

# Desafíos y oportunidades en la adopción de energías renovables: hacia un futuro sostenible

## Resumen

Actualmente, la sociedad enfrenta la necesidad crítica de transitar de los combustibles fósiles hacia energías renovables como la solar, la eólica y la bioenergía. En este artículo se analizan, para cada tipo de energía, los obstáculos técnicos, económicos y sociales, así como las oportunidades que ofrecen para la innovación y el desarrollo sostenible. Se presentan datos recientes de costos de generación en los casos de Alemania, Uruguay, Brasil y Colombia, y se discute el papel de las políticas públicas, con énfasis en el caso mexicano.

## Abstract

Today, society faces the critical need to transition from fossil fuels toward renewable energy sources such as solar, wind, and bioenergy. This article analyzes, for each type of energy, the technical, economic, and social obstacles, as well as the opportunities they offer for innovation and sustainable development. Recent generation-cost data are presented for the cases of Germany, Uruguay, Brazil, and Colombia, and the role of public policies is discussed, with an emphasis on the Mexican case.

## Introducción

Desde la Revolución Industrial, el desarrollo tecnológico ha dependido de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), lo que ha generado contaminación atmosférica, emisiones de CO<sub>2</sub> y desastres asociados a su extracción y transporte. Pese a la diversificación de la matriz energética, en 2023 los fósiles representaron cerca del 80% del consumo global de energía primaria y siguen siendo la columna vertebral del transporte y de gran parte de la generación eléctrica (IEA, 2024). Frente a este escenario, acuerdos como el de París impulsan la transición hacia las fuentes solar, eólica y de bioenergía, las cuales reducen el impacto ambiental en la medida en que su despliegue se acompaña de evaluaciones adecuadas, ya que no están exentas de efectos sobre los ecosistemas.



Las energías renovables son, además, cada vez más rentables. Entre 2010 y 2024, el costo nivelado de electricidad (LCOE, por sus siglas en inglés: *levelized cost of electricity*), que representa el costo promedio por kilovatio-hora a lo largo de la vida útil de una instalación, cayó 91% para la solar fotovoltaica (de 0.460 a 0.043 USD/kWh) y de 0.111 a 0.034 USD/kWh para la eólica terrestre. En 2023, el LCOE promedio de los combustibles fósiles rondaba los 0.100 USD/kWh, por lo que generar electricidad con sol o viento es hoy entre dos y tres veces más barato que con carbón o gas natural (IRENA, 2025a). El principal reto es la intermitencia del sol y del viento, que exige almacenamiento y redes capaces de gestionar fuentes distribuidas. En este artículo se abordan, para cada tipo de energía renovable (solar, eólica y bioenergía), los retos técnicos, económicos y sociales, así como las oportunidades asociadas, en el caso de varios países y de México.

■ **Energía solar: desafíos y oportunidades**

■ *Generalidades*

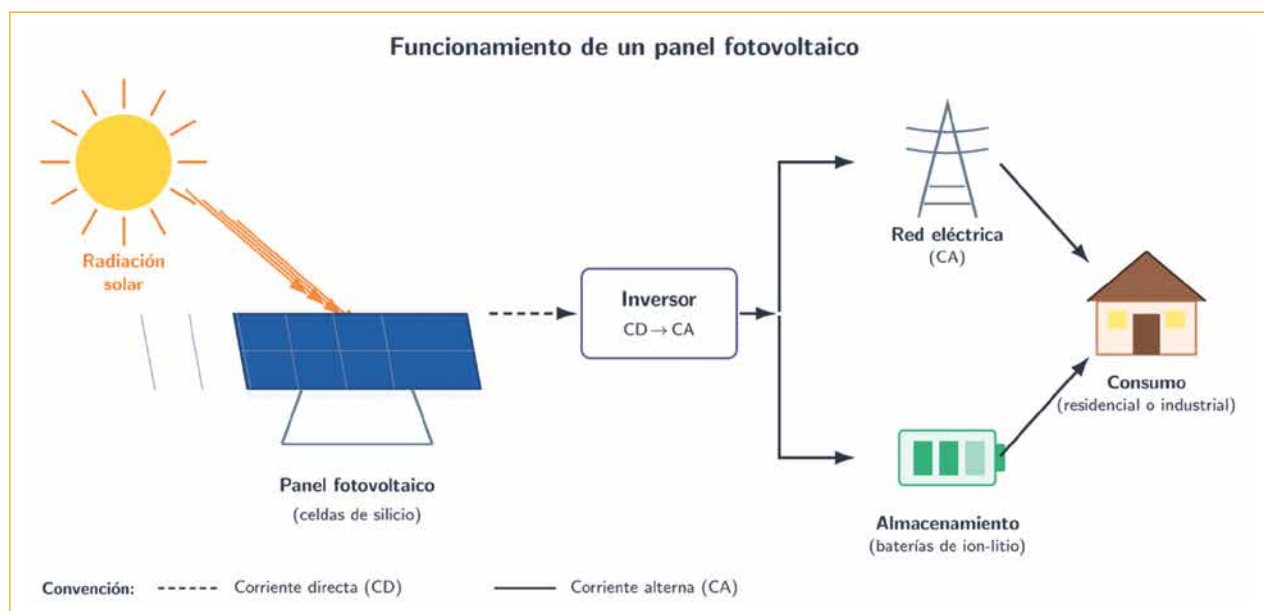
■ La energía solar aprovecha la radiación del sol con fines térmicos o eléctricos. En el caso fotovoltaico,

las celdas convierten la luz en electricidad mediante el efecto fotoeléctrico (Figura 1); en el caso térmico, la radiación calienta un fluido que se emplea en procesos industriales o en la generación de vapor. La capacidad fotovoltaica instalada supera los 1.6 TW y crece a un ritmo superior al de cualquier otra fuente eléctrica (IRENA, 2025b).

*Desafíos*

El principal reto técnico es la intermitencia: la nubosidad puede reducir la generación entre 10 y 25% respecto a un día despejado. Las baterías de ion-litio mitigan este problema; sin embargo, aunque su costo cayó 93% entre 2010 y 2024 (de 2 571 a 192 USD/kWh de capacidad instalada) (IRENA, 2025a), la inversión sigue siendo considerable.

En lo económico, pese a que el costo total instalado promedio bajó a 691 USD/kW en 2024 (87% menos que en 2010, IRENA, 2025a), la eficiencia comercial (entre 20 y 30%) exige superficies extensas. La adopción depende de políticas que combinen incentivos fiscales, tarifas de alimentación garantizadas y estabilidad regulatoria; su ausencia frena el despliegue masivo (Al-Shetwi, 2022).



**Figura 1.** Esquema del funcionamiento de un panel fotovoltaico: la radiación solar incide sobre las celdas de silicio, que generan corriente directa (CD); un inversor la convierte en corriente alterna (CA), la cual puede inyectarse a la red eléctrica o almacenarse en baterías para abastecer el consumo residencial o industrial. Elaboración propia.

**Oportunidades**

La energía solar puede democratizar el acceso a la electricidad mediante sistemas que van desde plantas a gran escala hasta instalaciones residenciales, reduciendo la pobreza energética en comunidades urbanas y aisladas. Innovaciones en materiales como las **perovskitas** y las celdas solares de película delgada amplían la integración arquitectónica y la eficiencia. El sector impulsa el empleo en áreas de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM, según las siglas en inglés) y la participación comunitaria mediante cooperativas solares y programas de capacitación.

**Energía eólica: desafíos y oportunidades**

**Generalidades**

La energía eólica convierte la fuerza del viento en electricidad mediante aerogeneradores: el viento hace

girar las aspas, que transfieren energía a un generador acoplado al rotor (**Figura 2**). Existen instalaciones terrestres (*onshore*), de menor costo y despliegue más rápido, e instalaciones marinas (*offshore*), con mayor factor de capacidad y menor impacto visual, pero con una inversión considerablemente mayor.

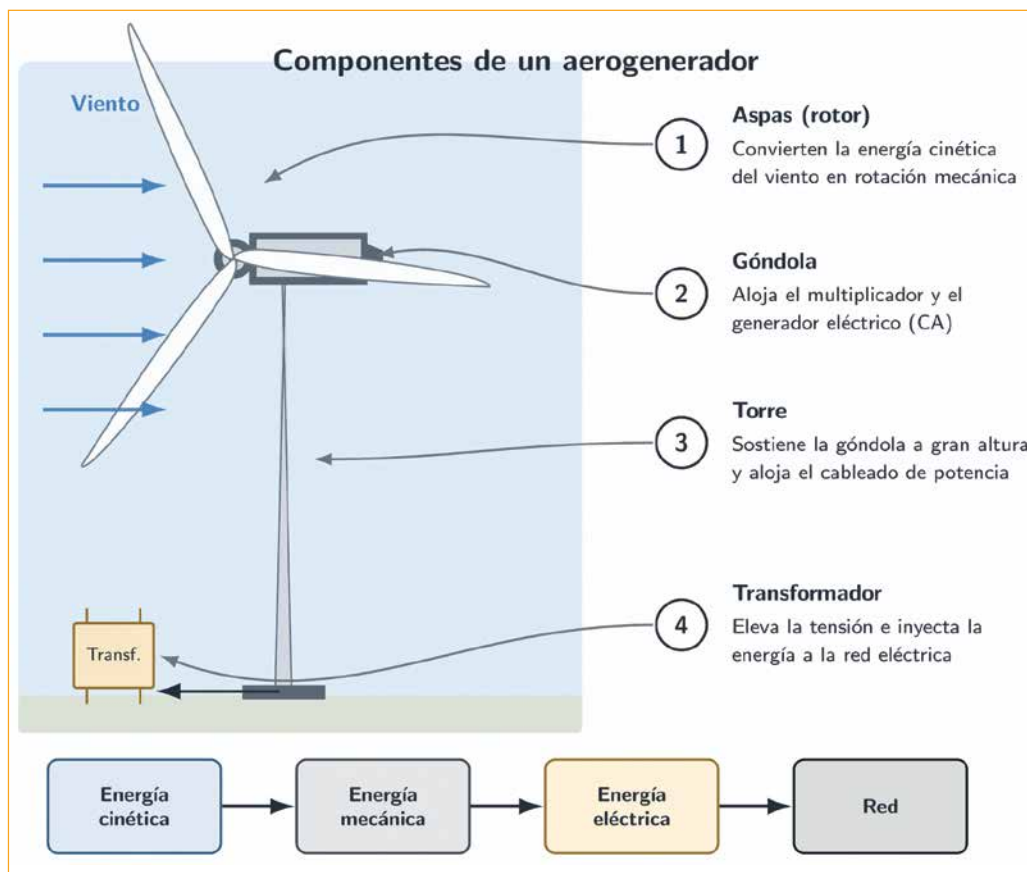
**Desafíos**

La variabilidad del viento se gestiona con redes adaptables y almacenamiento. La instalación en lugares remotos implica retos logísticos, como la construcción de caminos de acceso y la conexión a las líneas de transmisión.

En lo económico, la eólica terrestre es hoy la electricidad renovable más barata del mundo, con un LCOE promedio global de 0.034 USD/kWh y un costo instalado de 1 041 USD/kW en 2024; la eólica marina alcanza los 0.079 USD/kWh y 2 852 USD/kW (IRENA, 2025a). Frente a los 0.100 USD/kWh de los

**Perovskitas**

Familia de materiales con una estructura cristalina característica que, aplicados a celdas solares, ofrecen alta eficiencia de conversión y bajo costo de fabricación; constituyen una de las tecnologías fotovoltaicas emergentes más prometedoras.



**Figura 2.** Componentes principales de un aerogenerador (aspas, góndola, torre y transformador) y flujo de conversión de la energía cinética del viento en energía eléctrica en corriente alterna inyectada a la red. Elaboración propia.

fósiles, la eólica terrestre es ~66% y la marina ~21% más barata. En lo social, la oposición por impacto visual y sonoro puede dificultar la expansión.

*Oportunidades*

La energía eólica es ya un pilar en regiones con buen recurso. Turbinas más grandes y eficientes aprovechan vientos a mayor altitud con menor impacto. Los parques eólicos generan ingresos rurales mediante arrendamientos a propietarios de terrenos y mejoran la percepción pública cuando los proyectos involucran y benefician directamente a las comunidades locales.

eólica, es despachable (puede generarse a demanda) y permite valorizar residuos agroindustriales que de otro modo representarían un pasivo ambiental.

*Desafíos*

La eficiencia de conversión varía con el tipo de biomasa y suele ser baja, lo que demanda avances tecnológicos. El LCOE global de la bioenergía se ubicó en 0.087 USD/kWh en 2024, valor superior al de la solar (0.043) y la eólica terrestre (0.034), aunque por debajo del de los fósiles (0.100); esta alza de 13% anual se debe a la volatilidad de los precios de la biomasa y a mayores costos de recolección, procesamiento y transporte (IRENA, 2025a). En lo social, suscita debate por las emisiones netas de carbono y por el uso de tierras que podrían destinarse a la producción de alimentos.

■ **Bioenergía: desafíos y oportunidades**

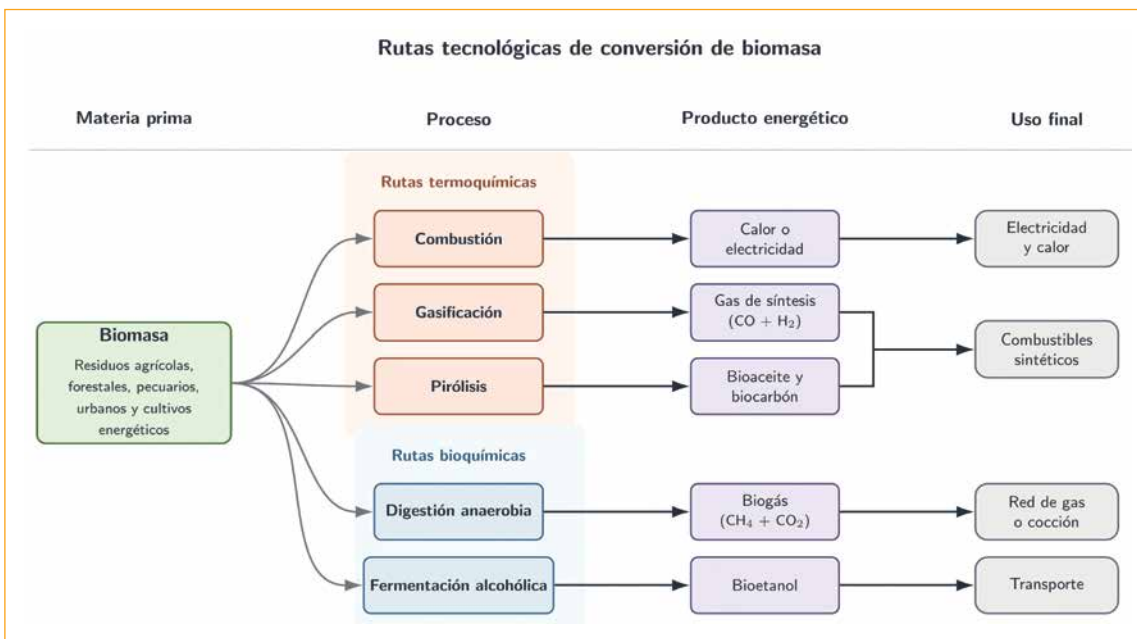
■ *Generalidades*

■ La bioenergía se obtiene de biomasa de origen vegetal, animal o residual, transformada por rutas termoquímicas (combustión, gasificación, pirólisis) o bioquímicas (digestión anaerobia, fermentación) en calor, electricidad, gases combustibles (biogás, hidrógeno) o biocombustibles líquidos (bioetanol, biodiésel) (Figura 3). A diferencia de la solar y la

*Oportunidades*

Cuando se basa en residuos orgánicos, la bioenergía articula gestión de desechos y producción energética: convierte residuos agrícolas, forestales y urbanos en energía, reduce gases de efecto invernadero y promueve un manejo sostenible del suelo. Genera empleo en agricultura y manufactura, y la investigación

**Digestión anaerobia**  
Proceso biológico en el que microorganismos descomponen materia orgánica en ausencia de oxígeno, generando biogás (rico en metano) y un residuo aprovechable como fertilizante.



**Figura 3.** Rutas tecnológicas de conversión de biomasa. Rutas termoquímicas (combustión, gasificación y pirólisis) y rutas bioquímicas (digestión anaerobia y fermentación alcohólica), con sus principales productos energéticos y usos finales. Elaboración propia.

en biocombustibles de segunda y tercera generación (a partir de algas y residuos no alimentarios) apunta a mayores eficiencias y menor conflicto con la producción de alimentos.

La **Figura 4** resume los principales retos y oportunidades de las tecnologías analizadas.

### Casos reales de implementación de energías renovables

En distintos países se han desarrollado proyectos pioneros que utilizan energías renovables y se apoyan en marcos regulatorios diseñados *ad hoc*. A continuación se presentan los casos de Alemania, Uruguay, Brasil y Colombia.

#### Alemania: líder en la transición energética

La iniciativa Energiewende ha reorientado el sistema energético alemán para reducir la dependencia de los fósiles. La Ley de Energías Renovables introdujo tarifas de alimentación garantizadas, un mecanismo que les asegura a los productores un precio fijo

por la electricidad que inyectan a la red durante un periodo determinado, lo que ha incentivado la inversión en energía solar y eólica. Con metas como la neutralidad climática para 2050, Alemania es un referente global en la gestión de la transición (Reichsteiner, 2021).

#### Uruguay: un modelo de éxito en América del Sur

Más del 95 % de la electricidad uruguaya proviene de fuentes renovables (hidroeléctrica, eólica y biomasa). La transición exigió cambiar la percepción pública de las renovables, expandir parques eólicos y modernizar la red, lo que generó empleo y redujo la dependencia de los combustibles fósiles. El caso ilustra cómo una visión gubernamental sólida y políticas adecuadas se traducen en cambios significativos (Jaeger, 2023).

#### Brasil: bioenergía y diversificación a gran escala

Cerca del 88 % de la electricidad brasileña proviene de fuentes limpias (hidroeléctrica, eólica y bioenergía) (IEA, 2024). Brasil produce bioetanol a partir

	 <b>Energía solar</b>	 <b>Energía eólica</b>	 <b>Bioenergía</b>
<b>Retos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intermittencia y dependencia de la luz solar.</li> <li>- Altos costos iniciales y necesidad de grandes áreas para instalación.</li> <li>- Falta de políticas coherentes para promover su adopción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Variabilidad del viento y necesidad de una red eléctrica adaptable.</li> <li>- Desafíos logísticos en la instalación.</li> <li>- Resistencia local por impactos visuales y sonoros.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Variabilidad en el proceso de conversión y baja eficiencia.</li> <li>- Altos costos de recolección y mantenimiento.</li> </ul>
<b>Oportunidades</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Potencial para democratizar el acceso a la energía.</li> <li>- Innovaciones en materiales y eficiencia energética.</li> <li>- Generación de empleo y fomento de la independencia energética.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avances en tecnología de turbinas para mayor eficiencia.</li> <li>- Impacto económico positivo en áreas rurales.</li> <li>- Mejora de la percepción pública hacia las renovables.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contribución a la gestión de residuos y reducción de emisiones.</li> <li>- Revitalización de industrias locales y estabilización de economías.</li> <li>- Investigación en biocombustibles de nueva generación.</li> </ul>

**Figura 4.** Retos y oportunidades de algunas energías renovables. Elaboración propia.

de caña de azúcar desde el programa Proálcool de los años setenta y aprovecha el bagazo en cogeneración. En paralelo, el noreste suma más de 30 GW eólicos gracias a subastas públicas y a contratos de largo plazo con precios competitivos (GWEC, 2026). El caso muestra cómo un marco regulatorio estable y una política agrícola alineada habilitan el despliegue masivo de biocombustibles y de fuentes variables de manera complementaria.

*Colombia: marco normativo y despliegue reciente de renovables no convencionales*

La generación colombiana fue tradicionalmente hidroeléctrica, pero la vulnerabilidad ante los fenómenos de El Niño impulsó la diversificación. La Ley 1715 de 2014 (Congreso de la República de Colombia, 2014) creó incentivos tributarios y administrativos para fuentes no convencionales, y las subastas de contratos de largo plazo desde 2019 adjudicaron más de 10 GW de proyectos solares y eólicos, principalmente en La Guajira (UPME, 2023). El caso ilustra cómo subastas bien diseñadas pueden acelerar la entrada de fuentes de energía renovables variables en sistemas previamente dominados por una sola fuente.



precios récord a nivel mundial para energía solar y eólica; sin embargo, su suspensión desde 2019 y los cambios regulatorios subsecuentes han frenado el ritmo: la participación de las energías limpias en la generación se mantiene en torno al 24 %, lejos de la meta (SENER, 2024).

En bioenergía, México dispone de un potencial técnico considerable a partir de residuos agrícolas (bagazo de caña, rastrojos), pecuarios y urbanos, con proyectos de biogás en las industrias tequilera, porcícola y lechera; sin embargo, la fracción es minoritaria por la falta de un marco regulatorio específico para biogás y biocombustibles avanzados, tarifas que reconozcan la valorización de residuos y eslabones logísticos de recolección y acopio. Cerrar estas brechas mediante normas para la inyección de biometano a la red, esquemas de compra pública preferente y apoyos focalizados a pequeños productores constituyen algunas de las principales áreas de oportunidad para acelerar la transición energética del país.

**Estándares de cartera renovable**  
Instrumento de política que obliga a las empresas suministradoras de electricidad a generar u obtener un porcentaje mínimo de su energía a partir de fuentes renovables.

**Financiamiento verde**  
Recursos económicos (créditos, bonos o inversiones) destinados específicamente a proyectos con beneficios ambientales, como las energías renovables o la eficiencia energética.

■ **Las políticas públicas y el estado de la bioenergía en México**  
■ La evidencia internacional sugiere que la velocidad de la transición depende menos del recurso disponible que del marco de las políticas públicas: incentivos fiscales, tarifas de alimentación garantizadas, subastas competitivas de largo plazo, **estándares de cartera renovable** y **financiamiento verde**. La discontinuidad o reversión de estas herramientas se traduce, de manera consistente, en una desaceleración de las inversiones.

México cuenta con un recurso solar, eólico y de biomasa excepcional. La Ley de Transición Energética estableció como meta que, al 2024, al menos el 35 % de la generación eléctrica debería provenir de fuentes limpias e introdujo los Certificados de Energías Limpias y las subastas eléctricas de largo plazo (DOF, 2015). Las subastas de 2016 y 2017 lograron

■ **Conclusión**  
■ Las energías renovables son esenciales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En 2024, el 91 % de la nueva capacidad renovable a escala de servicios públicos generó electricidad por debajo del costo de la alternativa fósil más barata, lo que evitó 467 000 millones de dólares en costos de combustibles fósiles a nivel mundial (IRENA, 2025a). Los casos de Alemania, Uruguay, Brasil y Colom-

bia muestran que el compromiso gubernamental y las políticas adecuadas hacen viable la transición. Para México, restablecer la continuidad de la política energética y desarrollar instrumentos específicos para la bioenergía son condiciones para acelerar el avance y aprovechar el potencial nacional.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a Conahcyt por la beca de manutención otorgada a O. D. Lara Montaña para sus estudios posdoctorales, y al Grupo Procesos de Investigación de Producción de Bioproductos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro por su apoyo en este trabajo.

### Óscar Daniel Lara Montaña

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro.  
oscar.lara@uaq.mx

### Claudia Gutiérrez Antonio

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro.  
claudia.gutierrez@uaq.mx; claugtez@gmail.com

### Manuel Toledano Ayala

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro.  
toledano@uaq.mx

### Referencias específicas

- Al-Shetwi, A. Q. (2022), “Sustainable development of renewable energy integrated power sector: Trends, environmental impacts, and recent challenges”, *Science of the Total Environment*, 822:153645. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153645>.
- Congreso de la República de Colombia (2014), “Ley 1715 de 2014 por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional”, *Diario Oficial No. 49.150*, Bogotá. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>, consultado el 27 de mayo de 2026.
- DOF (2015), “Ley de Transición Energética”, *Diario Oficial de la Federación*, Secretaría de Gobernación, México [en línea]. Disponible en: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5421295](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5421295), consultado el 27 de mayo de 2026.
- GWEC (2026), *Global Wind Report 2026*, Global Wind Energy Council, Bruselas. Disponible en: <https://www.gwec.net/reports/globalwindreport/>, consultado el 22 de abril de 2026.
- IEA (2024), *World Energy Outlook 2024*, International Energy Agency [en línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>, consultado el 27 de mayo de 2026.
- IRENA (2025a), *Renewable Power Generation Costs in 2024*, International Renewable Energy Agency [en línea]. Disponible en: <https://www.irena.org/Publications/2025/Jun/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2024>, consultado el 27 de mayo de 2026.
- IRENA (2025b), *Renewable Capacity Statistics 2025*, International Renewable Energy Agency [en línea]. Disponible en: <https://www.irena.org/Publications/2025/Mar/Renewable-capacity-statistics-2025>, consultado el 27 de mayo de 2026.
- Jaeger, J. (2023), *These 8 Countries Are Scaling Up Renewable Energy the Fastest*, World Resources Institute [en línea]. Disponible en: <https://www.wri.org/insights/countries-scaling-renewable-energy-fastest>, consultado el 27 de mayo de 2026.
- Rechsteiner, R. (2021), “German energy transition (Energiewende) and what politicians can learn for environmental and climate policy”, *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(2):305-342. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01939-3>.
- SENER (2024), *Reporte de avance de energías limpias. Segundo semestre 2023*, Secretaría de Energía [en línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/sener/articulos/reportes-de-avance-de-energias-limpias>, consultado el 27 de mayo de 2026.
- UPME (2023), *Plan de expansión de referencia generación-transmisión 2022-2036*, Unidad de Planeación Minero-Energética [en línea]. Disponible en: <https://www.upme.gov.co/>, consultado el 27 de mayo de 2026.