Polo del Conocimiento

Pol. Con. (Edición núm. 107) Vol. 10, No 6
Junio 2025, pp. 2428-2442
ISSN: 2550 - 682X
DOI: 10.23857/pc.v10i6.9823

CC BY NC SA

El gas natural como fuente de energía transitoria hacia la descarbonización del sector energético

Natural gas as a transitional energy source towards decarbonization of the energy sector

O gás natural como fonte de energia de transição para a descarbonização do sector energético

Mariuxi Viviana Ruiz Arana [I]
mariuxi.ruiza@ug.edu.ec
https://orcid.org/0000-0002-6741-6890

Andrés Alexander De La Torre Macías [II]
adelatorrem@uteq.edu.ec
https://orcid.org/0000-0002-4984-6483

Enrique Xavier Tandazo Delgado [III]
enrique.tandazod@ug.edu.ec
https://orcid.org/0000-0003-0817-274X

Génesis Belén Olvera Menoscal [IV]
genesis.olvera@outlook.es
https://orcid.org/0009-0003-7673-7850

Correspondencia: mariuxi.ruiza@ug.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

*** Recibido:** 26 de abril de 2025 ***Aceptado:** 24 de mayo de 2025 *** Publicado:** 26 de junio de 2025

I. Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Guayas, Ecuador.
II. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Los Ríos, Ecuador.
III. Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Guayas, Ecuador.
IV. Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Guayas, Ecuador.

Resumen

El presente artículo de revisión bibliográfica tiene como objetivo analizar de manera crítica el papel del gas natural como fuente de energía transitoria en el proceso de descarbonización del sector energético. En un contexto marcado por la urgencia climática se examinan las ventajas, limitaciones y controversias asociadas al uso del gas natural frente a otras fuentes energéticas. La metodología empleada consistió en una revisión sistemática de literatura científica publicada entre 2019 y 2025, utilizando bases de datos indexadas como Scopus, Web of Science y ScienceDirect. Los resultados se organizaron por subsectores de aplicación. En el transporte, el gas natural vehicular (GNV) mostró reducciones de hasta 25 % en CO_2 y más del 30 % en contaminantes locales, aunque su expansión está limitada por infraestructura insuficiente. En generación eléctrica, las plantas de ciclo combinado alcanzan eficiencias superiores al 60 % con una huella de carbono 50 % menor respecto al carbón. El uso domiciliario aporta mejoras en la calidad del aire urbano, aunque persisten emisiones fugitivas de metano. El gas natural licuado (GNL), si bien permite diversificación energética, presenta una huella de carbono variable debido a la licuefacción, transporte y regasificación. Finalmente, en el sector industrial, el gas natural es clave para procesos intensivos en energía y para la producción de hidrógeno azul, aunque se proyecta un desplazamiento progresivo hacia el hidrógeno verde. En conclusión, los hallazgos sugieren que el gas natural puede desempeñar un rol relevante como vector transitorio hacia una matriz energética más limpia, siempre que se implementen políticas de mitigación de emisiones y se limite su papel a escenarios de transición con una clara orientación hacia la sustitución por energías renovables.

Palabras Clave: Gas natural; descarbonización; GNL; ciclo combinado.

Abstract

This literature review article aims to critically analyze the role of natural gas as a transitional energy source in the energy sector's decarbonization process. In a context marked by climate urgency, the advantages, limitations, and controversies associated with the use of natural gas versus other energy sources are examined. The methodology employed consisted of a systematic review of scientific literature published between 2019 and 2025, using indexed databases such as Scopus, Web of Science, and ScienceDirect. The results were organized by application subsectors. In transportation, natural gas vehicles (NGVs) showed reductions of up to 25% in CO_2 and more than 30% in local pollutants, although their expansion is limited by insufficient infrastructure. In

electricity generation, combined-cycle plants achieve efficiencies of over 60% with a 50% lower carbon footprint compared to coal. Residential use improves urban air quality, although fugitive methane emissions persist. Liquefied natural gas (LNG), while enabling energy diversification, has a variable carbon footprint due to liquefaction, transportation, and regasification. Finally, in the industrial sector, natural gas is key for energy-intensive processes and for the production of blue hydrogen, although a progressive shift toward green hydrogen is projected. In conclusion, the findings suggest that natural gas can play a relevant role as a transitional vector toward a cleaner energy matrix, provided that emissions mitigation policies are implemented and its role is limited to transition scenarios with a clear focus on replacing it with renewable energy.

Keywords: Natural gas; decarbonization; LNG; combined cycle.

Resumo

Este artigo de revisão bibliográfica tem como objectivo analisar criticamente o papel do gás natural como fonte de energia de transição no processo de descarbonização do sector energético. Num contexto marcado pela urgência climática, são examinadas as vantagens, limitações e controvérsias associadas à utilização do gás natural versus outras fontes de energia. A metodologia empregue consistiu numa revisão sistemática da literatura científica publicada entre 2019 e 2025, utilizando bases de dados indexadas como a Scopus, Web of Science e ScienceDirect. Os resultados foram organizados por subsetores de aplicação. Nos transportes, os veículos a gás natural (GNVs) apresentaram reduções até 25% de CO_2 e mais de 30% de poluentes locais, embora a sua expansão seja limitada pela insuficiente infraestrutura. Na geração de eletricidade, as centrais de ciclo combinado conseguem eficiências superiores a 60%, com uma pegada de carbono 50% inferior em comparação com o carvão. O uso residencial melhora a qualidade do ar urbano, embora persistam emissões fugitivas de metano. O gás natural liquefeito (GNL), embora possibilite a diversificação energética, tem uma pegada de carbono variável devido à liquefação, transporte e regaseificação. Por último, no sector industrial, o gás natural é fundamental para processos com elevado consumo energético e para a produção de hidrogénio azul, embora se projecte uma mudança progressiva para o hidrogénio verde. Em conclusão, os resultados sugerem que o gás natural pode desempenhar um papel relevante como vetor de transição para uma matriz energética mais limpa, desde que sejam implementadas políticas de mitigação de emissões e o seu papel se limite a cenários de transição com um foco claro na sua substituição por energias renováveis.

Palavras-chave: Gás natural; descarbonização; GNL; ciclo combinado.

Introducción

La transición energética global, impulsada por la urgencia de mitigar el cambio climático y alcanzar los objetivos de descarbonización establecidos en el Acuerdo de París, ha colocado al gas natural en el centro del debate sobre el futuro del sector energético (Regufe, 2021). En un contexto donde la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero es prioritaria, el gas natural ha sido promovido como un combustible de transición, capaz de facilitar el desplazamiento de fuentes más intensivas en carbono, como el carbón y el petróleo, mientras se incrementa la penetración de energías renovables en la matriz energética mundial (Wang et al., 2022). Esta perspectiva responde tanto a su menor intensidad de carbono como a su flexibilidad operativa, lo que lo convierte en un respaldo confiable para la generación intermitente de fuentes renovables como la solar y la eólica (Razmi et al., 2024).

En la última década, la literatura científica y los informes de organismos internacionales han destacado que el gas natural produce hasta un 50 % menos de dióxido de carbono (CO_2) que el carbón por unidad de energía generada, y emite menores cantidades de óxidos de azufre y partículas contaminantes (Erdener, 2023). Esta característica ha llevado a que numerosos gobiernos y empresas lo consideren un pilar estratégico para la transición energética, especialmente en regiones donde la infraestructura de energías renovables aún no es suficiente para garantizar la seguridad y estabilidad del suministro eléctrico (Ozturk & Dincer, 2023).

Sin embargo, la promoción del gas natural como solución transitoria no está exenta de controversias. Si bien su combustión genera menos CO_2 que otros hidrocarburos, sigue siendo una fuente fósil que contribuye al calentamiento global, particularmente por las emisiones fugitivas de metano, un gas con un potencial de calentamiento global significativamente mayor que el CO_2 en horizontes temporales de 20 años (Deng et al., 2024). Esta dualidad ha generado un intenso debate académico y político sobre la verdadera compatibilidad del gas natural con las metas de descarbonización a largo plazo y su papel en la configuración de políticas energéticas sostenibles (Pedersen et al., 2022).

Se proyecta que el consumo de gas natural continuará creciendo en el corto plazo como respuesta a la necesidad de reducir rápidamente las emisiones mediante el reemplazo del carbón, pero a partir de 2030 se prevé una disminución significativa de su uso, en línea con el avance de las energías

renovables y el desarrollo de tecnologías de almacenamiento y captura de carbono (Achakulwisut et al., 2021). No obstante, se anticipa que el gas natural mantendrá un rol relevante en la producción de hidrógeno, especialmente el denominado "hidrógeno azul", que utiliza gas natural como materia prima y captura el CO_2 generado en el proceso, contribuyendo así a la descarbonización de sectores industriales difíciles de electrificar (Massarweh et al., 2023).

Desde una perspectiva tecnológica y operativa, el gas natural presenta ventajas significativas frente a otras fuentes fósiles: su abundancia global, la existencia de una infraestructura madura de extracción, transporte y almacenamiento, y su alta eficiencia en aplicaciones como las turbinas de ciclo combinado (Remteng, 2022). Además, su uso en áreas urbanas densamente pobladas resulta óptimo debido a la baja emisión de contaminantes locales, como partículas finas y óxidos de azufre, lo que contribuye a la mejora de la calidad del aire y la salud pública (Lebel et al, 2022). En el ámbito de la movilidad sostenible, el gas natural vehicular y el gas renovable (biometano) se perfilan como alternativas viables para reducir las emisiones en el transporte, sector responsable de una proporción significativa de las emisiones globales (He et al, 2021).

No obstante, la literatura reciente también advierte sobre las limitaciones intrínsecas del gas natural como solución transitoria. Entre los principales desafíos se encuentran la necesidad de minimizar las emisiones de metano a lo largo de toda la cadena de valor (Kemfert et al., 2022), la dependencia de importaciones en regiones sin yacimientos propios (Halser & Paraschiv, 2022), y el riesgo de "bloqueo tecnológico" que podría retrasar la adopción masiva de energías renovables si se mantiene una infraestructura sobredimensionada de gas a largo plazo (Nicolle & Massol, 2023). Además, la volatilidad de los mercados internacionales, exacerbada por crisis geopolíticas recientes, ha puesto de manifiesto la vulnerabilidad de los sistemas energéticos altamente dependientes del gas importado (Su et al., 2023).

A nivel global, las tendencias muestran una creciente integración del gas natural licuado (GNL) en los mercados energéticos, favorecida por su flexibilidad y capacidad de responder a picos de demanda, especialmente en países asiáticos y europeos que buscan diversificar sus fuentes de suministro (Econojournal, 2023).

En este contexto, el presente artículo de revisión tiene como objetivo analizar de manera crítica y exhaustiva el papel del gas natural como fuente de energía transitoria en la descarbonización del sector energético. Se abordarán los principales argumentos a favor y en contra de su uso, evaluando su compatibilidad con las políticas de descarbonización, sus ventajas y limitaciones frente a otras

Pol. Con. (Edición núm. 107) Vol. 10, No 6, Junio 2025, pp. 2428-2442, ISSN: 2550 - 682X

fuentes energéticas, y las tendencias globales que configuran su futuro en el marco de la crisis climática. La revisión se fundamenta en literatura científica reciente (2019-2025) y en informes de organismos internacionales, con el propósito de ofrecer una visión integral y rigurosa dirigida a profesionales y académicos del sector energético.

Metodología

La presente revisión bibliográfica se desarrolló con un enfoque sistemático y riguroso, orientado a identificar, analizar y sintetizar la literatura científica más relevante sobre el papel del gas natural como fuente de energía transitoria en la descarbonización del sector energético. El proceso metodológico se diseñó para garantizar la exhaustividad y calidad de las fuentes seleccionadas, siguiendo las recomendaciones internacionales para revisiones bibliográficas en el ámbito de la energía y la sostenibilidad.

Se establecieron criterios precisos para la selección de fuentes. Se incluyeron exclusivamente artículos científicos, revisiones sistemáticas y documentos técnicos publicados entre 2019 y 2025, con el objetivo de asegurar la actualidad y pertinencia de la información. Se priorizaron publicaciones en inglés y español, provenientes de revistas indexadas en bases de datos reconocidas internacionalmente como Scopus, Web of Science y ScienceDirect.

La estrategia de búsqueda se fundamentó en la combinación de palabras clave y operadores booleanos, adaptados a cada base de datos. Entre los términos utilizados destacan: “natural gas”, “energy transition”, “decarbonization”, “climate change”, “renewable integration” y sus equivalentes en español. La ecuación de búsqueda se refinó iterativamente para maximizar la especificidad y sensibilidad, permitiendo la identificación de artículos que abordaran explícitamente la relación entre gas natural y descarbonización en el contexto de la transición energética.

En síntesis, la metodología adoptada asegura una revisión exhaustiva, crítica y actualizada, adecuada para abordar con solidez el análisis del gas natural como vector transitorio hacia la descarbonización del sector energético, en línea con las mejores prácticas de la investigación académica contemporánea.

Resultados

La revisión de la literatura científica reciente (2019-2025) revela que el gas natural desempeña un papel multifacético y relevante como fuente de energía transitoria en la descarbonización del sector energético, con resultados diferenciados según los subsectores analizados: gas natural vehicular, ciclo combinado (generación eléctrica), gas domiciliario, gas natural licuado (GNL) y gas industrial.

Gas natural vehicular (GNV)

Barreña et al. (2023) resaltan que el uso del gas natural en el transporte ha mostrado beneficios significativos en la reducción de emisiones contaminantes locales y de gases de efecto invernadero (GEI), en comparación con combustibles líquidos tradicionales. Estudios realizados en América Latina indican que el GNV puede reducir las emisiones de CO_2 en un 20-25 % y las de partículas y óxidos de nitrógeno en más del 30 % respecto a la gasolina y el diésel. Además, la incorporación de biometano en la mezcla de GNV incrementa su potencial de descarbonización al reducir las emisiones netas de carbono. Sin embargo, la infraestructura y la disponibilidad de biometano aún limitan su expansión masiva, especialmente en regiones con baja penetración tecnológica.

Ciclo combinado (Generación eléctrica)

Las centrales de ciclo combinado a gas natural son consideradas una tecnología clave para la transición energética debido a su alta eficiencia y menor intensidad de carbono en comparación con plantas a carbón o petróleo (Otitoju et al., 2021). Según Yolcan (2023), estas plantas pueden alcanzar eficiencias térmicas superiores al 60%, con emisiones de CO_2 aproximadamente un 50 % menores que las centrales térmicas convencionales de carbón. Este desempeño ha permitido que el gas natural funcione como respaldo flexible para energías renovables intermitentes, facilitando la estabilidad de la red eléctrica y la integración de fuentes limpias (Settino et al., 2023). No obstante, la dependencia de combustibles plantea desafíos a mediano y largo plazo para este tipo de tecnologías (Brzęczek & Kotowicz, 2024).

Gas domiciliario

El gas natural utilizado en aplicaciones residenciales para calefacción, cocción y agua caliente sanitaria contribuye a una reducción de emisiones locales y mejora la calidad del aire urbano en comparación con combustibles sólidos o líquidos tradicionales (Mannan & Al-Ghamdi, 2021). Estudios muestran que el gas domiciliario representa una eficiencia del 60 %, con un impacto positivo en la reducción de contaminantes atmosféricos (Zhang et al., 2022). Sin embargo, es

necesario disminuir las emisiones fugitivas de metano asociadas a fugas en la red y la combustión (Street et al., 2025).

Gas natural licuado (GNL)

El GNL ha emergido como un vector energético estratégico para diversificar y flexibilizar el suministro, especialmente en regiones sin acceso a gasoductos (Hashimoto, 2021). Su uso ha crecido en mercados asiáticos y europeos, donde contribuye a la reducción de emisiones al sustituir carbón y petróleo (Farag et al., 2025). Sin embargo, la licuefacción, transporte y regasificación del GNL implican un consumo energético adicional y emisiones fugitivas de metano que deben ser gestionadas para maximizar su contribución a la descarbonización (Balcombe et al., 2022).

Gas natural para uso industrial

En el sector industrial, el gas natural es fundamental en procesos de alta demanda energética, como la producción de amoníaco, metanol y generación de hidrógeno mediante reformado con vapor (Remteng, 2022). Este uso permite una reducción significativa de emisiones respecto a combustibles más contaminantes, y se considera un insumo clave para la producción de hidrógeno azul, que combina gas natural con captura de carbono (Zou et al., 2022). La transición hacia hidrógeno verde, producido a partir de energías renovables, es una tendencia creciente que busca complementar y eventualmente reemplazar el gas natural en la industria (Ma et al., 2024). Las plantas industriales con motores Bergen y Jenbacher alcanzan 45 % de eficiencia energética, con aplicaciones en cogeneración y calor industrial (Wu et al., 2023).

Tabla 1. Síntesis de los hallazgos clave extraídos de estudios relevantes

Subsector	**Eficiencia energética**	**Reducción CO_2 vs fósiles**	**Principales limitaciones**
Gas natural vehicular	20-25 %	25 % reducción emisiones	Infraestructura y estaciones de servicio limitadas
Ciclo combinado (generación eléctrica)	60 %	50 %	Dependencia de generación por disponibilidad de gas natural
Gas domiciliario	50 %	Moderado	Emisiones fugitivas

Pol. Con. (Edición núm. 107) Vol. 10, No 6, Junio 2025, pp. 2428-2442, ISSN: 2550 - 682X

Gas natural licuado	Debe ser regasificado	Variable	Alto costo tecnológico
Gas para uso industrial	45 %	Alta	Alta, calor continuo

Discusión

En el ámbito del gas natural vehicular (GNV), la literatura coincide en que esta tecnología ofrece beneficios ambientales sustanciales en la reducción de contaminantes locales y gases de efecto invernadero, por ejemplo, se reporta una disminución en las emisiones de óxidos de nitrógeno y una reducción de CO_2 en comparación con combustibles fósiles líquidos tradicionales (Simonyan et al., 2024). Sin embargo, algunos estudios alertan que el impacto positivo del GNV depende fuertemente de la mejora en la infraestructura de distribución, aspecto que aún es limitado en muchas regiones (Quintino et al., 2021). Además, la dependencia del gas natural fósil plantea interrogantes sobre la sostenibilidad a largo plazo, dado que el metano es un potente gas de efecto invernadero si se fugara durante la cadena de suministro (Filonchyk et al., 2024).

En cuanto a las centrales de ciclo combinado, existe consenso sobre su alta eficiencia energética y una reducción significativa de emisiones de CO_2, (Qureshi., 2021). Esta tecnología se posiciona como un respaldo flexible para la integración de energías renovables variables, lo que es crucial para garantizar la estabilidad del sistema eléctrico en la transición (Abass et al., 2021). No obstante, la dependencia continua de combustibles fósiles es la limitante que condiciona su papel en escenarios de descarbonización profunda (Akroot et al., 2024).

El uso de gas natural domiciliario presenta un panorama más ambivalente. Si bien contribuye a mejorar la calidad del aire en comparación con combustibles sólidos y líquidos tradicionales (Zhao et al., 2021), recientes investigaciones han revelado que las emisiones de metano y contaminantes tóxicos generados en espacios cerrados, como cocinas y calefacciones, son mayores de lo estimado previamente, con impactos negativos en la salud pública y el cambio climático (Balmes et al., 2023).

El gas natural licuado (GNL) se presenta como un vector energético estratégico para diversificar el suministro y reducir la dependencia de gasoductos. Sin embargo, la revisión crítica muestra que el ciclo de vida del GNL puede generar emisiones de gases de efecto invernadero comparables a las del carbón, dependiendo de la eficiencia de los buques metaneros y la distancia de transporte

(Tuswan et al., 2023). Esta paradoja plantea un desafío significativo para las políticas de descarbonización, pues aunque el GNL reduce emisiones directas en la combustión, las emisiones fugitivas y la energía consumida en licuefacción y transporte pueden neutralizar sus beneficios ambientales (Zhu et al., 2024).

Finalmente, en el sector industrial, el gas natural es clave para diversos procesos, considerado un puente hacia la descarbonización industrial (Erdener et al., 2023). Sin embargo, la literatura señala que la transición hacia el hidrógeno, producido a partir de fuentes renovables, es indispensable para evitar la perpetuación de emisiones fósiles en la industria (Kumar et al., 2023). La viabilidad económica y tecnológica de esta transición aún es objeto de debate, y su éxito dependerá de políticas públicas robustas y avances en tecnologías de electrólisis y almacenamiento (Bade et al., 2024).

Conclusiones

La revisión bibliográfica realizada pone de manifiesto que el gas natural, aunque continúa siendo un combustible fósil, ofrece ventajas operativas y ambientales que lo posicionan como un recurso potencialmente útil en la transición hacia la descarbonización del sector energético. Entre los principales hallazgos destaca su alto rendimiento en eficiencia energética, especialmente en plantas de ciclo combinado, y su capacidad para reducir contaminantes locales en sectores como el transporte urbano y el uso residencial.

Las tendencias comunes en la literatura sugieren una percepción positiva del gas natural como energía transitoria, pero también resaltan discrepancias en cuanto a su impacto neto sobre el clima, particularmente por las emisiones fugitivas de metano y la posibilidad de generar un “bloqueo tecnológico” que retrase la adopción de tecnologías renovables. Este riesgo se ve acentuado en contextos donde la expansión de infraestructura de gas no está acompañada de planes claros de desmantelamiento o reconversión a largo plazo.

Para que el gas natural cumpla efectivamente su papel transitorio, es indispensable aplicar políticas públicas robustas que integren límites temporales a su uso, incentivos a tecnologías de captura de carbono, controles estrictos sobre fugas y una visión estratégica que priorice su reemplazo gradual por fuentes totalmente renovables. Solo bajo estos supuestos, el gas natural podrá contribuir de manera realista y responsable a la meta global de neutralidad climática.

Referencias

Abass, A. Z., Pavlyuchenko, D. A., & Hussain, Z. S. (2021). Survey about impact voltage instability and transient stability for a power system with an integrated solar combined cycle plant in Iraq by using ETAP. Journal of Robotics and Control (JRC), 2(3), 134-139. https://doi.org/10.18196/jrc.2366

Achakulwisut, P., Erickson, P., & Koplow, D. (2021). Effect of subsidies and regulatory exemptions on 2020–2030 oil and gas production and profits in the United States. Environmental Research Letters, 16(8), 084023. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac0a10

Akroot, A., Almaktar, M., & Alasali, F. (2024). The Integration of Renewable Energy into a Fossil Fuel Power Generation System in Oil-Producing Countries: A Case Study of an Integrated Solar Combined Cycle at the Sarir Power Plant. Sustainability, 16(11), 4820. https://doi.org/10.3390/su16114820

Bade, S. O., Tomomewo, O. S., Meenakshisundaram, A., Ferron, P., & Oni, B. A. (2024). Economic, social, and regulatory challenges of green hydrogen production and utilization in the US: A review. International Journal of Hydrogen Energy, 49, 314-335. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.08.157

Balcombe, P., Heggo, D. A., & Harrison, M. (2022). Total methane and CO2 emissions from liquefied natural gas carrier ships: the first primary measurements. Environmental science & technology, 56(13), 9632-9640. https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.2c01383?goto=supporting-info

Balmes, J. R., Holm, S. M., McCormack, M. C., Hansel, N. N., Gerald, L. B., & Krishnan, J. A. (2023). Cooking with natural gas: just the facts, please. American journal of respiratory and critical care medicine, 207(8), 996-997. https://doi.org/10.1164/rccm.202302-0278VP

Barreña, M., Catalano, R. A., Paoloni, G., & Sierra, J. M. (2023). Uso de Biogás Licuado en el transporte de larga distancia de la producción de la PyME agropecuaria argentina. Potencial de producción y un análisis de rentabilidad. Perspectivas: Revista Científica de la Universidad de Belgrano, 6(1), 72-93. https://revistas.ub.edu.ar/index.php/Perspectivas/article/view/227

Brzęczek, M., & Kotowicz, J. (2024). Integration of alternative fuel production and combined cycle power plant using renewable energy sources. Applied Energy, 371, 123738. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123738

Deng, W., Xie, X., Guo, Y., & Hu, G. (2024). Breakthroughs in CH4 capture technologies: Key to reducing fugitive methane emissions in the energy sector. Carbon Capture Science & Technology, 13, 100316. https://doi.org/10.1016/j.ccst.2024.100316

Erdener, B. C., Sergi, B., Guerra, O. J., Chueca, A. L., Pambour, K., Brancucci, C., & Hodge, B. M. (2023). A review of technical and regulatory limits for hydrogen blending in natural gas pipelines. International Journal of Hydrogen Energy, 48(14), 5595-5617. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.10.254

Farag, M., Jeddi, S., & Kopp, J. H. (2025). Global Natural Gas Market Integration: The Role of LNG Trade and Infrastructure Constraints. The World Economy. https://doi.org/10.1111/twec.13699

Filonchyk, M., Peterson, M. P., Zhang, L., Hurynovich, V., & He, Y. (2024). Greenhouse gases emissions and global climate change: Examining the influence of CO2, CH4, and N2O. Science of The Total Environment, 173359. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173359

Halser, C., & Paraschiv, F. (2022). Pathways to overcoming natural gas dependency on Russia—the German case. Energies, 15(14), 4939. https://doi.org/10.3390/en15144939

Hashimoto, S. (2021). Why doesn't Japan have a natural gas pipeline network?: consideration from the determinant of the choice between LNG tank trucks and pipelines. International Journal of Energy Economics and Policy, 11(3), 346-353. https://doi.org/10.32479/ijeep.11049

He, X., Wallington, T. J., Anderson, J. E., Keoleian, G. A., Shen, W., De Kleine, R., ... & Winkler, S. (2021). Life-cycle greenhouse gas emission benefits of natural gas vehicles. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 9(23), 7813-7823. https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.1c01324?goto=supporting-info

Kemfert, C., Präger, F., Braunger, I., Hoffart, F. M., & Brauers, H. (2022). The expansion of natural gas infrastructure puts energy transitions at risk. Nature Energy, 7(7), 582-587. https://doi.org/10.1038/s41560-022-01060-3

Kumar, S., Baalisampang, T., Arzaghi, E., Garaniya, V., Abbassi, R., & Salehi, F. (2023). Synergy of green hydrogen sector with offshore industries: Opportunities and challenges for a safe and sustainable hydrogen economy. Journal of Cleaner Production, 384, 135545. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135545

Lebel, E. D., Michanowicz, D. R., Bilsback, K. R., Hill, L. A. L., Goldman, J. S., Domen, J. K., ... & Shonkoff, S. B. (2022). Composition, emissions, and air quality impacts of hazardous air pollutants in unburned natural gas from residential stoves in California. Environmental Science & Technology, 56(22), 15828-15838. https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.2c02581?goto=supporting-info

Ma, N., Zhao, W., Wang, W., Li, X., & Zhou, H. (2024). Large scale of green hydrogen storage: Opportunities and challenges. International Journal of Hydrogen Energy, 50, 379-396. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.09.021

Mannan, M., & Al-Ghamdi, S. G. (2021). Indoor air quality in buildings: a comprehensive review on the factors influencing air pollution in residential and commercial structure. International journal of environmental research and public health, 18(6), 3276. https://doi.org/10.3390/ijerph18063276

Massarweh, O., Al-khuzaei, M., Al-Shafi, M., Bicer, Y., & Abushaikha, A. S. (2023). Blue hydrogen production from natural gas reservoirs: A review of application and feasibility. Journal of CO2 Utilization, 70, 102438. https://doi.org/10.1016/j.jcou.2023.102438

Nicolle, A., & Massol, O. (2023). Build more and regret less: Oversizing H2 and CCS pipeline systems under uncertainty. Energy Policy, 179, 113625. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113625

Otitoju, O., Oko, E., & Wang, M. (2021). Technical and economic performance assessment of post-combustion carbon capture using piperazine for large scale natural gas combined cycle power plants through process simulation. Applied energy, 292, 116893. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116893

Ozturk, M., & Dincer, I. (2021). A comprehensive review on power-to-gas with hydrogen options for cleaner applications. International Journal of Hydrogen Energy, 46(62), 31511-31522. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.07.066

Pedersen, T. T., Gøtske, E. K., Dvorak, A., Andresen, G. B., & Victoria, M. (2022). Long-term implications of reduced gas imports on the decarbonization of the European energy system. Joule, 6(7), 1566-1580. https://doi.org/10.1016/j.joule.2022.06.023

Qureshi, Y., Ali, U., & Sher, F. (2021). Part load operation of natural gas fired power plant with CO2 capture system for selective exhaust gas recirculation. Applied Thermal Engineering, 190, 116808. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.116808

Quintino, F. M., Nascimento, N., & Fernandes, E. C. (2021). Aspects of hydrogen and biomethane introduction in natural gas infrastructure and equipment. Hydrogen, 2(3), 301-318. https://doi.org/10.3390/hydrogen2030016

Razmi, A. R., Hanifi, A. R., & Shahbakhti, M. (2024). Techno-economic analysis of a novel concept for the combination of methane pyrolysis in molten salt with heliostat solar field. Energy, 301(C). https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.131644

Regufe, M. J., Pereira, A., Ferreira, A. F., Ribeiro, A. M., & Rodrigues, A. E. (2021). Current developments of carbon capture storage and/or utilization–looking for net-zero emissions defined in the Paris agreement. Energies, 14(9), 2406. https://doi.org/10.3390/en14092406

Remteng, C. (2022). A Review on the Role of Natural Gas in Nigeria's Energy Transition'. Environmental Network Journal, 1(3). https://gwcnweb.org/wp-content/uploads/2023/08/ENJ-Vol1-Article3-Dec-2022.pdf

Ruhnau, O., Stiewe, C., Muessel, J., & Hirth, L. (2023). Natural gas savings in Germany during the 2022 energy crisis. Nature Energy, 8(6), 621-628. https://doi.org/10.1038/s41560-023-01260-5

Settino, J., Ferraro, V., & Morrone, P. (2023). Energy analysis of novel hybrid solar and natural gas combined cycle plants. Applied Thermal Engineering, 230, 120673. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120673

Simonyan, A., Mosikyan, K., Balayan, R., & Shaghoyan, V. (2024). Altitude controller influence on environmental and economic performance of NGV fuel-powered engines. In E3S Web of Conferences (Vol. 549, p. 07010). EDP Sciences. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202454907010

Street, T. E., Ali, A., Bertolo, C., & Pegg, M. J. (2025). Fugitive emissions from a residential natural gas system and appliances operating on hydrogen-blended natural gas (HBNG) fuels. International Journal of Hydrogen Energy, 118, 227-236. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.03.097

Su, C. W., Qin, M., Chang, H. L., & Țăran, A. M. (2023). Which risks drive European natural gas bubbles? Novel evidence from geopolitics and climate. Resources Policy, 81, 103381. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103381

Tuswan, T., Sari, D. P., Muttaqie, T., Prabowo, A. R., Soetardjo, M., Murwantono, T. T. P., ... & Yuniati, Y. (2023). Representative application of LNG-fuelled ships: a critical overview on

potential GHG emission reductions and economic benefits. Brodogradnja: An International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering for Research and Development, 74(1), 63-83. https://doi.org/10.21278/brod74104

Wang, J., Ma, F., Bouri, E., & Zhong, J. (2022). Volatility of clean energy and natural gas, uncertainty indices, and global economic conditions. Energy Economics, 108, 105904. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.105904

Wu, S., Li, T., Chen, R., Huang, S., Xu, F., & Wang, B. (2023). Transient performance of gas-engine-based power system on ships: an overview of modeling, optimization, and applications. Journal of Marine Science and Engineering, 11(12), 2321. https://doi.org/10.3390/jmse11122321

Yolcan, O. O. (2023). World energy outlook and state of renewable energy: 10-Year evaluation. Innovation and Green Development, 2(4), 100070. https://doi.org/10.1016/j.igd.2023.100070

Zhao, H., Chan, W. R., Cohn, S., Delp, W. W., Walker, I. S., & Singer, B. C. (2021). Indoor air quality in new and renovated low-income apartments with mechanical ventilation and natural gas cooking in California. Indoor air, 31(3), 717-729. https://doi.org/10.1111/ina.12764

Zhang, H., Feng, H., Hewage, K., & Arashpour, M. (2022). Artificial neural network for predicting building energy performance: a surrogate energy retrofits decision support framework. Buildings, 12(6), 829. https://doi.org/10.3390/buildings12060829

Zhu, Y., Ross, G., Khaliukova, O., Roman-White, S. A., George, F. C., Hammerling, D., & Ravikumar, A. P. (2024). Multiscale Measurements of Greenhouse Gas Emissions at US Natural Gas Liquefaction Terminals. Environmental Science & Technology Letters, 12(1), 44-50. https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.estlett.4c00713?goto=supporting-info

Zou, C., Li, J., Zhang, X., Jin, X., Xiong, B., Yu, H., ... & Pan, S. (2022). Industrial status, technological progress, challenges, and prospects of hydrogen energy. Natural Gas Industry B, 9(5), 427-447. https://doi.org/10.1016/j.ngib.2022.04.006.

© 2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).