbono unido a dos átomos de oxígeno, (O = C = O) como se observa en la Figura 4.



**Figura 4.** Molécula de CO<sub>2</sub>.

## *El futuro de las emisiones de CO<sub>2</sub>*

Es fundamental reconocer que los combustibles fósiles seguirán siendo, durante un tiempo considerable, las principales fuentes de energía a nivel global. Sin embargo, ante esta realidad, se han desarrollado tecnologías de captura y almacenamiento de carbono, diseñadas para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y mitigar su impacto ambiental. El objetivo primordial de estos métodos es obtener un CO<sub>2</sub> de alta presión y con alto grado de pureza, es un procedimiento que implica separar el CO<sub>2</sub> de las fuentes industriales y energéticas. Posteriormente, se transporta a un sitio de almacenamiento para ser utilizado en la obtención de productos de valor agregado.



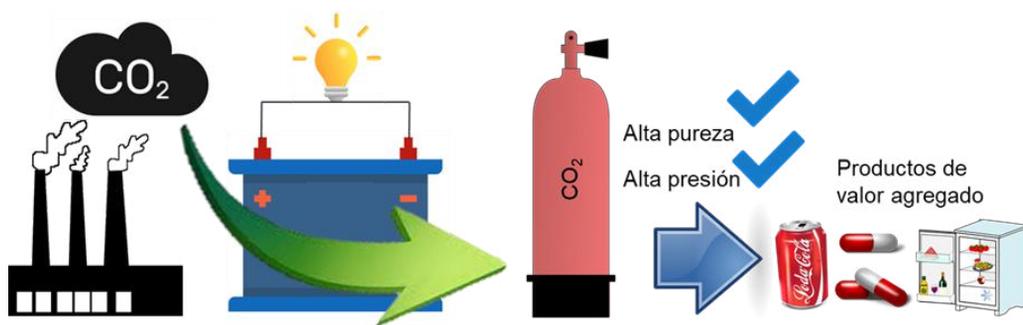


Actualmente, existen cinco principales enfoques tecnológicos para la captura de  $\text{CO}_2$ : absorción con aminas, postcombustión, oxicombustión, precombustión y el método electroquímico.

"Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad."  
- Albert Einstein

## *Una alternativa prometedora*

El método electroquímico es una alternativa con alto potencial para la transformación del  $\text{CO}_2$  en productos de valor agregado, por ejemplo, combustibles y productos químicos que benefician al medio ambiente. En años recientes se ha observado un elevado aumento en la cantidad de trabajos de investigación relacionados con el tema y con resultados esperanzadores. El método electroquímico consiste en la transformación del  $\text{CO}_2$  en combustibles y otros productos útiles, mediante procesos que implican la pérdida y ganancia de electrones (reacciones redox), promovidos por la aplicación de un potencial eléctrico dentro de un dispositivo. El Compresor Electroquímico de  $\text{CO}_2$  (CECO<sub>2</sub>) destaca por ser más confiable, eficiente y económico que otras tecnologías de captura. En la Figura 5 se representa de forma general el proceso de compresión electroquímica de  $\text{CO}_2$  y la generación de productos de valor agregado.



**Figura 5.** Proceso de compresión electroquímica de  $\text{CO}_2$



## Compresor electroquímico de CO<sub>2</sub>

El CECO<sub>2</sub> de la Figura 6, se emplea para extraer o capturar el CO<sub>2</sub> de diferentes mezclas de gases. Consta de dos compartimientos, el cátodo, donde se reduce el oxígeno produciendo iones cargados negativamente (OH<sup>-</sup>), que reaccionan espontáneamente con el CO<sub>2</sub>, formando iones carbonato (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) y bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

Posteriormente, estos subproductos se transportan al compartimento anódico mediante una membrana que intercambia aniones (o iones negativos). Allí ocurre la Reacción de Evolución de Oxígeno (REO), que da lugar a la regeneración del O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, con la recuperación de electrones. Cuando el sistema está totalmente hermético, esto da lugar a la presurización de los gases en la cámara anódica.

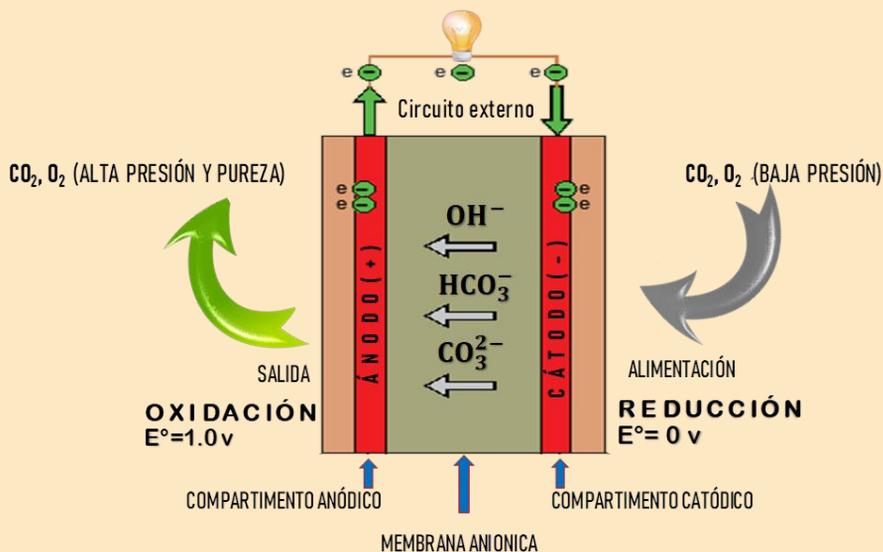


Figura 6. Compresor electroquímico de CO<sub>2</sub>



## Usos del CO<sub>2</sub>

El CO<sub>2</sub> tiene diversos usos y aplicaciones, y está muy presente en nuestra vida diaria. Se utiliza en el procesamiento de alimentos (como en bebidas carbonatadas o en el envasado al vacío), así como en el tratamiento del agua que consumimos diariamente, e incluso participa en procesos industriales que, paradójicamente, ayudan a limpiar lo que contaminamos.

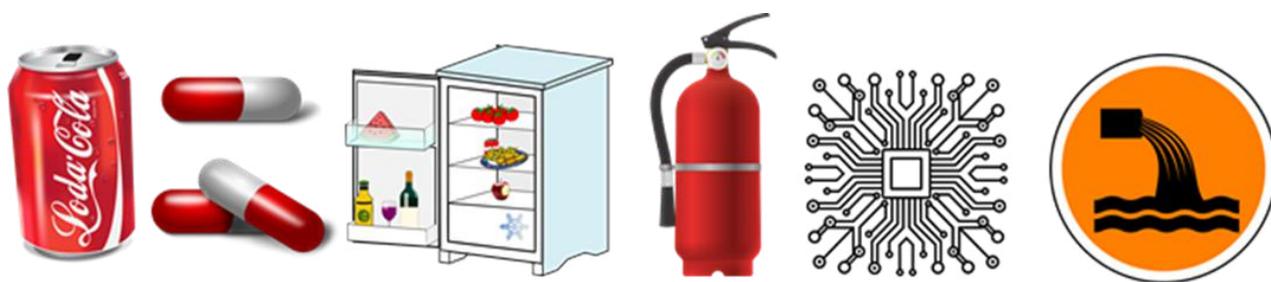


Más allá de sus usos industriales, el CO<sub>2</sub> es un aliado para nuestra protección, ya que es el componente clave de los extintores que combaten incendios y se emplea en sistemas de refrigeración que preservan medicamentos. Estas aplicaciones demuestran cómo un gas asociado al cambio climático también hace nuestra vida más segura y funcional.

Además, tiene otros usos, como: a) Sistemas de refrigeración con CO<sub>2</sub>; b) El CO<sub>2</sub> líquido se emplea como disolvente verde para limpieza; c) En la electrónica el CO<sub>2</sub> se utiliza para enfriar las piezas electrónicas y para la limpieza de componentes; d) En la fabricación de medicamentos y otros derivados y e) En la iniciativa privada, se emplea para el desarrollo de investigaciones y proyectos nuevos.



Como puedes ver el  $\text{CO}_2$  es altamente utilizado y fundamental en nuestra vida cotidiana como se observa en la Figura 7; además, representa un reto y una oportunidad, ya que, se están desarrollando nuevas soluciones para descarbonizar el planeta y con ello reducir las altas concentraciones de  $\text{CO}_2$  para que la Tierra continúe siendo un lugar habitable y confortable para nosotros y las generaciones nuevas.



**Figura 7.** Productos de valor agregado derivados del  $\text{CO}_2$ .

## *Retos a vencer en el compresor electroquímico de $\text{CO}_2$*

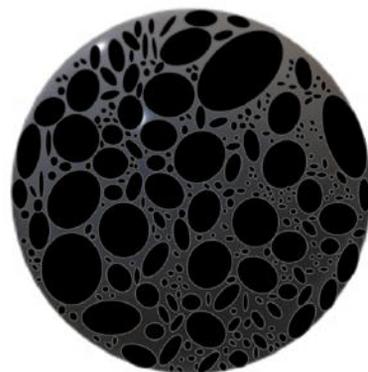
En el Compresor de  $\text{CO}_2$ , el reto se focaliza en los electrodos (ánodo y cátodo), específicamente en los electrocatalizadores que son fabricados con metales nobles por su excelente desempeño, pero tienen la desventaja de ser altamente costosos y, por tanto, limitan su viabilidad a escalas industriales.



Al trabajar con ambientes alcalinos y membranas intercambiadoras de aniones, se adquiere la ventaja de poder aplicar materiales basados en metales no nobles, de los cuales los óxidos metálicos estructurados a escala nanométrica presentan una opción viable para llevar a cabo las reacciones de reducción y evolución necesarias para la compresión electroquímica de  $\text{CO}_2$ .



Por otro lado, la creación de materiales más eficientes, que aceleren reacciones electroquímicas es esencial para el desarrollo de nuevas tecnologías energéticas. Una opción potencial es el desarrollo de materiales con alto grado de porosidad en su superficie como se muestra en la Figura 8, obtenidos mediante técnicas de síntesis innovadoras como el método Sol-Gel modificado.



**Figura 8.** Material altamente poroso.

La mayoría de las personas tiene un profundo impacto en la supervivencia y el desarrollo de la humanidad. Es un gran desafío para todos los países.

- Henry Ford

A pesar de su reputación como villano climático, el dióxido de carbono puede ser también un valioso aliado del ser humano. Lejos de ser solo un contaminante, el  $\text{CO}_2$  desempeña funciones vitales en la naturaleza y en múltiples industrias, desde la producción de alimentos hasta la medicina y la tecnología. Gracias a avances como la compresión electroquímica, hoy es posible transformarlo en productos útiles, ayudando a mitigar su impacto ambiental. Reconocer su dualidad no solo nos invita a reducir emisiones, sino también a aprovechar su potencial en beneficio del planeta y la humanidad. 🍀

## *Agradecimientos*

Al Proyecto Cátedras-CONACYT No. 746, y al proyecto Ciencia de Frontera 2023 No. CF-2023-G-567



## Para Consulta

- Han H, Jin S, Park S, *et al.* 2021. Plasma-induced oxygen vacancies in amorphous MnOx boost catalytic performance for electrochemical CO<sub>2</sub> reduction. *Nano Energy* 79: 105492. [\[Link\]](#)
- Kossmann J, Sánchez-Manjavacas MLO, Brandt J, *et al.* 2022. Mn (ii) sub-nanometric site stabilization in noble N-doped carbonaceous materials for electrochemical CO<sub>2</sub> reduction. *Chemical Communications* 58(31): 4841-4844. [\[Link\]](#)
- Landon J, Kitchin JR. 2010. Electrochemical Concentration of Carbon Dioxide from an Oxygen/Carbon Dioxide Containing Gas Stream. *Journal of The Electrochemical Society* 157(8): B1149. [\[Link\]](#)
- Muroyama AP, Beard A, Pribyl-Kranewitter B, *et al.* 2021. Separation of CO<sub>2</sub> from Dilute Gas Streams Using a Membrane Electrochemical Cell. *ACS ES&T Engineering* 1(5): 905-916. [\[Link\]](#)
- Mustapha U, Nnadiokwe CC, Alhaboudal MA, *et al.* 2023. The role of morphology on the electrochemical CO<sub>2</sub> reduction performance of transition metal-based catalysts. *Journal of Energy Chemistry* 85: 198-219. [\[Link\]](#)
- Rhandi M, Trégaro M, Druart F, *et al.* 2020. Electrochemical hydrogen compression and purification versus competing technologies: Part I. Pros and cons. *Chinese Journal of Catalysis* 41(5): 756-769. [\[Link\]](#)
- Rigdon WA, Omasta TJ, Lewis C, *et al.* 2017. Carbonate Dynamics and Opportunities With Low Temperature, Anion Exchange Membrane-Based Electrochemical Carbon Dioxide Separators. *Journal of Electrochemical Energy Conversion and Storage* 14(2): 020701. [\[Link\]](#)

Crédito de imágenes en orden de aparición: JuergenPM (Pixabay, Px), V2images (Getty Images Signature, GIS), digicomphoto (Getty Images, GI), karyative, leolintang (GI), Joetography (Px), ROMAN ODINTSOV (Px), xijian (GIS), pixelshot, chinaface (GIS), Animaflora (GI), marcinjozwiak (Px), AndreyPopov (Getty Images Pro, GIP), Momo Hirai (Blessing Design), Dhea Pramesti (Visula Co), Jupiterimages (Photo Images), husuny (bimsuakientien), Fahrni, Batuhan Kocabaş (Px), Toa55 (GI), Jamie Cabatit (Trendify), Thinking How, Visual Generation, aristotoo (GIS). Crédito de figuras: Proporcionada por los autores. Declaración de uso de IA: Los autores señalan que ningún párrafo ha sido generado completamente o con más del 50% de sus palabras con herramientas AI/GTP.

**M.C. David López Villareal**  
Editor Asociado Revista CyN

Diseño: Irlanda Edith Garcia Corona



## Mayra Polett Gurrola

IxM- SECIHTI. Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Chetumal. Laboratorio Nacional de Micro y Nanofluídica (LABMYN). Doctora en Electroquímica Investigadora por México adscrita al TecNM Campus Chetumal. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel II desde 2025. Líder del Laboratorio Nacional de Micro y Nanofluídica (LABMyN-sede TecNM/ITChetumal). Sus áreas de interés son el desarrollo de proyectos enfocados a sistemas para la generación de energía, el desarrollo de materiales avanzados con aplicaciones en la industria de la construcción, así como la caracterización e identificación de Microplásticos.

contacto: [mayra.pg@chetumal.tecnm.mx](mailto:mayra.pg@chetumal.tecnm.mx)



## Luis Gerardo Arriaga Hurtado

Professor Researcher, Institute of Advanced Materials for Sustainable Manufacturing Tecnológico Monterrey. Laboratorio Nacional de Micro y Nanofluídica (LABMYN). Doctor en Ciencias Químicas por la UNAM y posdoctorado en la Université de Poitiers, Francia (2005). Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel III desde 2020. Líder del Laboratorio Nacional de Micro y Nanofluídica (LABMyN) ([www.labmyn.mx](http://www.labmyn.mx)). Desarrolla proyectos de aplicación de la microfluidica en las áreas de energía, salud, biotecnología, agroindustrial entre otras.

contacto: [lg.arriaga@tec.mx](mailto:lg.arriaga@tec.mx)



## Janet Ledesma García

Maestría en Ciencias-Nanotecnología, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro. Laboratorio Nacional de Micro y Nanofluídica (LABMYN). Actualmente coordina la línea terminal en Nanotecnología de la Maestría en Ciencias de la Facultad de Ingeniería y es responsable del Cuerpo Académico Consolidado de Catálisis. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel II, líder del Laboratorio Nacional de Micro y Nanofluídica sede UAQ. Fue presidenta de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Membranas (2020-2023). Se especializa en el desarrollo de materiales nanoestructurados con propiedades electrocatalíticas y enzimáticos aplicados en sistemas electroquímicos y microfluidicos de conversión de energía.

contacto: [janet.ledesma@uaq.mx](mailto:janet.ledesma@uaq.mx)



## Miguel Ángel Torres Montalvo

Estudiante del Doctorado en Ciencias Ambientales en el Tecnológico Nacional de México, Campus Chetumal. Enfoca su tesis en el desarrollo de electrocatalizadores nanoestructurados a base de Mn y Co para su aplicación en sistemas de Compresión Electroquímica de CO<sub>2</sub>.

contacto: [D96390205@chetumal.tecnm.mx](mailto:D96390205@chetumal.tecnm.mx)