

# "Impactos económicos y ambientales de los e-combustibles en España: Sustitución de los combustibles fósiles por DME"

Pilar Vega<sup>1</sup>, Miguel Menéndez<sup>1</sup>, Sofía Jiménez<sup>2</sup>, Cristina Sarasa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Catálisis e Ingeniería de Reactores,  
Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)  
Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.  
Tel. +34-976762707, e-mail [pvega@unizar.es](mailto:pvega@unizar.es)

<sup>2</sup>Departamento de Análisis Económico, Facultad de Economía y Empresa,  
Universidad de Zaragoza

## Resumen

El objetivo ha sido implementar un nuevo sector de producción de DME como sustituto parcial de las refinerías, aprovechando las ventajas de los e-fuels. Mediante un análisis input-output, se han reducido las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 1,34 %, SO<sub>x</sub> en un 0,28 % y CH<sub>4</sub> en un 0,31 %.

## Introducción

Los combustibles sintéticos no biológicos, como el dimetil éter (DME) renovable, representan una alternativa sostenible a los combustibles fósiles, especialmente en sectores difíciles de electrificar. El DME puede obtenerse a partir de hidrógeno renovable producido mediante electrólisis y CO<sub>2</sub> capturado, lo que contribuye a la descarbonización[1]. Por su alto número de cetano, ausencia de azufre y nitrógeno, y compatibilidad con la infraestructura de GLP, presenta claras ventajas técnicas y ambientales frente a combustibles convencionales como el diésel [2], [3]. Este estudio propone la integración de un nuevo sector de producción de DME en la economía española a través de un modelo input-output basado en EXIOBASE. Se ha diseñado una planta de 100 kt/año con tecnología de síntesis directa (Cu/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y zeolita HZSM-5) y reactor con membrana, [5]. La valorización del oxígeno coproducto refuerza su viabilidad económica y la sustitución parcial del refino fósil permite analizar su impacto en valor añadido, empleo y emisiones en el conjunto del sistema productivo nacional [6], [7]

## Metodología

Se ha realizado un análisis tecnoeconómico del proceso de producción de DME para evaluar su viabilidad económica y su impacto ambiental. Este análisis contempla tanto los costes operativos (OPEX), que incluyen electricidad, materias primas, captura de CO<sub>2</sub>, catalizadores y servicios auxiliares, como los costes de capital (CAPEX), asociados a la infraestructura y los equipos, así como la inversión en mano de obra. El total anual asciende a 218,38 millones de euros, de los cuales 137,31 M€ corresponden a OPEX, 78,72 M€ a CAPEX y 2,35 M€ al coste laboral. Considerando el oxígeno (O<sub>2</sub>) generado como subproducto, valorado en 0,17 €/kg (35,36 M€ anuales), se deduce esta cantidad del coste total, resultando en un coste neto asignado al DME de 183,02 M€, equivalente a 1,83 €/kg para una producción anual de 100.000 toneladas. En la Figura 1 se presentan las reacciones químicas clave del proceso: la síntesis de DME a partir de hidrógeno y CO<sub>2</sub>, y la electrólisis del agua para obtener el hidrógeno necesario. A partir de estas ecuaciones se calculan las cantidades de materia prima requeridas y sus costes asociados, constituyendo la base del análisis tecnoeconómico del sistema.

## Resultados y Conclusiones

Se han comparado dos escenarios: uno base con datos de 2021 y otro que incorpora un nuevo sector de producción de DME con una reducción parcial del sector de refino. Los resultados muestran una reducción del 1,34 % en las emisiones de CO<sub>2</sub>, del 0,28 % en SO<sub>x</sub> y del 0,31 % en CH<sub>4</sub>. Estas variaciones se representan en la Figura 2,

que muestra mediante un diagrama de Sankey los flujos de CO<sub>2</sub> incorporado a lo largo de la cadena de suministro, permitiendo identificar los sectores que acumulan más emisiones y aquellos que las transfieren de forma indirecta. Por su parte, la Figura 3 destaca los sectores que más contribuyen a las emisiones de CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub> y CH<sub>4</sub> asociadas al nuevo sector de producción de DME. La integración del nuevo sector de DME demuestra el potencial del modelo input-output para capturar tanto impactos directos como estructurales a lo largo de toda la cadena de suministro. Además, se confirma que la producción de DME a partir de electrólisis alimentada con electricidad renovable es ambientalmente viable, con una

demanda de agua despreciable (0,0022 % del consumo nacional anual) y la posibilidad de valorizar el oxígeno coproducto. De cara a futuras investigaciones, se plantea analizar el papel estratégico del DME en la economía nacional —como posible sector tractor o complementario—, ampliar el estudio a otros contaminantes como NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> o N<sub>2</sub>O, y mejorar la representación de los coproductos y de la eficiencia hídrica, con el objetivo de avanzar hacia un sistema energético más sostenible

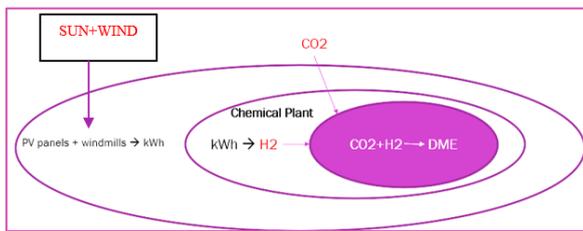


Figure 1: Propuesta de planta

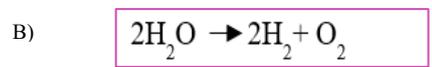


Figura 2: A) Producción DME: Para obtener 100 kt de DME se requieren 191,3 kt de CO<sub>2</sub> y 26 kt de H<sub>2</sub>, generando 117,4 kt de H<sub>2</sub>O como subproducto B) Electrólisis del agua para producir hidrógeno: Se necesitan 234 kt de agua para obtener 26 kt de H<sub>2</sub>, generando 208 kt de O<sub>2</sub> como subproducto.

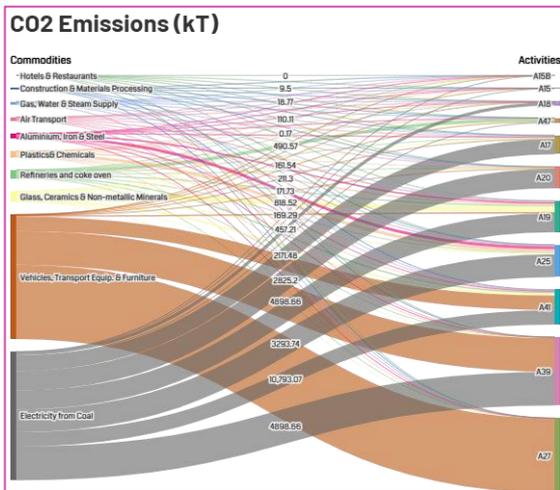


Figura 3: Diagrama de Sankey que representa los flujos de emisiones de CO<sub>2</sub> (en kt) entre sectores, visualizando cómo las emisiones incorporadas se transfieren a través de las actividades económicas y sus materias primas a lo largo de la cadena de suministro.

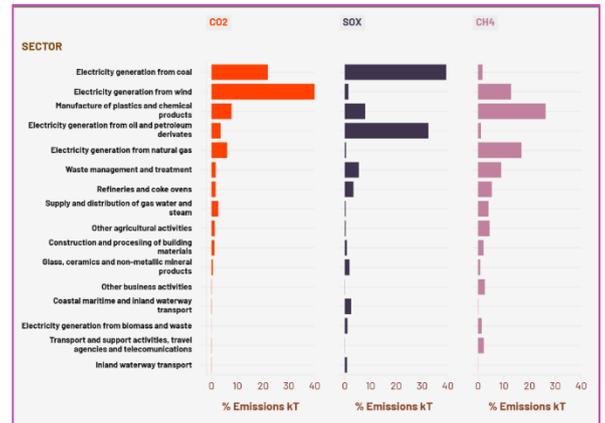


Figura 4: Contribución de los sectores intermedios a las emisiones incorporadas del nuevo sector de producción de DME, desglosadas por contaminante (CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub> y CH<sub>4</sub>). Las barras horizontales muestran el peso porcentual de cada sector en las emisiones totales indirectas, identificando las actividades que más contribuyen a la huella ambiental del DME.

## REFERENCIAS

- [1] G. Skorovika, M. Saric, S. N. Sluitjer, J. van Kampen, C. Sánchez-Martínez, and J. Boon, “Techno-Economic Benefit of Sorption Enhancement: Evaluation of Sorption-Enhanced Dimethyl Ether Synthesis for CO<sub>2</sub> Utilization,” *Frontiers in chemical engineering*, vol. 2, doi: 10.3389/fceng.2020.594884.
- [2] C. Peinado *et al.*, “Review and perspective: Next generation DME synthesis technologies for the energy transition,” 2024, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.cej.2023.147494.
- [3] I. Galván Díaz and E. Portillo Estévez, “Análisis técnico-económico de obtención de metanol a través de la reutilización de CO<sub>2</sub> procedente de una cementera. Trabajo Fin de Máster,” Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla, Sevilla, 2024.
- [4] K. Stadler *et al.*, “EXIOBASE 3: Developing a Time Series of Detailed Environmentally Extended Multi-Regional Input-Output Tables,” *J Ind Ecol*, vol. 22, no. 3, pp. 502–515, Jun. 2018, doi: 10.1111/jiec.12715.
- [5] S. Poto, T. Vink, P. Oliver, F. Gallucci, and M. F. Neira D’angelo, “Techno-economic assessment of the one-step CO<sub>2</sub> conversion to dimethyl ether in a membrane-assisted process,” *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization*, vol. 69, doi: 10.1016/j.jcou.2023.102419.
- [6] Y. Bravo, R. Duarte, and C. Sarasa, “Economic and environmental impacts of the shifts to electromobility in Spain: A multiregional input–output framework,” *J Ind Ecol*, doi: 10.1111/jiec.13565.
- [7] Y. Bravo, R. Duarte, and C. Sarasa, “Economic and environmental impacts of the shifts to electromobility in Spain: A multiregional input–output framework,” *J Ind Ecol*, doi: 10.1111/jiec.13565.