

# Etilenglicol: una mirada al anticongelante para automóviles

Jesús Alonso Cruz Valdez<sup>1\*</sup>, Valvanuz Cahuantzi<sup>2</sup>, Rosalba Patiño-Herrera<sup>2</sup>, Elías Pérez<sup>3</sup>, Daniel Montalvo<sup>4</sup>

## Resumen

El etilenglicol es un compuesto orgánico catalogado como “prácticamente no tóxico” para los organismos acuáticos, el cual tiene diversas rutas de producción dependiendo de la materia prima disponible. Así mismo, debido a sus propiedades fisicoquímicas, tiene una amplia variedad de aplicaciones; desde su uso como anticongelante para automóviles, hasta su disposición como solvente en el diseño de procesos de purificación de hidrocarburos. Estas cualidades lo convierten en uno de los productos petroquímicos de mayor valor agregado en el mercado internacional.

**Palabras clave:** etilenglicol, producción, propiedades, anticongelante, solvente.

## Introducción

Los dioles, también conocidos como glicoles, son compuestos orgánicos que tienen dos grupos hidroxilos (-OH) en su molécula. Un diol vecinal tiene ambos grupos hidroxilo unidos a átomos adyacentes, es decir, ubicados uno al lado del otro en su estructura molecular. En la Figura 1 se muestra la estructura molecular del etilenglicol, también conocido como 1,2-etanodiol, el cual, al ser una molécula con sólo dos átomos de carbono, es el más simple de los dioles. En 1859, Charles-Adolphe Wurtz, un químico de origen francés, sintetizó por primera vez el etilenglicol mediante una reacción de doble saponificación, haciendo reaccionar un éster (diacetato de etilenglicol) con hidróxido de potasio (Yue et al., 2012). Al principio, la producción del etilenglicol se realizaba a pequeña escala, pero al reconocerse sus diversas aplicaciones, adquirió mayor importancia en la fabricación de explosivos y en la producción de refrigerantes durante la Primera Guerra Mundial (Yue et al., 2012).

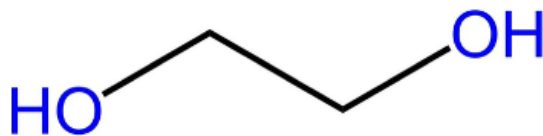


Figura 1. Estructura molecular del etilenglicol. Fuente: elaboración propia.

En los últimos años, el etilenglicol ha presentado un incremento considerable en su producción y consumo, dado que es considerado como uno de los principales compuestos orgánicos en las industrias energéticas, químicas, textiles, automotrices y de transporte y en la generación de nuevas tecnologías (Yue et al., 2012), especialmente siendo materia prima para la producción de poliéster y anticongelantes (Wei et al., 2018). Debido a que la demanda de poliéster ha incrementado año con año como consecuencia de su versatilidad de aplicaciones, la capacidad de producción del etilenglicol ha aumentado simultáneamente (Yang et al., 2020). En el 2007, el consumo global de etilenglicol fue de 18.27 millones de toneladas métricas, alcanzando las 26.66 millones de toneladas en el 2016 (Dong et al., 2016). En la última década, la tasa de crecimiento promedio del consumo global de etilenglicol ha sido superior al 45.90%. China destaca por tener la tasa de crecimiento del consumo más rápida, siendo aproximadamente del 98,03 % (Zhao et al., 2017). Por lo tanto, China representa más del 50% del consumo global de etilenglicol (Yang et al., 2020).

## ¿Cómo se produce el etilenglicol?

Dependiendo de la disposición de materia prima, logística, políticas socioambientales, reducción del costo de inversión y aumento del rendimiento de producción, existen diversas metodologías para la síntesis de etilenglicol. Entre ellas, se destacan las que tienen como materia prima petróleo crudo, carbón, gas natural y biodiésel.

### Hidratación de óxido de etileno

La Figura 2 muestra la ruta tradicional para la producción de etilenglicol propuesta por la Union Carbide Corporation (UCC, por sus siglas en inglés). Esta ruta comienza con la extracción de petróleo crudo del subsuelo, del cual, al utilizarse destilación fraccionada, se obtiene etano como materia prima. El etano es alimentado en un horno de craqueo térmico, en donde las elevadas temperaturas y presiones de operación provocan que el etano se quiebre, favoreciendo la unión de dos átomos de hidrógeno y la formación de un doble enlace químico que une los dos átomos de carbono, dando así origen al etileno (I). Posteriormente, el etileno es oxidado, produciendo óxido de etileno (II). Finalmente, el óxido de etileno es hidratado y de esta forma es producido el etilenglicol (III).

### Hidrogenación de glicolato de metilo

Debido al incremento progresivo en la demanda de etilenglicol, el uso de gas de síntesis (*syngas*, en inglés) como materia prima ha ganado importancia en los últimos años. En China, la producción de etilenglicol a partir de *syngas* ha incrementado de

<sup>1</sup>División de ingeniería química, Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos

<sup>2</sup>Departamento de ingeniería química, Tecnológico Nacional de México en Celaya

<sup>3</sup>Instituto de Física, Universidad Autónoma de San Luis Potosí

<sup>4</sup>División de ingeniería bioquímica, Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos

\*[jcruzv@itesco.edu.mx](mailto:jcruzv@itesco.edu.mx)

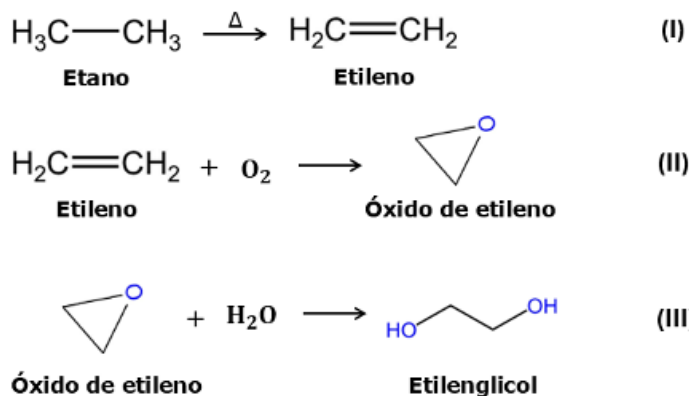


Figura 2. Ruta tradicional para la producción de etilenglicol vía hidratación de óxido de etileno. Fuente: elaboración propia.

cero a más de 3.5 millones de toneladas métricas por año, entre 2011 y 2018 (Tremblay, 2019). El *syngas* es obtenido mediante la gasificación de carbón a elevadas temperaturas, produciendo una mezcla gaseosa con elevadas concentraciones de monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H<sub>2</sub>). En la Figura 3 se muestra la ruta de producción de etilenglicol a partir de la hidrogenación de glicolato de metilo. Primeramente, se realiza la reacción de carbonilación oxidativa de metanol con oxígeno y CO para la producción de dimetil oxalato (DMO) (I). Posteriormente, se obtiene glicolato de metilo (GM), a partir de la hidrogenación de DMO (II). Finalmente, el GM es hidrogenado para la producción de etilenglicol (III).

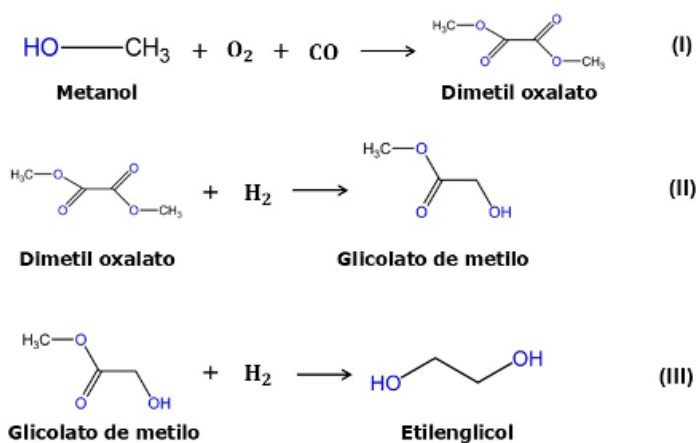


Figura 3. Ruta *syngas* para la producción de etilenglicol vía hidrogenación de glicolato de metilo. Fuente: elaboración propia.

### Hidrogenólisis de glicerol

Ante la relación directa entre las emisiones de CO<sub>2</sub> y el calentamiento global, en los últimos años se ha enfatizado la transición desde combustibles fósiles a biocombustibles obtenidos a partir de biomasa. El biodiésel es un biocombustible típicamente producido a partir de la transesterificación de aceites vegetales, grasas animales, y demás residuos orgánicos (Kandasamy et al., 2019). La eficiencia de producción del biodiésel es dependiente, en gran medida, del manejo de sus bioproductos. El glicerol es el mayor bioproducto del biodiésel (aproximadamente un 10% en peso), y del cual se tuvo una demanda global de 10 billones de litros en 2020 (Kandasamy et al., 2019). La reacción de hidrogenólisis del glicerol es ampliamente utilizada en la industria química. En

esta reacción, debido a la ruptura de un enlace carbono-oxígeno en la molécula del glicerol, y a la adición simultánea de átomos de hidrógeno, se obtienen 1,2-propanodiol, 1,3-propanodiol y etilenglicol como productos de alto valor agregado (Kandasamy et al., 2019). En la Figura 4 se muestra la reacción de hidrogenólisis de glicerol para la obtención de etilenglicol como producto principal y metanol como subproducto (Yue et al., 2012).

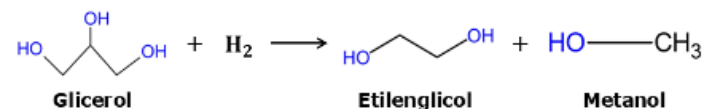


Figura 4. Ruta verde para la producción de etilenglicol vía hidrogenólisis de glicerol. Fuente: elaboración propia.

### Propiedades fisicoquímicas y toxicidad del etilenglicol

A temperatura ambiente, el etilenglicol es un líquido inodoro, incoloro, con baja volatilidad y viscosidad (Yue et al., 2012). Además tiene características higroscópicas, por lo que tiene la capacidad de absorber la humedad de su entorno. Debido a su elevada polaridad, es completamente miscible con solventes polares (por ejemplo, agua, alcoholes, éteres glicólicos y acetona) y ligeramente miscible con hidrocarburos no polares (por ejemplo, benceno, tolueno y ciclohexano), por lo cual el etilenglicol puede ser utilizado en procesos de extracción. Adicionalmente, su viscosidad aumenta cuando se enfría y cuando se subenfía, se solidifica completamente, dando como resultado una sustancia similar al vidrio (Yue et al., 2012). En la Tabla 1 se enlistan propiedades fisicoquímicas adicionales.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas del etilenglicol. Fuente: Yue et al. (2012).

Fórmula química	
Peso molecular, [g/mol]	62.1
Temperatura de fusión, [°C]	-13.0
Temperatura de ebullición, [°C]	197.6
Temperatura de auto ignición, [°C]	427.0
Densidad, [g/cm <sup>3</sup> ]	1.113 @ 20 °C
Viscosidad, [Pas]	19.8x10 <sup>-3</sup> @ 20 °C
Capacidad calorífica, [J/mol°C]	149.5 @ 25 °C
Entalpía de formación, [kJ/mol]	-458.7 @ 25 °C

La toxicidad biológica de los compuestos químicos tiene una relación directa con la preservación de microorganismos en ecosistemas acuáticos (Cruz Valdez et al., 2024). De acuerdo con el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Sustancias Químicas (GHS, por sus siglas en inglés), la toxicidad de los compuestos químicos puede ser categorizada en cuatro niveles, de acuerdo con su impacto adverso en peces, invertebrados acuáticos y algas verdes (Cruz Valdez et al., 2024). Estos niveles están definidos como: alta toxicidad (1 mg/L), tóxico (1 mg/L - 10 mg/L), dañino (10 mg/L - 100 mg/L) y no tóxico (> 100 mg/L). Los datos de toxicidad revelan que el etilenglicol es clasificado como “prácticamente no tóxico” en organismos acuáticos, típicamente exhibiendo valores excedentes a 5000 mg/L en algas verdes y rebasando 10,000 mg/L en peces e invertebrados acuáticos (Cruz Valdez et al., 2024).

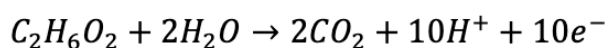
Por otra parte, debido a su sabor dulce, o como un sustituto del etanol, el etilenglicol puede ser ingerido accidental o intencionalmente por personas de diferentes edades, provocando una sensación de calor o comezón en la lengua (Yue *et al.*, 2012). La dosis tóxica de etilenglicol en el cuerpo humano es de 0.11 g/kg de peso corporal (Garg *et al.*, 2019), mientras que la dosis letal es de aproximadamente entre 1 y 1.5 g/kg de peso corporal (Garg *et al.*, 2019). Durante las primeras 3 horas después de la ingesta, el paciente puede presentar náuseas, vómitos y somnolencia (Garg *et al.*, 2019). Entre las 4 y las 24 horas, el etilenglicol comienza a metabolizarse en componentes tóxicos como el ácido glicólico, glioxílico y oxálico (Garg *et al.*, 2019), los cuales provocan hiperventilación, convulsiones, arritmia, coma y falla renal (Garg *et al.*, 2019). Posterior a las 24 horas, ya no son detectados los ácidos glicólicos, glioxílicos y oxálicos, pero el cuerpo humano puede presentar necrosis tubular y hematuria (Garg *et al.*, 2019).

### Usos y aplicaciones del etilenglicol

Debido a sus amplias propiedades fisicoquímicas, diversas metodologías de producción y a que es catalogado como prácticamente no tóxico para los organismos acuáticos, el etilenglicol es un compuesto químico con un amplio espectro de aplicaciones en diferentes áreas, tales como: anticongelante y refrigerante en automóviles (Yue *et al.*, 2012), precursor para la manufactura de fibras de tereftalato de polietileno (PET, por sus siglas en inglés) (Kandasamy *et al.*, 2019), desarrollo de celdas de combustible (Serov y Kwak, 2010), electrolito en la fabricación de super capacitores (Ramasaamy *et al.*, 2014), agente lixivante en la recuperación de cobalto proveniente de cátodos de baterías de ion-litio (Peeters *et al.*, 2022), cosolvente en procesos de absorción de CO<sub>2</sub> (Leron y Li, 2013), fase acuosa en la síntesis de nanoestructuras con tamaños de partículas controlados (Hussein *et al.*, 2017), y solvente en procesos de destilación extractiva para la purificación de hidrocarburos (Cruz Valdez *et al.*, 2024).

#### Celdas de combustible

Debido a su alta capacidad energética, alta eficiencia de conversión de poder eléctrico y elevada temperatura de ebullición, el etilenglicol ha sido propuesto como solvente para la fabricación de celdas de combustible directa (Yue *et al.*, 2012). Las celdas de combustible (full cell, en inglés) son mecanismos electroquímicos en las cuales un flujo continuo de combustible y un oxidante realizan una reacción química que genera productos y libera electrones, suministrándole corriente eléctrica a un circuito externo. La electrooxidación de etilenglicol ha sido de interés en los últimos años. De acuerdo con la reacción de oxidación de etilenglicol en fase acuosa, descrita debajo, el etilenglicol se oxida completamente hasta producir CO<sub>2</sub>, liberando 10 electrones por cada molécula de etilenglicol (Yue *et al.*, 2012). Asimismo, los protones generados provienen de la liberación de los hidrógenos del etilenglicol y del agua, indicando que es una reacción que se lleva a cabo en medio ácido. Sin embargo, esta tecnología se encuentra en desarrollo, dado que la oxidación parcial del etilenglicol produce intermediarios químicos que reducen la eficiencia de la celda.



#### Purificación de hidrocarburos

El ciclohexano (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>) es un hidrocarburo cíclico precursor del Nylon-6 y Nylon-66; los cuales, son materia prima para la elaboración de textiles. El ciclohexano se obtiene mediante la hidrogenación total del benceno (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), un hidrocarburo aromático con características cancerígenas. Sin embargo, no todo el benceno es convertido en ciclohexano, provocando contaminación en el ciclohexano. Debido a sus similitudes en sus estructuras moleculares, el ciclohexano y el benceno no pueden separarse por destilación convencional, por lo que el uso de un solvente en procesos de destilación extractiva resulta idóneo. Cruz Valdez *et al.* (2024) utilizaron etilenglicol como solvente para la purificación de la mezcla ciclohexano/benceno, obteniendo ciclohexano y benceno con purezas ≥ 99.91 mol%; asimismo, dicho proceso resultó ser más económico y con menos emisiones de CO<sub>2</sub> generadas, en comparación con el uso de sulfolano como solvente.

#### Anticongelante y refrigerante

Debido a su elevada temperatura de ebullición, y baja temperatura de fusión, el etilenglicol es ampliamente utilizado como anticongelante y refrigerante para automóviles (Jiang *et al.*, 2023). Dado que, al mezclarse fácilmente con el agua, forma una disolución que absorbe y transfiere energía calorífica de manera eficiente, disminuyendo las temperaturas de congelación y de ebullición del agua en el sistema de enfriamiento de vehículos (Jiang *et al.*, 2023). Esto favorece que el refrigerante no se congele en climas muy fríos ni se evapore en climas muy calientes. Asimismo, su baja viscosidad facilita su circulación en el sistema de enfriamiento; adicionalmente, contiene aditivos que previenen la corrosión y formación de depósitos dentro del radiador, bomba y mangueras (Sekrani y Poncet, 2018).

#### Conclusiones

El etilenglicol es uno de los productos de mayor valor agregado en la industria química y en la sociedad, debido a su amplia variedad de aplicaciones y a su bajo costo de producción. Ante el aumento de su demanda, diversas tecnologías son utilizadas para su producción, siendo la más atractiva y reciente, la ruta verde, a partir de la hidrogenólisis de glicerol, obtenido a partir de biomasa. Asimismo, debido a sus importantes propiedades fisicoquímicas, en los últimos años el uso del etilenglicol ha emergido como un tema de interés de estudio en la comunidad científica, dado que, adicionalmente a su tradicional uso como anticongelante para automóviles, puede ser utilizado como solvente en la fase acuosa para la síntesis de nanoestructuras con tamaños de partículas controlados, agente lixivante en la recuperación de cobalto proveniente de cátodos de baterías de ion-litio, y agente de separación másico en la purificación de hidrocarburos.

## Referencias

1. CruzValdez, J.A., Patiño-Herrera, R., Avilés Martínez, A., y Pérez, E. (2024). Separation of the cyclohexane-benzene mixture by the extractive distillation process using ethylene glycol as a solvent. *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification*, 196, 109686. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2024.109686>
2. Dong, Y., Elangovan, S., Sang, R., Spannenberg, A., Jackstell, R., Junge, K., Li, Y., y Beller, M. (2016). Selective catalytic two-step process for ethylene glycol from carbon monoxide. *Nature Communications*, 7, 12075. <https://doi.org/10.1038/ncomms12075>
3. Garg, U., Lowry, J., y Algren, D.A. (2019). Ethylene glycol and other glycols: analytical and interpretation issues. *Critical Issues in Alcohol and Drugs of Abuse Testing* (pp. 59-69). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815607-0.00005-8>
4. Hussein, A.M., Kadrigama, K., y Noor, M.M. (2017). Nanoparticles suspended in ethylene glycol thermal properties and applications: an overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 1324-1330. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.047>
5. Jiang, G., Liu, Y., y Liu, C. (2023). Investigation on liquid thermal conductivity of ethylene glycol (EG)/water mixtures: a comparative experimental and molecular dynamics simulation study. *J. Mol. Liq.*, 384, 122268. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2023.122268>
6. Kandasamy, S., Samudrala, S.P., y Bhattacharya, S. (2019). The route towards sustainable production of ethylene glycol from a renewable resource, biodiesel waste: a review. *Catalysis Science & Technology*, 9(3), 567-577. <https://doi.org/10.1039/C8CY02035C>
7. Leron, R.B., y Li, M.-H. (2013). Solubility of carbon dioxide in a choline chloride-ethylene glycol based deep eutectic solvent. *Thermochimica Acta*, 551, 14-19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tca.2012.09.041>
8. Peeters, N., Janssens, K., de Vos, D., Binnemans, K., y Riaño, S. (2022). Choline chloride-ethylene glycol based deep eutectic solvents as lixiviants for cobalt recovery from lithium-ion battery cathode materials: are these solvents really green in high-temperature processes? *Green Chemistry*, 24(17), 6685-6695. <https://doi.org/10.1039/D2GC02075K>
9. Ramasamy, C., Palma del Val., J., y Anderson, M. (2014). An analysis of ethylene glycol-aqueous based electrolyte system for supercapacitor applications. *Journal of Power Sources*, 248, 370-377. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.09.078>
10. Sekrani, G., y Poncet, S. (2018). Ethylene- and propylene-glycol based nanofluids: a literature review on their thermophysical properties and thermal performances. *Applied Sciences*, 8(11), 2311. <https://doi.org/10.3390/app8112311>
11. Serov, A., y Kwak, C. (2010). Recent achievements in direct ethylene glycol fuel cells (DEGFC). *Applied Catalysis B: Environmental*, 97(1-2), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2010.04.011>
12. Tremblay, J.F. (2019). Polyester made from coal? China is betting on it. *Chemical and Engineering News*, 97(3), 22-24. Recuperado el 15 de mayo de 2025. <https://cen.acs.org/business/petrochemicals/Polyester-made-coal-China-betting/97/i3>
13. Wei, R., Yan, C., Yang, A., Shen, W., y Li, J. (2018). Improved process design and optimization of 200 kt/a ethylene glycol production using coal-based syngas. *Chemical Engineering Research and Design*, 132, 551-563. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2018.02.006>
14. Yang, Q., Yang, Q., Xu, S., Zhu, S., y Zhang, D. (2020). Technoeconomic and environmental analysis of ethylene glycol production from coal and natural gas compared with oil-based production. *Journal of Cleaner Production*, 273, 123120. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123120>
15. Yue, H., Zhao, Y., Ma, X., y Gong, J. (2012). Ethylene glycol: properties, synthesis, and applications. *Chemical Society Reviews*, 41(11), 4218-4244. <https://doi.org/10.1039/C2CS15359A>
16. Zhao, G., Zheng, M., Sun, R., Tai, Z., Pang, J., Wang, A., Wang, X., y Zhang, T. (2017). Ethylene glycol production from glucose over W-Ru catalysts: maximizing yield by kinetic modeling and simulation. *AIChE Journal*, 63(6), 2072-2080. <https://doi.org/10.1002/aic.15589>