



GESTIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Hacia un sector hidrocarburos sostenible en México: Innovación en la medición de emisiones y liderazgo climático.

Towards a Sustainable Hydrocarbon Sector in Mexico: Innovation in Emissions Measurement and Climate Leadership.

Rumo a um Setor de Hidrocarbonetos Sustentável no México: Inovação na Medição de Emissões e Liderança Climática.

Sara Sandin Orea

Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores, México
sara.sandin@yahoo.com

Artículo de revisión

Enviado: 5/8/2025

Aprobado: 2/4/2026

Publicado: 30/4/2026

RESUMEN

En el presente estudio se examina la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector de exploración, producción y transporte de hidrocarburos en México (2000–2024), con énfasis en el dióxido de carbono y el metano derivados del venteo y la quema en antorcha. Se realizó una revisión sistemática de literatura científica, informes oficiales y datos operativos, aplicando metodologías validadas y análisis estadísticos especializados. El análisis se centró en empresas dedicadas exclusivamente a actividades de exploración y producción, excluyendo a las Sociedades de Propósito Especial y al segmento de refinación. Los resultados evidencian que, a pesar de la reducción en la producción petrolera, tanto el volumen de gas quemado como su intensidad han aumentado, y las emisiones de metano siguen subestimadas en los inventarios nacionales. Se identificó una brecha importante entre el marco regulatorio y su implementación, lo que limita la efectividad de las políticas de mitigación actuales. El estudio concluye que es necesario reforzar los sistemas de medición, reporte y verificación, incorporar tecnologías avanzadas y asegurar la aplicación efectiva del marco normativo. Estos hallazgos aportan evidencia clave para el desarrollo de políticas públicas y estrategias más eficaces orientadas a la sostenibilidad del sector.

Palabras clave: emisiones de gases efecto invernadero, industria del petróleo, quema de antorcha, medición de emisiones, metano, venteo de gas natural.

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the evolution of greenhouse gas emissions in Mexico's hydrocarbon exploration, production, and transportation sector, with emphasis on carbon dioxide and methane generated by venting and flaring. A systematic review of scientific literature, official reports, and operational data from 2000 to 2024 was conducted, using validated methodologies and specialized statistical analysis. Only structured companies dedicated to exploration and production were included, excluding SPVs and refining activities. Results showed that, despite the reduction in oil production, both the volume and intensity of gas flaring increased, with methane emissions underestimated in national inventories. A gap was identified between the regulatory framework and its implementation, limiting the effectiveness of mitigation policies. Main limitations included the underestimation of emissions in inventories and the lack of independent verification. It was concluded that strengthening the measurement, reporting, and verification of emissions, adopting

advanced technologies, and improving regulatory enforcement are necessary to advance towards the sector's sustainability. The findings may be applied to the design of public policies and mitigation strategies.

Keywords: emissions measurement, flaring, greenhouse gas emissions, methane, natural gas venting, oil industry.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi analisar a evolução das emissões de gases de efeito estufa no setor de exploração, produção e transporte de hidrocarbonetos no México, com ênfase no dióxido de carbono e no metano gerados por venting e queima em tochas. Realizou-se uma revisão sistemática da literatura científica, relatórios oficiais e dados operacionais de 2000 a 2024, utilizando metodologias validadas e análise estatística especializada. Foram incluídas apenas empresas com estrutura dedicada à exploração e produção, excluindo SPVs e atividades de refino. Os resultados mostraram que, apesar da redução na produção de petróleo, o volume e a intensidade da queima de gás aumentaram, com emissões de metano subestimadas nos inventários nacionais. Identificou-se uma lacuna entre o marco regulatório e sua implementação, limitando a efetividade das políticas de mitigação. Entre as principais limitações, destacaram-se a subestimação das emissões nos inventários e a falta de verificação independente. Concluiu-se que é necessário fortalecer a medição, o reporte e a verificação das emissões, adotar tecnologias avançadas e melhorar a aplicação da regulamentação para avançar rumo à sustentabilidade do setor. Os resultados podem ser aplicados ao desenho de políticas públicas e estratégias de mitigação.

Palavras-chave: emissões de gases com efeito de estufa, indústria petrolífera, medição de emissões, metano, queima, ventilação de gás natural.

INTRODUCCIÓN

La industria de los hidrocarburos continúa siendo una de las principales emisoras de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel global, en particular dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄), ambos con un impacto significativo en el cambio climático. En 2022, los combustibles fósiles representaron el 81% del suministro energético mundial, y su combustión fue responsable de más del 75% de las emisiones globales de CO₂ (International Energy Agency, 2023d, 2023e, 2024b; International Renewable Energy Agency, 2020). El metano, cuyo potencial de calentamiento global es hasta 86 veces superior al del CO₂ en un periodo de 20 años (Candell *et al.*, 2020; Sauniois *et al.*, 2020), reviste especial importancia debido a su elevada presencia en las actividades de exploración y producción de hidrocarburos (International Renewable Energy Agency, 2020).

En México, el sector energético mantiene una alta dependencia del petróleo y el gas natural, lo que ha consolidado al país como uno de los mayores emisores de CO₂ en América del Norte, con más de 380 millones de toneladas anuales derivadas de la quema de combustibles fósiles (International Energy Agency, 2023a, 2023e, 2025a). Aún más preocupante resulta el crecimiento sostenido de las emisiones de metano, frecuentemente subestimadas o reportadas de manera imprecisa (International Energy Agency, 2025a; National Oceanic and Atmospheric Administration, 2022). Pese a los compromisos internacionales asumidos por México —como el Acuerdo de París, el Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, la Iniciativa Global sobre Metano y el Global Methane Pledge—, los niveles de venteo y quema en antorcha siguen siendo elevados, incluso en escenarios de reducción de la producción petrolera los niveles de venteo y quema en antorcha siguen siendo elevados (Candell *et al.*, 2020; World Bank Group, 2024, 2025; Pitman y Ballesteros, 2024; Signos Vitales, 2022). La literatura científica y técnica reciente advierte

que la mayoría de los países subreporta sus emisiones de metano por falta de medición directa, y que los valores reales en el sector de petróleo y gas podrían superar en hasta un 80% las cifras declaradas oficialmente (Environmental Defense Fund, 2022; Global Reporting Initiative, 2023; Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2018; International Energy Agency, 2025b; LeBlanc, 2025; National Oceanic and Atmospheric Administration, 2022). Esta discrepancia compromete la precisión de los inventarios nacionales y limita la formulación de políticas basadas en evidencia (World Resources Institute, 2014). Si bien México ha avanzado en el fortalecimiento del marco normativo y en la creación de instrumentos como el Registro Nacional de Emisiones (RENE) y las Disposiciones Administrativas de Carácter General, persiste una brecha crítica entre la regulación existente y su implementación efectiva (Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos, 2018; Gobierno de México, 2025).

En este contexto, el presente artículo tiene como objetivo analizar el comportamiento de las emisiones de GEI en el sector hidrocarburos en México, con énfasis en aquellas derivadas del venteo y la quema en antorcha. El estudio examina el estado actual de la medición de estas emisiones, la confiabilidad de los reportes y el cumplimiento del marco regulatorio, integrando hallazgos recientes sobre subestimación, intensidad de quema y evolución de las prácticas operativas. El propósito central de la investigación es evaluar críticamente la evolución de las emisiones de CO₂ y CH₄ en el sector hidrocarburos mexicano y su vinculación con la normativa vigente y los compromisos internacionales de mitigación. De manera específica, se plantean los siguientes objetivos: (i) identificar los principales factores técnicos y normativos que contribuyen a la subestimación de emisiones; (ii) caracterizar la magnitud y las tendencias del venteo y la quema en antorcha entre 2012 y 2023; y (iii) proponer líneas de acción para fortalecer la medición, el reporte y la verificación de emisiones en el país.

La hipótesis que orienta esta investigación sostiene que, a pesar del fortalecimiento del marco regulatorio mexicano en materia de cambio climático y transparencia ambiental, las emisiones de metano y CO₂ asociadas al sector hidrocarburos continúan en aumento debido a deficiencias técnicas, institucionales y de gobernanza. El problema científico abordado radica en la persistencia de prácticas operativas ineficientes, como el venteo y la quema de antorcha, que generan impactos ambientales significativos y contradicen los compromisos internacionales de reducción de emisiones asumidos por México. Este estudio resulta relevante para la formulación de políticas públicas, la planificación energética y la gobernanza ambiental, al ofrecer una base empírica que permita mejorar los sistemas de reporte y monitoreo. Asimismo, contribuye al conocimiento técnico sobre emisiones fugitivas y refuerza el llamado internacional a una acción climática sustentada en evidencia científica verificable.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó a cabo una revisión sistemática de literatura científica y técnica sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el sector de hidrocarburos de México, con énfasis en la cuantificación de metano y dióxido de carbono derivados del venteo y la quema en antorchas. El periodo analizado abarcó de 2000 a 2024, centrándose en datos procedentes de instituciones clave como la Agencia Internacional de Energía, el Observatorio Mexicano de Emisiones de Metano, el Banco Mundial y la *National Aeronautics and Space Administration*.

Para la selección de información y datos, se incluyeron únicamente estudios cuantitativos que utilizaron metodologías validadas —tanto de enfoque descendente (top-down) como ascendente (bottom-up)—, así como documentación técnica e informes institucionales que integraron datos primarios (Environmental Defense Fund, 2022; World Resources Institute, 2011, 2014). Asimismo, se consideraron bases de datos oficiales sobre producción energética, matrices de emisión y registros

regulatorios correspondientes al periodo 2000–2024 (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2018, 2024; International Energy Agency, 2023f). Se excluyeron modelos teóricos sin aplicación empírica y datos no validados por organismos independientes o entidades de verificación reconocida (World Resources Institute, 2014). La recolección de información se sustentó en fuentes secundarias especializadas que contienen datos primarios, incluyendo 152 registros operativos de antorchas reportados por el Banco Mundial (World Bank Group, 2023), series temporales de producción petrolera de Pemex (2012–2022), e inventarios nacionales de emisiones proporcionados por el Observatorio Mexicano de Emisiones de Metano (2022) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2018, 2021).

Para la cuantificación de emisiones, se analizaron mediciones satelitales —particularmente del programa EMIT de la NASA (2022–2023)— orientadas a la detección de superemisores, así como el protocolo Tier 3 del Intergovernmental Panel on Climate Change para el cálculo de emisiones fugitivas (National Aeronautics and Space Administration, 2022). Las principales variables consideradas fueron la intensidad de quema (expresada en metros cúbicos de gas por barril de petróleo), la tasa de crecimiento anual compuesto de las emisiones y las discrepancias entre reportes oficiales y mediciones independientes.

Entre las limitaciones identificadas destacan una subestimación del 45% en los inventarios nacionales, el acceso restringido a datos primarios de instalaciones petroleras, la heterogeneidad en los protocolos de medición entre fuentes, la escasa verificación in situ de emisiones fugitivas y la limitada disponibilidad de tecnología. Se emplearon unidades de toneladas métricas (t), millones de toneladas (Mt) y equivalentes de dióxido de carbono (MtCO₂e). Esta metodología permitió identificar brechas significativas entre los marcos regulatorios y las emisiones reales, proporcionando una base técnica sólida para el diseño de estrategias de mitigación.

RESULTADOS

Perfil energético

En 2023, la oferta total de energía en México se compuso principalmente de gas natural (44.3%) y petróleo (40.5%). En la producción de energía primaria predominó el petróleo crudo (63.4%), seguido por el gas natural (22.1%). Para la generación eléctrica, el gas natural fue la fuente principal (61.0%), complementado por el carbón (8.6%) y el petróleo (7.3%). En cuanto al consumo energético total, los productos derivados del petróleo representaron un 61.4%, seguidos por la electricidad (22.8%), el gas natural (8.1%) y el carbón (1.3%) (International Energy Agency, 2023d).

Emisiones de CO₂

En 2022, las emisiones de CO₂ derivadas de la combustión de combustibles colocaron a México en la tercera posición dentro de América del Norte, con un total de 379 Mt. Estados Unidos ocupó el primer lugar con 4,607.6 Mt, seguido por Canadá con 523.3 Mt. En conjunto, la región generó 5,510.6 Mt de CO₂, consolidándose como una de las mayores emisoras a nivel global (International Energy Agency, 2023b).

En ese mismo año, las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía en México alcanzaron los 380 Mt, lo que representó el 1.11% del total de emisiones globales (International Energy Agency, 2023a; United States Environmental Protection Agency, 2025b). En comparación con el año 2000, estas emisiones aumentaron un 6% (International Energy Agency, 2021, 2023e, 2025a). Los principales sectores emisores fueron el transporte y la generación de electricidad y calor. El transporte aportó el 34% del total, debido principalmente al uso de combustibles fósiles en automóviles. Las plantas de

generación eléctrica y de calor representaron el 33%, como resultado de la quema de combustibles para producir energía (International Energy Agency, 2023a, 2025b). Ambos sectores concentraron más de dos tercios de las emisiones energéticas del país (International Energy Agency, 2023c, 2024a).

Emisiones de CH₄

En 2021, México se posicionó entre los principales emisores de metano a nivel global, ocupando el décimo lugar en emisiones de CH₄, según datos del OBMEM y la IEA (Centro Mexicano de Derecho Ambiental, 2023; International Energy Agency, 2022, 2025b; National Oceanic and Atmospheric Administration, 2022). El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente reportó que las emisiones de metano en México estuvieron subestimadas en el inventario nacional en un 45% respecto del valor oficialmente reportado. En el sector petróleo y gas, las emisiones duplicaron las cifras oficiales (LeBlanc, 2025; United States Environmental Protection Agency, 2025a). Según Observatorio Mexicano de Emisiones de Metano (2022), entre 2019 y 2021 las emisiones de metano del sector aumentaron un 85%, al pasar de 16.9 a 31.4 MtCO₂e.

Venteo y quema de antorcha

En 2022, el venteo y la quema en antorcha liberaron 357 Mt de CO₂ a nivel global (International Energy Agency, 2023e) (Methane Guiding Principles Partnership, 2019). Para 2023, se estimaron 381 Mt equivalentes de CO₂ provenientes de esta actividad, de los cuales 45 Mt correspondieron a metano no quemado (World Bank Group, s/f; World Resources Institute, 2004).

Tendencias de producción y quema de antorcha en México (2012-2022)

Entre 2012 y 2022, la producción de petróleo en México se redujo en un tercio, mientras que el volumen de gas quemado aumentó en igual proporción, y la intensidad de la quema se duplicó. En el recuento más reciente de antorchas, realizado en 2022, se contabilizaron 152 instalaciones (World Bank Group, 2024). Esta evolución evidencia una tendencia preocupante en el sector energético mexicano: pese a la significativa reducción en la producción petrolera, las prácticas asociadas al venteo y quema de gas han aumentado considerablemente, lo que sugiere una gestión ineficiente y poco sostenible de los recursos energéticos. Además, el número de antorchas registradas confirma la persistencia de prácticas que contribuyen sustancialmente a las emisiones de GEI, especialmente metano.

Marco regulatorio internacional aplicable

El marco regulatorio internacional sobre transparencia e información ambiental en México se integra por diversos instrumentos que establecen obligaciones proactivas en materia de cambio climático (Global Reporting Initiative, 2023). Entre ellos se encuentran la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el Acuerdo de París y sus normas de aplicación, la Convención sobre Acceso a la Información, Participación Pública en la Toma de Decisiones y Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales, así como el Global Methane Pledge (Signos Vitales, 2022). También forma parte de este conjunto el Acuerdo Regional sobre Acceso a la Información, Participación Pública y Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe, conocido como Acuerdo de Escazú (Task Force on Climate-related Financial Disclosures, 2017; Observatorio Mexicano de Emisiones de Metano, 2022).

Marco regulatorio nacional y mecanismos de reporte

En el ámbito nacional, el marco normativo para regular las emisiones de GEI, incluyendo CH₄ y CO₂ en el sector de petróleo y gas, se compone de instrumentos legales, administrativos y técnicos (World Bank Group, s/f). La Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente es la entidad responsable de supervisar su cumplimiento, que puede ser también verificado por terceros autorizados. La cuantificación, reporte y verificación de emisiones cuenta con un sistema normativo robusto. La Ley General de Cambio Climático, el Registro Nacional de Emisiones y el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2018, 2024) establecen los mecanismos oficiales mediante los cuales las instalaciones emisoras, con más de 25,000 toneladas de CO₂ equivalente al año, deben reportar sus emisiones (Thornbush y Govind, 2025 United States Environmental Protection Agency, 2025b).

DISCUSIÓN

Los resultados muestran que, durante el periodo analizado, el sector de exploración y producción de hidrocarburos en México —constituido por empresas con estructura operativa y excluyendo entidades de propósito especial y actividades de refinación— mantuvo una tendencia al alza tanto en el volumen como en la intensidad de la quema de gas, a pesar de la disminución en la producción de petróleo. Este hallazgo sugiere que la reducción en la extracción no ha derivado en una disminución proporcional de las emisiones asociadas a la quema y el venteo, lo que evidencia la persistencia de prácticas operativas que no priorizan la eficiencia energética ni la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero.

El análisis de la información cuantitativa revela que las emisiones de metano y dióxido de carbono generadas por estas actividades suelen estar subestimadas en los inventarios nacionales, principalmente debido a deficiencias en los sistemas de medición y a la ausencia de verificación independiente estricta. Al comparar estos resultados con estimaciones internacionales, se identifica en México una brecha significativa entre las emisiones reportadas y aquellas calculadas mediante metodologías directas y satelitales. Esta tendencia es consistente con la observada en otros países con infraestructura petrolera madura y escasa modernización tecnológica.

El análisis de la información cuantitativa revela que las emisiones de metano y dióxido de carbono generadas por estas actividades suelen estar subestimadas en los inventarios nacionales, principalmente debido a deficiencias en los sistemas de medición y a la ausencia de verificación independiente estricta (Lu *et al.*, 2022; Olczak *et al.*, 2023; Shen *et al.*, 2023; Volcovici, 2024). Al comparar estos resultados con estimaciones internacionales, se identifica en México una brecha significativa entre las emisiones reportadas y aquellas calculadas mediante metodologías directas y satelitales (International Energy Agency, 2023f, 2025a; LeBlanc, 2025; Volcovici, 2024). Esta tendencia es consistente con la observada en otros países con infraestructura petrolera madura y escasa modernización tecnológica.

La revisión del marco regulatorio indica que, si bien se han adoptado instrumentos legales y técnicos alineados con compromisos internacionales para la cuantificación, reporte y verificación de emisiones, su aplicación efectiva enfrenta obstáculos relacionados con la capacidad institucional, la cobertura de las mediciones y la verificación estricta por terceros independientes (United States Environmental Protection Agency, 2025a, 2025b; World Resources Institute, 2004).

La exclusión del segmento de refinación —dado que se concentra en una única empresa estatal— permite enfocar el análisis en las prácticas de exploración y producción, donde se identifican mayores oportunidades de mejora. La principal empresa petrolera del país (Pemex) continúa priorizando

objetivos de producción sobre la gestión eficiente del gas, mientras que las autoridades competentes no imponen sanciones efectivas ante la quema excesiva. Esta situación refleja un modelo energético insostenible que favorece el volumen por sobre la eficiencia (International Renewable Energy Agency, 2020). Persisten desafíos para consolidar un sistema robusto de reporte y participación social, lo cual pone de manifiesto una brecha entre la normativa vigente y su implementación práctica, y demanda mayores capacidades institucionales y tecnológicas (Task Force on Climate-related Financial Disclosures, 2017, 2023).

Entre las principales limitaciones del estudio se encuentran la exclusión de empresas sin operaciones reales y del segmento de refinación, así como la dependencia de datos secundarios y la heterogeneidad en los protocolos de medición entre las distintas fuentes. Se recomienda que futuras investigaciones incorporen mediciones directas en campo y análisis comparativos de la eficiencia de tecnologías para la reducción de emisiones, con el fin de cerrar las brechas identificadas y contribuir a una mayor sostenibilidad del sector hidrocarburos en México.

CONCLUSIONES

El análisis realizado permitió describir la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector de hidrocarburos de México, con énfasis en el dióxido de carbono y el metano generados por la combustión, el venteo y la quema en antorcha. Se identificó que, a pesar de la disminución en la producción de petróleo entre 2012 y 2022, tanto el volumen de gas quemado como la intensidad de la quema aumentaron, lo que ha mantenido a México entre los principales emisores de CO₂ y CH₄ en la región. Las estimaciones más recientes indican que las emisiones derivadas de estas prácticas suelen estar subestimadas en los inventarios nacionales, debido a deficiencias en los sistemas de medición y a la falta de efectividad de mecanismos de verificación independientes. En respuesta, el marco regulatorio, tanto nacional como internacional, se ha fortalecido mediante la adopción de instrumentos legales, administrativos y técnicos orientados a la cuantificación, el reporte y la verificación de emisiones, así como a la incorporación de mecanismos de transparencia y supervisión.

No obstante, persiste una brecha significativa entre la existencia de regulaciones y su implementación efectiva, como lo demuestra el aumento sostenido de las emisiones y la continuidad de prácticas como la quema y el venteo. El estudio contribuye al conocimiento sobre la magnitud y las tendencias de las emisiones en el sector hidrocarburos, y subraya la necesidad de mejorar la aplicación de metodologías de cuantificación, adoptar tecnologías avanzadas y reforzar los marcos regulatorios para avanzar hacia la sostenibilidad y el cumplimiento de los compromisos climáticos. Estas conclusiones pueden orientar el diseño de políticas públicas, estrategias de mitigación y sistemas de monitoreo que permitan reducir las emisiones y mejorar la gestión ambiental en el sector.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos. (2018). *Disposiciones Administrativas de carácter general que establecen los Lineamientos para la prevención y el control integral de las emisiones de metano del Sector Hidrocarburos*. Secretaría de Gobernación. Diario Oficial de la Federación. <https://acortar.link/qFTGJ8>
- Candell, P., Poulter, B., Saunio, M., Krummel, P., Stavert, A. y Jackson, R. (2020). Emissions of methane – a greenhouse gas far more potent than carbon dioxide – are rising dangerously. *The Conversation*. <https://doi.org/10.64628/AA.a79q9xvv7>

- Centro Mexicano de Derecho Ambiental. (2023). *Organizaciones de la sociedad civil lanzan el Observatorio Mexicano de Emisiones de Metano (OBMEM)*. <https://acortar.link/mphmpw>
- Environmental Defense Fund. (2022). *PermianMAP final report: A look back at key findings and takeaways from the Permian Methane Analysis Project*. <https://acortar.link/N1Gnsq>
- Global Reporting Initiative. (2023). *Sector Standard for Oil and Gas (GRI 11)*. <https://acortar.link/0dXgxe>
- Gobierno de México. (2026). *Registro Nacional de Emisiones RENE. Informe de Gobierno*. <https://acortar.link/80Yxyl>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2018). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero*. <https://acortar.link/McLvB2>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2021). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos México ante el cambio climático*. <https://acortar.link/5P90EI>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2024). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 2021*. <https://acortar.link/eAsWtK>
- International Energy Agency. (2021). *Global Energy Review 2021*. <https://n9.cl/gl3tsl>
- International Energy Agency. (2022). *Global Methane Tracker 2022*. <https://acortar.link/mQhmdR>
- International Energy Agency. (2023a). *Greenhouse Gas Emissions from Energy Data Explorer*. <https://acortar.link/vhOSPk>
- International Energy Agency. (2023b). *México. Total CO₂ emissions from energy*. <https://acortar.link/PM2CGj>
- International Energy Agency. (2023c). *Mexico. Understanding energy end uses*. <https://acortar.link/51zhWd>
- International Energy Agency. (2023d). *World Energy Outlook 2023. Executive summary*. <https://acortar.link/5tCveg>
- International Energy Agency. (2023e). *CO₂ Emissions in 2022*. <https://n9.cl/d3m6ma>
- International Energy Agency. (2023f). *Emissions Factors 2023*. <https://acortar.link/13UFHV>
- International Energy Agency. (2024a). *Mexico. Energy system of Mexico*. <https://acortar.link/ehgLdu>
- International Energy Agency. (2024b). *World Energy Outlook 2024*. <https://n9.cl/5ngi6>
- International Energy Agency. (2025a). *Global Energy Review 2025*. <https://n9.cl/5ty1k8>
- International Energy Agency. (2025b). *Global Methane Tracker 2025*. <https://n9.cl/3f87x5>
- International Renewable Energy Agency. (2020). *The Post-COVID recovery: An agenda for resilience, development and equality*. <https://acortar.link/WjhP06>
- LeBlanc, R. (2025). *How observation data is upending our understanding of methane emissions*. S&P Global Energy. <https://acortar.link/E4sW1p>

- Lu, X., Jacob, D. J., Wang, H., Maasackers, J. D., Zhang, Y., Scarpelli, T. R., Shen, L., Qu, Z., Sulprizio, M. P., Nesser, H., Bloom, A. A., Ma, S., Worden, J. R., Fan, S., Parker, R. J., Boesch, H., Gautam, R., Gordon, D., Moran, M. D., ... Andrews, A. (2022). Methane emissions in the United States, Canada, and Mexico: Evaluation of national methane emission inventories and 2010–2017 sectoral trends by inverse analysis of in situ (GLOBALVIEWplus CH₄ ObsPack) and satellite (GOSAT) atmospheric observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22(1), 395–418. <https://doi.org/10.5194/acp-22-395-2022>
- Methane Guiding Principles Partnership. (2019). *Methane Guiding Principles: Best Practice Guide*. <https://acortar.link/juXZTP>
- National Aeronautics and Space Administration. (2022). ‘Superemisores’ de metano detectados por la nueva misión EMIT. <https://acortar.link/yV4a6U>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2022). *Increase in atmospheric methane set another record during 2021*. <https://acortar.link/ICPEga>
- Observatorio Mexicano de Emisiones de Metano. (2022). #Metano amenaza invisible. <https://www.obmem.mx/emisiones>
- Olczak, M., Piebalgs, A. y Balcombe, P. (2023). A global review of methane policies reveals that only 13% of emissions are covered with unclear effectiveness. *One Earth*, 6(5), 519–535. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2023.04.009>
- Pitman, R. y Ballesteros, F. (2024). *Closing implementation gaps: Recommendations for Pemex to meet its emission reduction goals*. Natural Resource Governance Institute. <https://acortar.link/43wouW>
- Saunois, M., Stavert, A. R., Poulter, B., Bousquet, P., Canadell, J. G., Jackson, R. B., Raymond, P. A., Dlugokencky, E. J., Houweling, S., Patra, P. K., Ciais, P., Arora, V. K., Bastviken, D., Bergamaschi, P., Blake, D. R., Brailsford, G., Bruhwiler, L., Carlson, K. M., Carrol, M., ... Zhuang, Q. (2020). The Global Methane Budget 2000–2017. *Earth System Science Data*, 12(3), 1561–1623. <https://doi.org/10.5194/essd-12-1561-2020>
- Shen, L., Jacob, D. J., Gautam, R., Omara, M., Scarpelli, T. R., Lorente, A., Zavala-Araiza, D., Lu, X., Chen, Z., & Lin, J. (2023). National quantifications of methane emissions from fuel exploitation using high resolution inversions of satellite observations. *Nature Communications*, 14, e4948. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-40671-6>
- Signos Vitales. (2022). *Cambio climático y Acuerdos internacionales*. <https://acortar.link/w7IENw>
- Task Force on Climate-related Financial Disclosures. (2017). *Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures*. Task Force on Climate-Related Financial Disclosures. Financial Stability Board. <https://acortar.link/kyDrvI>
- Task Force on Climate-related Financial Disclosures. (2023). *2023 Status Report*. Financial Stability Board. <https://acortar.link/vJnYyD>
- Thornbush, M. y Govind, A. (2025). Monitoring, Reporting, and Verification (MRV) Protocols Used in Carbon Trading Applied to Dryland Nations in the Global South for Climate Change Mitigation. *Sustainability*, 17(24), e11001. <https://doi.org/10.3390/su172411001>

- United States Environmental Protection Agency. (2025a). *Overview of Greenhouse Gases*. <https://acortar.link/ADLU3G>
- United States Environmental Protection Agency. (2025b). *GHGRP and the Oil and Gas Industry*. <https://acortar.link/v27JBW>
- Volcovici, V. (2024). *Drillers emit far more methane than US estimates, aerial survey shows*. Reuters. <https://acortar.link/4y63Vx>
- World Bank Group. (2023). *Global Gas Flaring Database*. <https://acortar.link/z3ffk>
- World Bank Group. (2024). *Global Gas Flaring Tracker Report*. <https://acortar.link/weYfM9>
- World Bank Group. (2025). *Mexico. Policy and Targets*. <https://acortar.link/IUIXlb>
- World Bank Group. (s/f). *Global Methane and Flaring Regulations*. Recuperado el 4 de junio de 2025, de <https://flaringventingregulations.worldbank.org>
- World Resources Institute. (2004). *The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard (Revised Edition)*. Green House Gas Protocol/World Business Council for Sustainable Development. <https://acortar.link/Z4mMK4>
- World Resources Institute. (2011). *Corporate Value Chain (Scope 3) Standard*. Green House Gas Protocol/World Business Council for Sustainable Development. <https://acortar.link/1QMktj>
- World Resources Institute. (2014). *Estándar de política y acción*. Green House Gas Protocol/World Business Council for Sustainable Development. <https://acortar.link/mXY6Hy>