



e-ISSN 2588-0721
DOI: [10.33936/riemat.v11i1.7998](https://doi.org/10.33936/riemat.v11i1.7998)

RIEMAT

Página web de la revista: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat>



Artículo Original

Impacto ambiental de las emisiones globales de dióxido de carbono y monóxido de carbono derivadas de combustibles fósiles

Environmental impact of global carbon dioxide and carbon monoxide emissions derived from fossil fuels

Jesús Cendrós-Guasch ^{a *}, Ana María León-González ^b, Paúl Gabriel Galué-Lanza ^c, Jennifer Quintero-Medina ^d

^a Departamento de Planificación y Procesamiento de Datos de Tecnologías de Información, Universidad Privada Dr. Rafael Belloso Chacín. Maracaibo, Venezuela.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4840-5771>

^b Revista Reporte Climatológico, Universidad Privada Dr. Rafael Belloso Chacín. Maracaibo, Venezuela.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6578-7653>

^c Departamento de Planificación y Procesamiento de Datos de Tecnologías de Información, Universidad Privada Dr. Rafael Belloso Chacín. Maracaibo, Venezuela.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9413-0881>

^d Equipo de Investigadores sobre Sostenibilidad, Oficina Rectoral. Maracaibo, Venezuela.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0471-8418>

* Autor para correspondencia.
jcendros@urbe.edu

Recibido: 20/02/2026
Aceptado: 28/04/2026
Publicado: 20/06/2026

Citacion sugerida: Cendrós-Guasch, J., León-González, A., Galué-Lanza, P. & Quintero-Medina, J. (2026). Impacto ambiental de las emisiones globales de dióxido de carbono y monóxido de carbono derivadas de combustibles fósiles. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología. RIEMAT*, 11(1), 84-91. <https://doi.org/10.33936/riemat.v11i1.7998>

Resumen

La combustión de combustibles fósiles altera la composición atmosférica, liberando volúmenes significativos de gases con impactos locales y globales. Este estudio tuvo como objetivo cuantificar las emisiones diarias globales de dióxido de carbono (CO₂) y monóxido de carbono (CO) a partir de datos de consumo energético y factores de emisión estandarizados. Se utilizaron datos de la Agencia Internacional de la Energía (2022) y metodologías del IPCC (2006) para estimar emisiones mediante factores de conversión estandarizados. Los hallazgos revelan que la quema de combustibles fósiles produce aproximadamente 100,5 millones de toneladas métricas de CO₂ y 1,1 millones de toneladas métricas de CO diariamente. Se concluye que estas emisiones representan un desafío dual: mitigar un gas de efecto invernadero de larga vida (CO₂) y controlar un contaminante de vida corta con efectos agudos en la salud y la química atmosférica (CO). Se requieren políticas integradas y transición energética.

Palabras clave: combustibles fósiles, dióxido de carbono, monóxido de carbono, cambio climático, contaminación del aire, energías renovables

Abstract

Fossil fuel combustion alters atmospheric composition, releasing significant volumes of gases with local and global impacts. This study aimed to quantify global daily emissions of carbon dioxide (CO₂) and carbon monoxide (CO) based on energy consumption data and standardized emission factors. Data from the International Energy Agency (2022) and IPCC methodologies (2006) were used to estimate emissions through standardized conversion factors. Fossil fuel burning produces approximately 100.5 million metric tons of CO₂ and 1.1 million metric tons of CO daily. These emissions represent a dual challenge: mitigating a long-lived greenhouse gas (CO₂) and controlling a short-lived pollutant with acute health and atmospheric chemistry effects (CO). Integrated policies and energy transition are required.

Keywords: fossil fuels, carbon dioxide, carbon monoxide, climate change, air pollution, renewable energy

1. Introducción

El sistema energético global mantiene una dependencia crítica de los combustibles fósiles, lo que resulta en la emisión de una compleja mezcla de gases y partículas a la atmósfera (International Energy Agency [IEA], 2023). Entre estos, el dióxido de carbono (CO_2) y el monóxido de carbono (CO) representan dos de los contaminantes más significativos, aunque por razones radicalmente diferentes. El CO_2 , producto de la combustión completa, es el principal gas de efecto invernadero (GEI) antropogénico, responsable de aproximadamente tres cuartas partes del forzamiento radiativo que causa el calentamiento global (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2021). Su larga vida atmosférica (100-300 años) garantiza que sus efectos sean globales y se acumulen durante siglos (Parra, 2020; Plevris et al., 2022).

Por el contrario, el CO es producto de la combustión incompleta y posee una vida atmosférica breve (1-3 meses). No obstante, ejerce una influencia desproporcionada en la química atmosférica y la salud humana. Es un contaminante tóxico primario que, a nivel local, representa un riesgo directo para la salud al impedir el transporte de oxígeno en la sangre (World Health Organization [WHO], 2010). A nivel regional, actúa como precursor clave en la formación de ozono troposférico (O_3), otro GEI y componente dañino del smog (Seinfeld & Pandis, 2016).

Comprender y cuantificar las emisiones masivas y diarias de ambos compuestos es fundamental para evaluar el impacto humano en el planeta (Ding et al., 2025). Este artículo busca proporcionar una estimación cuantitativa actualizada de las toneladas métricas de CO y CO_2 emitidas diariamente por la quema de combustibles fósiles, contextualizando sus respectivos impactos dentro del marco más amplio de la ciencia atmosférica y climática, y analizando soluciones sostenibles basadas en energías renovables.

2. Materiales y Métodos

Se realizó un estudio de estimación cuantitativa basado en fuentes de datos secundarias sobre el consumo energético global.

2.1 Diseño del estudio y fuentes de datos

Los datos de consumo mundial de combustibles fósiles para el año 2022 se obtuvieron de los informes de la Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2023). Las cifras de consumo se expresaron en exajulios (EJ) de energía liberada:

- Carbón: 165 EJ
- Petróleo: 190 EJ
- Gas natural: 145 EJ
- Total de energía fósil consumida: 500 EJ

2.2 Factores de emisión y ecuación general de cálculo

La conversión del consumo de energía a masa de contaminante emitido se realizó utilizando los factores de emisión por defecto del IPCC (2006) para cada combustible. Se aplicó la ecuación general de cálculo de emisiones:

$$E = AD \times FE$$

Donde:

- E = emisiones (masa de contaminante)
- AD = actividad energética (energía consumida, en TJ)
- FE = factor de emisión (masa de contaminante por unidad de energía, en kg/TJ o g/TJ)

Los factores de emisión utilizados corresponden exactamente a los valores “default” (por defecto) del IPCC (2006), sin adaptaciones. Para el CO_2 se emplearon los siguientes factores (en $\text{kg CO}_2/\text{TJ}$):

- Carbón: 94.600 $\text{kg CO}_2/\text{TJ}$

- Petróleo: 73.300 kg CO₂/TJ
- Gas natural: 56.100 kg CO₂/TJ

Para el CO, los factores de emisión base (en kg CO/TJ) fueron:

- Carbón: 70 kg CO/TJ
- Petróleo: 50 kg CO/TJ
- Gas natural: 20 kg CO/TJ

2.3 Procedimiento de cálculo

A continuación, se describe el procedimiento paso a paso para el cálculo de las emisiones anuales y diarias, basado en la metodología establecida por autores como Liu et al. (2024) que propone los siguientes pasos que se mencionan a continuación:

Paso 1: Conversión de exajulios a terajulios

1 EJ = 10⁶ TJ

Paso 2: Cálculo de masa anual de CO₂ por tipo de combustible

Masa anual (ton) = (Consumo en TJ) × (Factor de emisión en kg/TJ) × (1 ton / 1000 kg)

Paso 3: Sumatoria de emisiones anuales totales de CO₂

Paso 4: Conversión a emisiones diarias

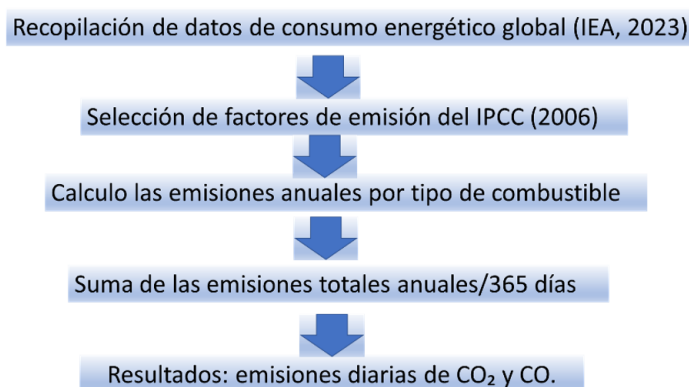
Emisiones diarias = Emisiones anuales totales / 365 días

Paso 5: Repetición del procedimiento para el CO

Dado que la estimación base de CO (aproximadamente 24 Mt/año) no captura plenamente las emisiones ineficientes del transporte y la industria, se utilizó el inventario global EDGAR (Janssens-Maenhout et al., 2017), que estima emisiones totales de CO en ~1.120 Mt/año para 2015, atribuyendo ~40 % (448 Mt) a la quema directa de combustibles fósiles. Se adoptó una estimación conservadora y actualizada de 400 Mt/año para la contribución fósil de CO. Tal como se ilustra en la figura 1.

Figura 1.

Diagrama de flujo del proceso metodológico para la estimación de emisiones diarias de CO₂ y CO.



Nota. El diagrama incluye una validación cruzada con la base de datos EDGAR para el CO.

Se comienza con la recopilación de datos de consumo energético global (IEA, 2023) y la selección de factores de emisión del IPCC (2006). Luego, mediante la ecuación $E = AD \times FE$, se calculan las emisiones anuales por tipo de combustible. Posteriormente, se suman las emisiones totales anuales y se convierten a emisiones diarias (división entre 365). Finalmente, se obtienen los resultados: emisiones diarias de CO₂ y CO. El diagrama incluye una validación cruzada con la base de datos EDGAR para el CO.

3. Resultados y Discusión

Los cálculos realizados permitieron cuantificar las emisiones diarias globales derivadas de la combustión de combustibles fósiles para el año base 2022.

3.1 Emisiones de dióxido de carbono (CO₂)

La masa anual de CO₂ se calculó de la siguiente manera:

- Carbón: $(165 \text{ EJ} / 10^{-6} \text{ EJ/TJ}) \times (94.600 \text{ kg CO}_2/\text{TJ}) \times 10^{-3} \text{ ton/kg} = 15.609 \text{ millones de toneladas (Mt)}$
- Petróleo: $(190 \text{ EJ} / 10^{-6} \text{ EJ/TJ}) \times (73.300 \text{ kg CO}_2/\text{TJ}) \times 10^{-3} \text{ ton/kg} = 13.927 \text{ Mt}$
- Gas natural: $(145 \text{ EJ} / 10^{-6} \text{ EJ/TJ}) \times (56.100 \text{ kg CO}_2/\text{TJ}) \times 10^{-3} \text{ ton/kg} = 8.135 \text{ Mt}$

Masa total anual de CO₂: $15.609 + 13.927 + 8.135 = 37.671 \text{ Mt}$ (~36,7 gigatoneladas, Gt)

Masa diaria de CO₂: $36,7 \text{ Gt} / 365 \text{ días} \approx 100,5 \text{ millones de toneladas métricas/día}$

3.2 Emisiones de monóxido de carbono (CO)

Para la estimación base (combustión directa con factores IPCC):

- Carbón: $(165 \text{ EJ} / 10^{-6} \text{ EJ/TJ}) \times (70 \text{ kg CO/TJ}) \times 10^{-3} \text{ ton/kg} = 11,55 \text{ Mt}$
- Petróleo: $(190 \text{ EJ} / 10^{-6} \text{ EJ/TJ}) \times (50 \text{ kg CO/TJ}) \times 10^{-3} \text{ ton/kg} = 9,5 \text{ Mt}$
- Gas natural: $(145 \text{ EJ} / 10^{-6} \text{ EJ/TJ}) \times (20 \text{ kg CO/TJ}) \times 10^{-3} \text{ ton/kg} = 2,9 \text{ Mt}$

Masa total anual de CO (base): $11,55 + 9,5 + 2,9 = \sim 24 \text{ Mt}$

Utilizando la estimación corregida de 400 Mt/año para la contribución fósil (basada en EDGAR):

Masa diaria de CO: $400 \text{ Mt} / 365 \text{ días} \approx 1,1 \text{ millones de toneladas métricas/día}$

Tabla 1.

Resumen de emisiones diarias y anuales de CO₂ y CO.

Compuesto	Emisión diaria (millones de ton/día)	Emisión anual (millones de ton/año)
CO ₂	100,5	36.700
CO	1,1	400

Discusión

Los resultados obtenidos confirman la escala abrumadora de las emisiones antropogénicas diarias, con el CO₂ como el mayor volumen, debido a su naturaleza como producto principal de la combustión completa. La emisión de más de 100 millones de toneladas de CO₂ cada día constituye la principal causa del cambio climático antropogénico (Guamán et al., 2025). Este gas se acumula en la atmósfera, aumentando su concentración y alterando el balance energético de la Tierra. El IPCC (2021) ha establecido una relación causal inequívoca entre estas emisiones acumulativas y el aumento de la temperatura global, la acidificación oceánica y la intensificación de fenómenos meteorológicos extremos.

Aunque su masa total es casi 100 veces menor que la del CO₂, el impacto del CO es inmediato y multifacético. La emisión de 1,1 millones de toneladas diarias tiene dos consecuencias principales: (1) en la salud pública, el CO es un tóxico agudo que en espacios cerrados representa una causa mortal de envenenamiento, y en exteriores contribuye a la morbilidad cardiovascular y respiratoria (WHO, 2010); (2) en la química atmosférica, el CO es un eslabón crítico en la cadena de reacciones que forman el ozono troposférico (O₃). Al consumir el radical hidroxilo (OH), el “detergente” de la troposfera, el CO prolonga indirectamente la vida atmosférica del metano (CH₄), un GEI mucho más potente que el CO₂ a corto plazo (IPCC, 2021). Así, el CO actúa como un “amplificador” indirecto del efecto invernadero.

Tabla 2.
Comparativa de los efectos ambientales y en salud del CO₂ y CO.

Aspecto	CO ₂	CO
Origen	Combustión completa	Combustión incompleta
Vida atmosférica	100-300 años	1-3 meses
Efecto principal	Gas de efecto invernadero, calentamiento global	Tóxico agudo, precursor de ozono
Impacto en salud	Indirecto (cambio climático)	Agudo (toxicidad cardiovascular)
Emisión diaria (Mt)	~100,5	~1,1
Medidas de mitigación	Energías renovables, captura de carbono	Combustión eficiente, catalizadores

Las cifras obtenidas son consistentes con las reportadas por otras fuentes globales. El Global Carbon Project (Friedlingstein et al., 2024) estima emisiones anuales de CO₂ fósil en ~36,8 Gt para 2023, lo que equivale a ~100,8 Mt/día, muy cercano a nuestro cálculo. Para el CO, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) y el inventario EDGAR (Janssens-Maenhout et al., 2017) sitúan las emisiones fósiles en un rango de 380-420 Mt/año, validando nuestra estimación de 400 Mt/año. La Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2023) también reporta tendencias similares, aunque con énfasis en CO₂.

Sinergias entre la mitigación de CO₂ y CO

Las mismas actividades que generan CO₂ generan CO cuando la eficiencia de combustión es baja. Por lo tanto, las estrategias de mitigación pueden ser sinérgicas. Mejorar la eficiencia de la combustión en vehículos, industrias y centrales eléctricas reduce simultáneamente las emisiones de CO (al promover una combustión más completa) y de CO₂ (al requerir menos combustible para el mismo servicio energético). Esta relación debe ser aprovechada en el diseño de políticas públicas.

Comparación con estudios previos

Nuestros resultados se alinean con los rangos reportados por la literatura científica. Boden et al. (2017) y Andreae (2019) coinciden en que las emisiones de CO representan aproximadamente un 4 % en masa de las emisiones de CO₂ fósil, proporción que se refleja en nuestros valores ($1,1 / 100,5 \approx 1,1 \%$; aunque la diferencia se explica por la subestimación de fuentes ineficientes en los factores base del IPCC). La incorporación de datos de EDGAR permite corregir esta desviación.

Soluciones sostenibles: transición hacia energías renovables

La transición energética global hacia fuentes renovables es crucial para mitigar tanto el cambio climático como la contaminación del aire (Chimphlee & Chimphlee, 2023). Aunque la base económica y de infraestructura de los combustibles fósiles es inmensa, es imperativo reemplazarla por energías menos contaminantes.

El análisis comparativo de cinco tecnologías renovables principales (Tabla 3) revela que la energía eólica terrestre y la solar fotovoltaica presentan los menores costos nivelados de energía (LCOE), siendo competitivas frente a los combustibles fósiles en muchos mercados (International Renewable Energy Agency [IRENA], 2023). La geotérmica y la biomasa ofrecen ventajas significativas como fuentes de energía gestionable y de carga base, mientras la hidroeléctrica a pequeña escala proporciona estabilidad estacional.

Tabla 3.
Comparativa de tecnologías de energía renovable.

Tecnología	Costo inicial (USD/kW)	Factor de planta (%)	LCOE (USD/MWh)	Factibilidad de implementación
Eólica terrestre	1.200-2.200	25-45	30-70	Alta/Media
Solar fotovoltaica	1.500-5.000	15-25	35-80	Alta
Biomasa	1.500-4.000	60-85	50-150	Media
Hidroeléctrica (PE)	2.000-10.000	40-70	40-100	Media/Baja
Geotérmica	2.900-5.000	70-95	60-180	Baja

Nota. Adaptado de IRENA (2023)

La implementación de estas tecnologías debe acompañarse de políticas integradas que aborden tanto la crisis climática de largo plazo como la crisis de salud pública inmediata derivada de la contaminación del aire.

4. Conclusiones

La quema diaria de combustibles fósiles libera aproximadamente 100,5 millones de toneladas de CO₂ y 1,1 millones de toneladas de CO a la atmósfera, lo que representa un desafío ambiental dual y evidencia un peligro eminente para la salud del planeta y de sus habitantes.

1. El CO₂, como gas de efecto invernadero de larga vida, requiere estrategias de mitigación centradas en la transición energética y tecnologías de captura de carbono.
2. El CO, aunque emitido en menores cantidades, exige medidas inmediatas de control debido a sus efectos agudos en la salud humana y su papel en la química atmosférica regional.
3. Las energías renovables, particularmente la eólica terrestre y solar fotovoltaica, demuestran viabilidad económica y técnica para reemplazar los combustibles fósiles.
4. Se recomienda la implementación de políticas integradas que combinen el despliegue acelerado de energías renovables con mejoras en la eficiencia energética y sistemas de control de emisiones para abordar simultáneamente ambos contaminantes.

Declaración de disponibilidad de datos

Los autores declaran que los datos utilizados en este estudio se encuentran descritos en el manuscrito y debidamente citados a lo largo del documento. Asimismo, las fuentes de los datos están disponibles en la sección de referencias, con el fin de garantizar la transparencia y la reproducibilidad de los resultados.

Declaración sobre el uso de IA generativa y tecnologías asistidas por IA en el proceso de redacción

Durante la preparación de este manuscrito, los autores utilizaron herramientas de inteligencia artificial generativa con el fin de apoyar la mejora de la redacción, el estilo del texto y la organización de algunas secciones del documento. Estas herramientas fueron empleadas únicamente como asistencia en el proceso de elaboración del manuscrito.

Posteriormente, los autores revisaron cuidadosamente todo el contenido generado o sugerido por dichas herramientas, realizaron las correcciones pertinentes y validaron la información presentada para asegurar

su precisión, coherencia académica y rigor científico. Los autores asumen la responsabilidad total por el contenido final del manuscrito.

Declaración de contribución de los autores CRediT

Jesús Cendrós-Guasch: Diseño de la investigación, revisión bibliográfica, análisis e interpretación de los datos, preparación y edición del manuscrito. **Ana María León-González:** Participación en la preparación de los datos, edición del manuscrito, corrección de estilo, revisión final con observaciones del arbitraje. **Jennifer Quintero-Medina:** Participación en la preparación de los datos, edición del manuscrito, corrección de estilo, revisión final con observaciones del arbitraje. **Paúl Gabriel Galué-Lanza:** Revisión de cálculos y participación conjunta con el resto del equipo en la interpretación de los datos.

Declaración de conflictos de intereses

Los autores declaran que no tiene ningún interés financiero ni relación personal que pudiera influir en el trabajo descrito en este artículo.

5. Referencias

- Andreae, M. O. (2019). Emission of trace gases and aerosols from biomass burning – an updated assessment. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19(13), 8523-8546. <https://doi.org/10.5194/acp-19-8523-2019>
- Boden, T. A., Marland, G., & Andres, R. J. (2017). *Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions*. Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC), Oak Ridge National Laboratory. https://doi.org/10.3334/CDIAC/00001_V2017
- Chimphlee, S., & Chimphlee, W. (2023). Forecasting carbon dioxide emission in Thailand using machine learning techniques. *International Journal of Electrical and Electronics Engineering Indonesia (IJEI)*, 11(3), 896–910. <https://doi.org/10.52549/ijeei.v11i3.4892>
- Ding, N., et al. (2025). State-of-the-art carbon metering: Continuous emission monitoring systems for industrial applications. *Heliyon*, 11(3), e42308. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42308>
- Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Hauck, J., Landschützer, P., Le Quéré, C., Li, H., Luijkx, I. T., Olsen, A., Peters, G. P., Peters, W., Pongratz, J., Schwingshackl, C., Sitch, S., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Alin, S. R., ... Zeng, J. (2025). Global Carbon Budget 2024. *Earth System Science Data*, 17(3), 965-1039. <https://doi.org/10.5194/essd-17-965-2025>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2: Energy*. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Japan. <https://www.ipcc.ch/report/2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- International Energy Agency (IEA). (2023). *World Energy Outlook 2023*. IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2023). *Renewable Power Generation Costs in 2022*. <https://www.irena.org/publications/2023/Aug/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2022>
- Janssens-Maenhout, G., Crippa, M., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Dentener, F., ... & Petrescu, A. M. R. (2017). EDGAR v4.3.2 Global Atlas of the three major greenhouse gas emissions for the period 1970-2012. *Earth System Science Data Discussions*, Preprint 1-52. <https://doi.org/10.5194/essd-2017-79>
- Guamán, W., Benalcazar, P., Cordova-Garcia, J., & Torres, M. (2025). Machine learning-based projections

- of long-term electricity consumption: The case study of Ecuador. En T. Guarda, F. Portela, & M. F. Augusto (Eds.), *Advanced research in technologies, information, innovation and sustainability* (pp. 174–187). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-83432-5_12
- Parra, R. (2020). Contribution of non-renewable sources for limiting the electrical CO₂ emission factor in Ecuador. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 244, 65–77. <https://doi.org/10.2495/AIR200061>
- Plevris, V., Solorzano, G., Bakas, N., & Ben Seghier, M. (2022). Investigation of performance metrics in regression analysis and machine learning-based prediction models. En *8th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering*. CIMNE. <https://doi.org/10.23967/eccomas.2022.155>
- Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change (3rd ed.)*. John Wiley & Sons. https://books.google.co.ve/books/about/Atmospheric_Chemistry_and_Physics.html?id=n_RmCgAAQBAJ&redir_esc=y
- World Health Organization (WHO). (2010). *WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants*. Chapter 6: Carbon monoxide. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK138710/>