

## **Estrategias para el desarrollo sostenible de ecoindustrias en México a través de energías renovables, ingeniería verde y economía circular**

Strategies for the sustainable development of eco-industries in Mexico through renewable  
energy, green engineering, and circular economy

**<sup>1</sup>Frida Concepción López-López, <sup>1</sup>Angel Eduardo Lugo-Dorantes, <sup>1</sup>Hazael Yeremi Contreras-Cedillo, <sup>1\*</sup>Geovani Flores-Sánchez, <sup>1</sup>Oscar Paz-Vázquez, <sup>1</sup>Jorge Alberto Mendoza-Pérez**

<sup>1</sup>Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. Av. Wilfrido Massieu No. 399, Col. Nueva Industrial Vallejo, C. P. 07738, Alcaldía Gustavo A. Madero, Ciudad de México, México. Correos electrónicos: flopezl2500@alumno.ipn.mx; alugod2500@alumno.ipn.mx; hcontrerasc2500@alumno.ipn.mx; gfloress1500@alumno.ipn.mx; opazv1300@alumno.ipn.mx; jmendozap@ipn.mx ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3998-3039>; <https://orcid.org/0009-0007-7743-763X>; <https://orcid.org/0009-0000-9533-6989>; <https://orcid.org/0009-0003-7572-4484>; <https://orcid.org/0009-0002-8513-6590>; <https://orcid.org/0000-0002-8651-3506>.

\*Autor de correspondencia.

Recibido: 5 de agosto de 2025  
Aceptado: 3 de diciembre de 2025  
Publicado: 30 de enero 2026  
<https://doi.org/10.33064/iycuaa2026978372>  
e8372

### **RESUMEN**

La creciente crisis ambiental exige replantear los modelos productivos tradicionales hacia alternativas más sostenibles. Este artículo tiene como objetivo analizar las estrategias clave para el desarrollo de ecoindustrias en México, basadas en energías renovables, principios de ingeniería verde y modelos de economía circular. Para ello, se realizó una revisión documental y comparativa de reportes científicos, regulatorios e institucionales, identificando los avances y desafíos del país. Los resultados muestran que, aunque México ha fortalecido su capacidad en energías limpias y prácticas de reciclaje industrial, persisten barreras normativas y tecnológicas que frenan la transición. Se concluye que la integración articulada de estas estrategias favorecería un modelo industrial más competitivo, resiliente y ambientalmente responsable.

**Palabras clave:** Ecoindustrias; economía circular; energías renovables; ingeniería verde; sostenibilidad industrial

### **ABSTRACT**

The growing environmental crisis demands a rethinking of traditional production models in favor of more sustainable alternatives. This article aims to analyze key strategies for developing eco-industries in Mexico, based on renewable energy, green engineering principles, and circular economy models. For that, a documentary and comparative review of scientific, regulatory, and institutional reports was conducted to identify national progress and challenges. Results indicate that although Mexico has advanced in clean energy

capacity and industrial recycling practices, regulatory and technological barriers still hinder the transition. It is concluded that the integrated implementation of these three strategies could foster a more competitive, resilient, and environmentally responsible industrial model.

**Keywords:** Circular economy; eco-industries; green engineering; industrial sustainability; renewable energy

## INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad se ha convertido en uno de los conceptos más relevantes del siglo XXI, al ser ya una necesidad imperante para el bienestar de las generaciones presentes y futuras. Tal como lo define el informe Brundtland, esta busca “satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras...” (World Commission on Environment and Development [WCED], 1987), y representa un desafío transversal en los sistemas productivos, sociales y económicos. En este contexto, enfoques como la ingeniería verde, la economía circular y las energías renovables emergen como alternativas interconectadas para transformar los modelos industriales convencionales.

La ingeniería verde, basada en doce principios que promueven el uso de materiales seguros, la eficiencia energética y la reducción de residuos, propone rediseñar los procesos productivos desde su raíz (US Environmental Protection Agency [EPA], 2024; National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine [NASEM], 2021a; 2021b). Su aplicación ha permitido avances en construcción sustentable, ecodiseño y gestión del agua, así como la implementación de normativas en México como la NOM-ENER-2018 (Naciones Unidas, 2023). Por su parte, la economía circular y las ecoindustrias orientan sus esfuerzos a cerrar ciclos productivos mediante la regeneración de materiales y la simbiosis industrial, reduciendo impactos ambientales y generando valor económico (Ellen MacArthur Foundation, 2021; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2023).

En México, pese al alto potencial técnico y natural, la transición hacia modelos sostenibles presenta barreras regulatorias y tecnológicas que deben superarse mediante marcos normativos sólidos, innovación aplicada y formación especializada (EPA, 2024; United Nations Environment Programme [UNEP], 2022). No obstante, el país cuenta con la oportunidad estratégica de consolidarse como líder regional si integra de forma efectiva estos tres ejes en su desarrollo industrial.

Este artículo analiza dicha integración a través de una metodología de revisión documental y análisis comparativo de reportes científicos, regulatorios e institucionales. Su estructura aborda, en ese orden, los avances y desafíos en ingeniería verde, energías renovables y economía circular en México, además de presentar casos de éxito y perspectivas

temporales de implementación. Así, se propone una reflexión crítica que evidencia la necesidad urgente de adoptar la sostenibilidad como marco operativo para la competitividad y resiliencia industrial del país.

#### *El desarrollo de la ingeniería verde y su aplicación industrial*

A principios del siglo XX y tras la Revolución Industrial, los procesos productivos se enfocaban en satisfacer la demanda en masa. Después la perspectiva se centró en reducir los tiempos de fabricación, lo cual permitió el acceso a más empresas y la instauración de un mercado competitivo.

Por consiguiente, el mercado promovió el incremento exponencial de la demanda de recursos y energía, esto orilló a los gobiernos a elaborar legislaciones en materia de protección ambiental, contemplando el desarrollo sostenible y nuevas ideas para conseguirlo, entre ellas la ingeniería verde (Medina, 2022).

Específicamente, la ingeniería verde se encarga del diseño de productos, así como la implementación de procesos económicamente viables que buscan reducir los impactos ambientales en su ciclo de vida, evitar riesgos a la salud y aumentar la sostenibilidad (Ijaz *et al.*, 2024).

Actualmente, gran cantidad de industrias compiten con productos generados bajo una planeación que involucra la ingeniería verde, tal es el caso del aprovechamiento de la energía solar a través de paneles fotovoltaicos, que ya son comunes en empresas y hogares (Roets, 2021).

Asimismo, en México, en 1997 se llevó a cabo el proyecto Sinergia de subproductos en el complejo petroquímico de Altamira-Tampico, en donde las empresas petroquímicas de la zona colaboraron para reutilizar sus residuos industriales (Morales *et al.*, 2019).

#### *Las energías renovables y su desarrollo tecnológico actual*

Las energías renovables proporcionan aproximadamente el 29% de la electricidad del mundo y mitigan emisiones de gases contaminantes. En la Conferencia de la ONU sobre Cambio Climático de 2024 se exhortó a triplicar la capacidad de energía renovable y duplicar la eficiencia energética para 2030. En México, a pesar de que entre 2019 y 2023 la generación de electricidad con fuentes renovables aumentó 31.8% (Secretaría de Energía [SENER], 2023), el panorama energético sigue dominado por fuentes fósiles (figura 1) (Porrás, 2024).

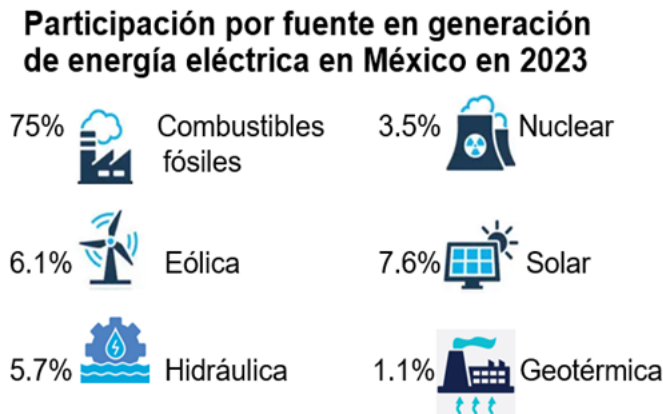


Figura 1. Participación por fuente en generación de electricidad.

Fuente: Agencia Internacional de Energía, 2025.

Las transiciones energéticas están impulsadas por cambios tecnológicos (Engineering Institute of Technology [EIT], 2025), por ejemplo:

- Toyota Motor Corp. (2023) desarrolla baterías de estado sólido con electrolito cerámico o polimérico y mayor densidad de energía
- Almacenamiento térmico: sales fundidas y materiales de cambio de fase se investigan para almacenar energía térmica (García & Rodríguez, 2020).
- Tecnologías de reservorios geotérmicos mejorados: mejoran la eficiencia de transmisión calorífica al estimular el subsuelo (Khankishiyev & Salehi, 2024).
- Electrólisis de Alta Temperatura (600–1000 °C): alimentada por fuentes renovables (solar o geotérmica) se produce hidrógeno verde (Olabi *et al.*, 2021).

#### *Economía ambiental y circular en la industria*

La economía ambiental se centra en la internalización de las externalidades negativas a través de herramientas de mercado, es decir, que los costos ecológicos sean asumidos por quienes los generan, en cambio la economía circular sugiere una reestructuración integral del modelo de producción y consumo con el fin de alcanzar la regeneración de recursos y la reducción de residuos a través del uso prolongado de los materiales y la recuperación de valor al final de la vida útil de los productos (Vargas *et al.*, 2022).

A nivel mundial, diversas regiones han implementado el uso de instrumentos de economía ambiental que, a su vez, han generado un efecto significativo en el progreso de los sectores industriales (Oghazi *et al.*, 2024).

A pesar de que en México la adopción de estos modelos aún se encuentra en una fase inicial, ya se está progresando de manera notable. Investigaciones de Loza y Arroyo (2023) refieren que algunas empresas internacionales del sector automotriz y consumo masivo han comenzado a incorporar prácticas de ecodiseño, particularmente en el reaprovechamiento del agua, así como el uso de energías renovables, pero no han logrado consolidar la remanufactura y la simbiosis industrial.

La economía circular se centra en modificar el modelo tradicional lineal adoptado por la industria, el cual consta de tomar-fabricar-desechar, en lugar se opta por aplicar estrategias de ecodiseño, reutilización, reparación, remanufactura, reciclaje y recuperación energética, que se integran en las diferentes etapas de producción (Kazakova & Lee 2022). Por su parte, en un estudio de García-Castillo *et al.* (2024) realizó un análisis de plantas de tratamiento de aguas residuales que incorporan la economía circular y la ecoinnovación, resultando en beneficios tanto para el entorno, como para la economía.

En México, existen diversos factores que complican una correcta implementación conjunta de ambos métodos, tales como problemas regulatorios, carencia de incentivos financieros, limitaciones en las capacidades técnicas, informalidad en la gestión de los residuos, y una cultura industrial lineal. Sin una política industrial que impulse tecnologías circulares y refuerce el sector productivo, dichas iniciativas permanecerán aisladas (Loza & Arroyo 2023).

#### *Estrategias a nivel mundial para implementar ecoindustrias*

La concepción del término "ecología industrial" se dio en la década de 1970 y desde entonces se ha consolidado como una disciplina que pretende transformar los procesos y sistemas industriales para reducir su impacto ambiental.

A través de esto, surgen las ecoindustrias, empresas que integran el enfoque de la ecología industrial al desarrollo de sus procesos, para traer consigo beneficios económicos, sociales y ambientales (Rivera & Ramírez, 2020).

Actualmente, la preocupación por el deterioro ambiental obliga a las industrias de todo el mundo a tener mayor conciencia del impacto de sus actividades y también a que adopten estrategias que contribuyan a que se alcancen los compromisos globales que se tienen en el sector ambiental (Córdova *et al.*, 2020).

De esta manera, las estrategias más comunes para transicionar a la implementación de eco-industrias, son:

- Economía circular, que plantea un modelo que busca maximizar el uso de recursos y materiales durante los procesos productivos de una empresa, para generar mínimos residuos (Cruz & Ramírez, 2024).
- Mercadeo verde, es la planificación y el control de lo relacionado con un producto, contemplando el mínimo impacto negativo (Bhardwaj *et al.*, 2023).
- Realizar un análisis de eficiencia energética, además de incorporar energías renovables (Wheatley, 2024).
- Creación de normas ambientales y estricto seguimiento por parte de las autoridades correspondientes (Organisation for Economic Co-operation [OECD], 2025).

En México, existen diferentes ecoindustrias, tal es el caso de: Bio-Papel, que es considerada la empresa más grande de América Latina, dedicada al reciclaje, por lo que no promueve la deforestación y además reutiliza el agua en procesos industriales (Bio Pappel, 2025).

Por otro lado, Enlight también entra en esta categoría al dedicarse a la instalación de paneles fotovoltaicos, evitando así la emisión de alrededor de 70 000 toneladas de dióxido de carbono (Enlight, 2022).

#### *Eco-industrias en México: estado actual, marco de referencia y casos de éxito*

En México, se han implementado acciones para reducir desechos y promover la producción industrial menos contaminante. Programas como el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos (DBGIR) establecen lineamientos para el manejo adecuado de residuos (SEMARNAT e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC], 2020). Por lo tanto, el país ha incentivado la reutilización en el sector químico, alimentario y de la construcción (Sánchez, 2025).

De igual forma, la ecoindustria responde a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) promulgada en 1988 para el cuidado de la calidad del aire y el tratamiento de aguas residuales. Por ejemplo, en Cihuatlán, Jalisco, el humedal artificial construido en 2021 por el gobierno municipal, Pronatura México, Coca-Cola y Arca Continental trata agua urbana para la producción agroforestal sostenible (Arca Continental, S.A.B. de C.V., 2025).

Otro caso de éxito en sostenibilidad es grupo AIEn, empresa regiomontana de productos de limpieza que tiene plantas de reciclaje de plástico y realiza prácticas agroforestales de acuerdo con la Forbes (Grupo AIEn, 2023a). Sus fábricas cuentan con el certificado de "Industria Limpia" por su ahorro energético y de agua, así como su reducción en emisiones y residuos (Grupo AIEn, 2023b).

#### *Perspectiva a futuro: el corto, mediano y largo plazo para la ecoindustria mexicana*

En el escenario global, México. está en una etapa crítica para fomentar su transición hacia las energías limpias. El gobierno mexicano se ha comprometido a lograr un 45% de energía renovable para el año 2030, rectificando la política previa que promovía los combustibles fósiles (Associated Press, 2024). En este contexto, es esencial que la visión futura considere estas presiones externas como impulsores de la transformación.

En un horizonte a corto plazo (1 a 5 años) se proponen una exhaustiva regulación, e infraestructura, el primero abarca desde la distribución solar descentralizada, donde se propone aumentar el límite de generación distribuida de 0.5 MW a 1 MW, lo que permitirá a parques industriales y grandes empresas instalar sus propios paneles solares (Financial Times, 2024).

A su vez se propone implementar tecnología de reciclaje modular, el análisis de García-Castillo *et al.*, (2024) resalta la relevancia de los modelos de negocio ecoinnovadores, como las plataformas de reutilización y reciclaje en plantas de tratamiento, que pueden ser implementados con incentivos públicos.

Además, en un periodo medio (5 a 10 años), se sugieren dos aspectos clave. El primero es la creación de biorrefinerías, pues al utilizar los residuos agrícolas y urbanos, estas instalaciones transformarían la biomasa en combustibles, sustancias químicas y bioplásticos sostenibles, mientras adoptan los principios de una economía circular (Mercado Circular, 2025).

El segundo aspecto es la ecoinnovación en la producción. El estudio de Rodríguez *et al.* (2022) muestra que las compañías mexicanas están optando por la ecoinnovación debido a las presiones del mercado y de los consumidores; los estímulos financieros están abriendo la vía para esta transición hacia procesos más respetuosos con el medio ambiente.

A largo plazo (mayor a 10 años) se propone la generación de la transformación estructural y sinergias industriales, lo cual contempla la simbiosis industrial, esta consiste en que los ecoparques intercambien subproductos y energía, lo que es una excelente manera de

optimizar recursos y reducir desperdicios, este modelo efectivo ya prospera en países avanzados, por lo que podría adaptarse para su uso en México.

Así mismo, se sugiere la creación de infraestructura de hidrógeno verde y energía renovable a gran escala. La inversión considerable en proyectos de hidrógeno verde, como los que se han llevado a cabo en el Istmo de Tehuantepec, no solo facilitaría la descarbonización de la energía, sino que también impulsaría la generación de nuevas industrias que generen valor y sean exportables.

En México, la ecoindustria afronta un futuro repleto de posibilidades, siempre que se optimice la utilización de la energía solar distribuida, se impulse la biorrefinería, se impulse la digitalización en la circularidad y se ponga el foco en el hidrógeno verde (De la Cruz *et al.*, 2024).

Para lograrlo, es fundamental que el marco normativo se conserve estable, que se garantice el financiamiento estratégico, intensifique la formación y formalización del sector. Con esto, México posee la posibilidad de transformarse en un referente en ecoindustrialización, generando empleos, disminuyendo emisiones y proporcionando beneficios competitivos a escala mundial.

## **CONCLUSIONES**

La transición hacia un modelo industrial sostenible en México depende de la integración estratégica de las energías renovables, la ingeniería verde y la economía circular. Estos tres pilares no solo ofrecen soluciones técnicas y ambientales, sino que constituyen la base para fortalecer la competitividad y resiliencia del sector productivo. En cuanto a energías renovables, México ha mostrado avances significativos, pero aún enfrenta una fuerte dependencia de combustibles fósiles.

Las estrategias prioritarias como la expansión de la generación distribuida y la inversión en hidrógeno verde son determinantes para reducir emisiones y diversificar la matriz energética.

La ingeniería verde, con sus principios de eficiencia y seguridad ambiental, ha comenzado a incorporarse en normativas y proyectos sustentables. No obstante, su consolidación requiere fortalecer la innovación, el diseño ecoeficiente y la formación profesional. Por su parte, la economía circular plantea una reconfiguración del modelo productivo mediante la regeneración de materiales y la simbiosis industrial. Aunque existen casos de éxito, su adopción aún es limitada, y depende de incentivos regulatorios y financieros más sólidos.



En resumen, el desarrollo sostenible en México exige articular estas tres estrategias con políticas públicas coherentes y un ecosistema de innovación que permita avanzar de manera integral hacia una industria más limpia, eficiente y competitiva a largo plazo.

## REFERENCIAS

- Agencia Internacional de Energía. (2025, enero 30). *El crecimiento de la demanda energética mundial se disparó en 2024, casi el doble de su promedio reciente*. IEA. <https://www.iea.org/news/growth-in-global-energy-demand-surged-in-2024-to-almost-twice-its-recent-average>
- Arca Continental, S.A.B. de C.V. (2025). *Arca Continental is included in DJSI World 2024 among sustainability-leading companies*. Business Wire.
- Associated Press. (2024). Mexico's new president vows to accelerate renewable energy push. AP News. Recuperado de <https://apnews.com/article/93a78b5f2c22d1eab0494a3d6dfaa5e9>
- Bhardwaj, S., Nair, K., Tariq, M. U., Ahmad, A. H., & Chitnis, A. (2023). The state of research in green marketing: A bibliometric review from 2005 to 2022. *Sustainability*, 15(4), 2988. <https://doi.org/10.3390/su15042988>
- Bio Pappel. (2025). *Sitio oficial de Bio Pappel*. <https://www.biopappel.com>
- Córdova-Quiroz, V., Díaz-Cruz, A., & Martínez-Campos, R. (2020). Análisis del tratamiento de aguas residuales y su aprovechamiento en México. *PAAKAT: Revista de Tecnología y Sociedad*, 10(19), 1–17. <https://www.redalyc.org/pdf/993/99342682007.pdf>.
- Cruz Hernández, A., & Ramírez Hernández, A. (2024). *Estrategias para implementar procesos sustentables de producción*. [https://www.researchgate.net/publication/379506969\\_Estrategias\\_para\\_Implementar\\_Procesos\\_Sustentables\\_de\\_Produccion](https://www.researchgate.net/publication/379506969_Estrategias_para_Implementar_Procesos_Sustentables_de_Produccion)
- De la Cruz-Soto, J., Azkona-Bedia, I., Cornejo-Jiménez, C., & Romero-Castañón, T. (2024). Assessment of levelized costs for green hydrogen production for the national refineries system in Mexico. *International Journal of Hydrogen Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.03.316>
- Engineering Institute of Technology. (2025, marzo 14). *Las 5 principales tendencias de la ingeniería verde*. <https://www.eit.edu.au/top-5-green-engineering-trends/>.
- Ellen MacArthur Foundation. (2021). Completing the picture: How the circular economy tackles climate change. Recuperado de <https://ellenmacarthurfoundation.org/completing-the-picture>

- Enlight. (2022, junio 14). Presenta Enlight panorama de energías sustentables y el futuro de la energía solar. <https://www.enlight.mx/press/presenta-enlight-panorama-de-energias-sustentables-y-el-futuro-de-la-energia-solar>
- Financial Times. (2024). *Mexico plans to lift cap on distributed solar power*. Financial Times. Recuperado de <https://www.ft.com/content/28bfd4d8-9d4a-4ad2-806f-499fc24c0a66>
- García-Castillo, C., Maldonado-Villalpando, E., Seguí-Amórtégui, L., & Guerrero-García-Rojas, H. (2024). Circular Economy, Eco-Innovation and Business in the Operation of Wastewater Treatment Plants in Mexico. *Resources*, 13(7), 87. <https://doi.org/10.3390/resources13070087>
- García-Ramírez, D. A., & Rodríguez, J. F. (2020). Evaluación de sistemas de almacenamiento térmico en proyectos solares de concentración en México. *Boletín del Instituto de Energías Renovables UNAM*, 15(1), 22–29.
- Grupo AIEn. (2023a). *Informe de sostenibilidad 2022*. <https://www.grupoalen.com/wp-content/uploads/2023/10/Informe-de-Sostenibilidad-2022.pdf>
- Grupo AIEn. (2023b). *Planta Guadalajara re-certificada por PROFEPA como Industria Limpia*. <https://www.grupoalen.com/noticias/planta-guadalajara-re-certificada-profepa-industria-limpia>
- Ijaz, T., Qazalbash, A. H. R., Razzaq, A. A., Rafique, M. Z., Khan, M. A., & Jamshaid, S. H. (2024). Development of green manufacturing implementation framework based on life-cycle assessment. *Sustainable Environment Research*, 34(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s42834-024-00229-7>
- Kazakova, E., & Lee, J. (2022). *Sustainable manufacturing for a circular economy*. *Sustainability*, 14(24), 17010. <https://doi.org/10.3390/su142417010>
- Khankishiyev, O., & Salehi, S. (2024). *Perforación en rocas duras para el desarrollo de sistemas geotérmicos mejorados supercalientes: Revisión de literatura y análisis tecnoeconómico* [Preprint]. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2402.14824>
- Loza Hernández, L., & Arroyo, P. (2023). Actions to promote circular economy: Case study of multinational manufacturers in the automotive and fast-moving consumer goods in Mexico. *Acta Universitaria*, 33, 1–20. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3798>
- Medina Villa, G. I. (2022). Ingeniería verde aplicada, hacia la evolución sostenible de los sistemas de producción industrial. *Revista Especializada de Ingeniería y Ciencias de la Tierra*, 3(2), 138–157. <https://revistas.up.ac.pa/index.php/REICIT/article/view/3061/2727>

- Mercado Circular. (2025). *Biorefineries: Mexico's sustainable future*. Recuperado de <https://mercadocircular.cl/biorefineries-mexicos-sustainable-future/>
- Morales, M. E., Diemer, A., Cervantes, G., & Carrillo-González, G. (2019). By-product synergy changes in the industrial symbiosis dynamics at the Altamira-Tampico industrial corridor: 20 years of industrial ecology in Mexico. *Resources, Conservation & Recycling*, 140, 235–245. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344918303598>
- Naciones Unidas. (2023). *The Sustainable Development Goals Report 2023*. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2021a). *Sustainable chemistry: A framework for innovation in the chemical sciences*. The National Academies Press.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2021b). *Sustainable development through the principles of green engineering*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11577>
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2025). *OECD regulatory policy outlook 2025*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/56b60e39-en>
- Oghazi, P., Mostaghel, R., & Hultman, M. (2024). International industrial manufacturers: Mastering the era of digital innovation and circular economy. *Technological Forecasting and Social Change*, 201, 123160. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.123160>
- Olabi, A. G., Abdelghafar, A. A., Baroutaji, A., Sayed, E. T., Alami, A. H., Rezk, H., & Abdelkareem, M. A. (2021). Large-scale hydrogen production and storage technologies: Current status and future directions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(45), 23498–23528. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.05.036>
- Porras, P. D. N. (2024, septiembre 9). A pesar del crecimiento de las energías renovables, los combustibles fósiles seguirán siendo una parte significativa de la matriz energética de México. *Climate Scorecard*. <https://www.climatescorecard.org/2024/09/despite-the-growth-in-renewables-fossil-fuels-will-likely-remain-a-significant-part-of-mexicos-energy-mix/>
- Rivera-Alfaro, H. de J., & Ramírez-Zamora, R. M. (2020). Tratamiento de aguas residuales en México: situación actual y perspectivas. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 11(3), 151–170. <https://www.redalyc.org/pdf/816/81629469013.pdf>

- Rodríguez-Espíndola, O., Cuevas-Romo, A., Chowdhury, S., Díaz-Acevedo, N., Albores, P., Despoudi, S., Malesios, C., & Dey, P. (2022). The role of circular economy principles and sustainable-oriented innovation to enhance social, economic and environmental performance: Evidence from Mexican SMEs. *International Journal of Production Economics*, 248, 108495. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108495>
- Roets, A. (2021, marzo 12). *Top 5 green engineering trends*. Engineering Institute of Technology. <https://www.eit.edu.au/top-5-green-engineering-trends/>
- Sánchez, I. (2025). Reutilización de residuos industriales como materia prima en la industria química: Caso México. CANACINTRA León. <https://canacintraleon.org.mx/reutilizacion-de-residuos-industriales-como-materia-prima-en-la-industria-quimica-caso-mexico/>
- Secretaría de Energía. (2023). Balance nacional de energía 2022 [Informe]. Subsecretaría de Planeación y Transición Energética, Dirección General de Planeación e Información Energéticas. [https://www.energia.gob.mx/sites/default/files/BNE\\_2022.pdf](https://www.energia.gob.mx/sites/default/files/BNE_2022.pdf)
- SEMARNAT & INECC. (2020). *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. <https://www.gob.mx/inecc/documentos/diagnostico-basico-para-la-gestion-integral-de-los-residuos>
- SEMARNAT. (2023). *Informe sobre el estado del medio ambiente en México*. <https://www.gob.mx/semarnat>
- Toyota Motor Corporation. (2023, septiembre 12). *Toyota anuncia su hoja de ruta para baterías de estado sólido*. <https://global.toyota/en/newsroom/corporate/>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2022). State of environment and sustainability in Latin America. Nairobi: UNEP.
- US Environmental Protection Agency. (2024). *About Green Engineering*. Washington, DC: EPA. <https://www.epa.gov/green-engineering/about-green-engineering>
- Vargas-Merino, J. A., Rios-Lama, C. A., & Panez-Bendezú, M. H. (2022). Circular economy: Approaches and perspectives of a variable with a growing trend in the scientific world—A systematic review of the last 5 years. *Sustainability*, 14(22), 14682. <https://doi.org/10.3390/su142214682>
- Wheatley, M. C. (2024). Advancements in renewable energy technologies: A decade in review. *Premier Journal of Science*, 1, 100013. <https://premierscience.com/pjs-24-256/>

- World Commission on Environment and Development. (1987). *Our common future*. Oxford: Oxford University Press.