

La contaminación atmosférica: un aumento en las zonas metropolitanas

Mariana Guevara Martínez
Universidad Autónoma de Tamaulipas
a2153140127@alumnos.uat.edu.mx

Jailene Marlen Jaramillo Pérez
Universidad Autónoma de Tamaulipas
a2163010061@alumnos.uat.edu.mx

Bárbara Azucena Macías Hernández
Universidad Autónoma de Tamaulipas
bmaciash@docentes.uat.edu.mx

Resumen

En los últimos años, la contaminación del aire se ha intensificado, presentando altos niveles de concentración de contaminantes en la atmósfera asociados principalmente a diversas actividades antropogénicas, entre ellas el incremento de la industria, el auge del transporte vehicular, el uso de biomasa y otros combustibles sólidos como fuente de energía y la combustión de hidrocarburos fósiles, los cuales representan un riesgo para la salud pública al ocasionar enfermedades respiratorias, cardiovasculares y afecciones cutáneas. Además, generan impactos en el medio ambiente, como la intensificación del efecto invernadero, el calentamiento global y, por ende, el cambio climático. Por lo anterior, es importante desarrollar estrategias integrales de gestión de la calidad del aire basadas en el control, prevención y reducción de contaminantes criterio, acciones sustentadas en el análisis de la calidad del aire a lo largo del tiempo y articuladas de manera complementaria con las políticas de mitigación y adaptación al cambio climático.

Palabras clave

Contaminación del aire, calidad del aire, cambio climático y zonas metropolitanas.

Abstract

In recent years, air pollution has intensified, with high levels of pollutant concentrations in the atmosphere due to the increase in industry, the uncontrolled burning of biomass, and the combustion of fossil fuels. These pose a risk to public health, causing respiratory and cardiovascular diseases and skin conditions. They also lead to environmental impacts such as the intensification of the greenhouse effect, global warming, and, consequently, climate change. Therefore, it is

APA: Guevara, M., Jaramillo, J. y Macías, A. (2025). La contaminación atmosférica: un aumento en las zonas metropolitanas. *Azcatl*, 5, 26-32. DOI: [10.24275/AZC2025B005](https://doi.org/10.24275/AZC2025B005)

important to develop comprehensive air quality management strategies focused on the control, prevention, and reduction of criteria pollutants, grounded in the analysis of air quality over time and designed to complement climate change mitigation and adaptation policies.

Keywords

Air quality, air pollution, climate change, metropolitan areas.

Introducción

La contaminación del aire representa una de las problemáticas más importantes a nivel mundial, ya que hoy en día la mayor parte de la población en zonas urbanas se encuentra expuesta a altos niveles de contaminación que a menudo sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos por entidades públicas (Kelly *et al.*, 2015). En 2019 el 50 % de las muertes a nivel mundial fue atribuido a la exposición prolongada a altos niveles de concentración de contaminantes del aire (Pozzer *et al.*, 2023). Los países desarrollados son sitios que ocupan los primeros lugares en emisiones de contaminantes atmosféricos (Hooper *et al.*, 2018) que provienen principalmente de actividades antropogénicas y pueden ser agrupados según las fuentes que los generan; en este sentido, se han clasificado cuatro categorías principales: fuentes puntuales que incluyen plantas industriales, centrales eléctricas, refinerías e incineraciones municipales. Las fuentes de área contienen algunas imprentas o gasolineras; también existen las fuentes móviles, las cuales engloban los automóviles, líneas aéreas y ferrocarriles. Dentro de las fuentes de área se incluyen también las de origen natural, como los incendios, la erosión volcánica, las tormentas de polvo y las quemaduras agrícolas (Manisalidis *et al.*, 2020). Las fuentes anteriormente mencionadas han ocasionado episodios de contaminación que, a su vez, han agravado la calidad del aire en nuestro planeta, generando un gran impacto en la salud de los seres humanos (Perera y Nadeau, 2022; Ofremu *et al.*, 2024).

Dichas emisiones han provocado cambios sustanciales en el clima del planeta, por ejemplo, variaciones en la temperatura, olas de calor, alteraciones en la frecuencia de precipitaciones, una mayor frecuencia de incendios forestales y el derretimiento de los mantos glaciares.

Actualidad de la contaminación del aire

La contaminación del aire se caracteriza por la presencia de altas concentraciones de gases y partículas acumulables en la atmósfera (Goossens *et al.*, 2021; Pagano y Barbierato, 2024). En consecuencia, se ha convertido en un fenómeno de gran relevancia a nivel global, debido al crecimiento poblacional, urbano e industrial, que a su vez ocasiona efectos negativos en la salud pública y los ecosistemas (Manisalidis *et al.*, 2020; Hilly *et al.*, 2024). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) (2024), al año mueren al menos 4.2 millones de personas debido a la mala calidad del aire. Como referencia, en la Figura 1 podemos observar la tasa de mortalidad a nivel mundial atribuible a la contaminación a través del tiempo, ya que debido a la alta concentración de fuentes emisoras (industriales, vehiculares y de servicios) se favorece que, con frecuencia, los límites máximos permisibles establecidos por las normas sean rebasados.

Zonas metropolitanas

Las zonas metropolitanas se definen como un conjunto de más de dos municipios que contienen en su ciudad más de 50 mil habitantes, cuyas actividades o funciones rebasan los límites originalmente establecidos. Una de las características de estas zonas es que incorporan como parte de sí mismas, o del área que abarcan, a municipios colindantes con los que comparten ciertas características como un alto grado de integración socioeconómica (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2014). Las zonas metropolitanas son de gran importancia para el desarrollo de las grandes ciudades, ya que representan una de las principales fuentes de economía y demografía. Estas áreas se caracterizan principalmente por su crecimiento acelerado, su diversidad cultural y su

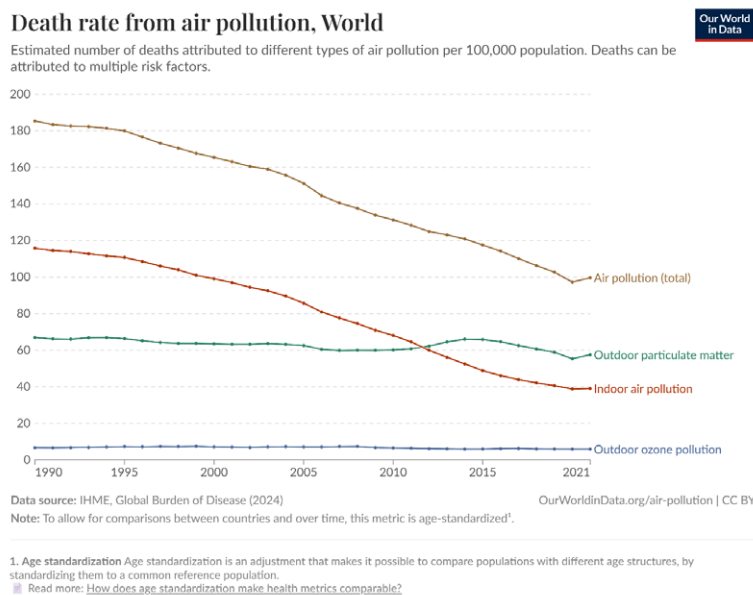


Figura 2. Tasa de mortalidad por contaminación del aire en el mundo. Fuente: IHME, Carga mundial de enfermedades (2024).

alta demanda de servicios y recursos (Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano [SEDATU], 2020).

Contaminantes del aire y sus efectos en la salud

Históricamente se ha reportado que la contaminación en zonas metropolitanas está caracterizada por la presencia de compuestos como el PM_{2.5} y el PM₁₀, compuestos orgánicos volátiles (COV), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO₂) y monóxido de carbono (CO) (Meo *et al.*, 2024; Shen *et al.*, 2020; Khalili *et al.*, 2025), que a su vez contribuyen a la formación de componentes secundarios como el ozono troposférico, además de influir en los niveles de concentración de otros compuestos como el metano (CH₄), impactando de forma indirecta en el cambio climático (Cican *et al.*, 2024). Por otro lado, la presencia de contaminantes criterio ha generado una gran problemática a nivel mundial, ya que por sus características ocasionan efectos adversos en la salud de los seres humanos y de los ecosistemas. Entre los contaminantes más abundantes se encuentra el dióxido de nitrógeno (NO₂), generado principalmente por actividades humanas tales como la combustión de hidrocarburos

fósiles, la quema no controlada de biomasa y las emisiones del parque vehicular urbano (Goldstein y Samuni, 2024; Wei *et al.*, 2024; Caselli, 2025; Ojeda *et al.*, 2025). Los altos niveles de concentración de este gas en la atmósfera están asociados con enfermedades respiratorias como el asma y accidentes cerebrovasculares (Kowalska *et al.*, 2020; Qian *et al.*, 2024). Otro contaminante muy presente en el ambiente es el dióxido de azufre (SO₂), el cual es emitido a la atmósfera mediante fuentes naturales (emisiones volcánicas e incendios forestales) (Carlsen *et al.*, 2021; Ren *et al.*, 2021) y por actividades antropogénicas (centrales eléctricas, industrias manufactureras y térmicas, quema de residuos agrícolas y combustión de gas natural (Li *et al.*, 2022; Mo *et al.*, 2022; Patiño *et al.*, 2024; Jindamane *et al.*, 2024). La exposición prolongada a este gas puede causar diversas enfermedades respiratorias como bronquitis, asma, tuberculosis (Nie *et al.*, 2023), disminución de la función pulmonar y un mayor riesgo de mortalidad cardio o cerebrovascular (Orellano *et al.*, 2021; Meo *et al.*, 2024). Otro contaminante que destaca es el monóxido de carbono (CO); en cuanto a su origen, se genera principalmente por la quema de biomasa, el tratamiento y extracción de gas natural,

la combustión incompleta en motores de gasolina y diésel, así como por actividades de la industria metalúrgica y procesos de soldadura, reparación y mantenimiento de motores (Cheng *et al.*, 2021; Savioli *et al.*, 2024). En términos de salud, el CO es un gas tóxico que puede causar accidentes cerebrovasculares y enfermedades que afectan el sistema respiratorio, como la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y la dificultad respiratoria crónica (Bilska-Wilkosz *et al.*, 2022; Meo *et al.*, 2024).

Factores que influyen en la contaminación atmosférica

En este sentido, la contaminación del aire está asociada a las actividades humanas, sin embargo, su permanencia y concentración dependen de los factores geográficos y meteorológicos, los cuales afectan la distribución de contaminantes en las zonas urbanas, tal y como se muestra en la Figura 2 (Manisalidis *et al.*, 2020). Por lo cual, Behera y Gokhale (2025) señalan que las zonas montañosas actúan como barreras naturales, modifican la velocidad del viento y alteran los patrones del flujo de aire,

por lo que este factor favorece la acumulación de contaminantes, lo que provoca una mala calidad del aire (Karimi *et al.*, 2025). Por su parte, los factores meteorológicos determinan la capacidad de dispersión de un contaminante en la atmosfera, esta dinámica está influenciada principalmente por parámetros como la temperatura, la humedad relativa, la presión barométrica, la velocidad y la dirección de viento, es decir, las condiciones meteorológicas favorables contribuyen a la limpieza del aire mediante la abundante precipitación (Rowland, 2024; Jiang y Jin, 2025; Lorinț *et al.*, 2025, Bai *et al.*, 2025).

Uso de redes de monitoreo atmosférico

Las redes de monitoreo atmosférico forman parte de un sistema de observación, monitoreo y evaluación de datos de la calidad del aire que permite establecer estándares y criterios técnicos para una adecuada gestión ambiental (García *et al.*, 2025). La información generada por estas redes no contribuye por sí sola a la mitigación y adaptación, pero constituye un insumo fundamental para diseñar, ajustar y evaluar las acciones de control de emi-



Figura 2. Factores que influyen en una mala calidad del aire.

Fuente: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2019).

siones y otras medidas de gestión, así como para valorar la eficacia de las estrategias de mitigación y adaptación frente al cambio climático. No obstante, el monitoreo de la calidad del aire presenta múltiples desafíos que limitan su análisis. Las estaciones de monitoreo atmosférico requieren un alto costo de instalación, calibración y mantenimiento, además de personal técnico capacitado para garantizar la calidad y la continuidad de los datos, lo que implica un mayor gasto operativo y un retraso en el monitoreo (Sokolova *et al.*, 2025).

Conclusiones

La contaminación del aire en zonas metropolitanas representa un problema urgente en materia de salud pública y medio ambiente; impulsada principalmente por fuentes antropogénicas como el transporte, la industria y la quema de combustibles. Compuestos como el NO₂, SO₂ y CO afectan gravemente la salud humana y contribuyen al cambio climático. Además, factores geográficos y meteorológicos influyen en su dispersión, lo que agrava su impacto. Aunque existen redes de monitoreo, sus limitaciones técnicas y operativas dificultan una gestión eficiente, por lo que es indispensable fortalecer las políticas públicas, el monitoreo ambiental y las estrategias de prevención para reducir estos efectos negativos.

Referencias

- Afzal, M., Agarwal, S., Elshaikh, R. H., Babker, A. M. A., Choudhary, R. K., Prabhakar, P. K., Zahir, F. y Sah, A. K. (2025). Carbon monoxide poisoning: diagnosis, prognostic factors, treatment strategies, and future perspectives. *Diagnostics*, 15(5). <https://doi.org/10.3390/diagnostics15050581>
- Behera, N. y Gokhale, S. (2025). Understanding meteorological factors influencing heavy air pollution in Guwahati, India. *Atmospheric Pollution Research*, 16(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apr.2024.102337>
- Bilska, A., Górný, M. e Iciek, M. (2022). Biological and pharmacological properties of carbon monoxide: a general overview. *Oxygen*, 2(2), 130-151. <https://doi.org/10.3390/oxygen2020012>
- Carlsen, H. K., Valdimarsdóttir, U., Briem, H., Domínguez, F., Finnbjörnsdóttir, R. G., Jóhannsson, T., Aspelund, T., Gíslason, T. y Guðnason, T. (2021). Severe volcanic SO₂ exposure and respiratory morbidity in the Icelandic population: a register study. *Environmental Health*, 20(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s12940-021-00698-y>
- Caselli, M. (2025). Critical analysis of the results of a network system for nitrogen dioxide monitoring. *Sustainability*, 17(6). <https://doi.org/10.3390/su17062738>
- Cheng, Y., Yu, Q., Liu, J., Sun, Y., Liang, L., Du, Z., Geng, G., Ma, W., Qi, H., Zhang, Q. y He, K. (2021). Formation of secondary inorganic aerosol in a frigid urban atmosphere. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 16(2). <https://doi.org/10.1007/s11783-021-1452-0>
- Cican, G., Mirea, R. y Căldărar, M. (2024). Comparative analysis of aeroshell 500 oil effects on jet A and diesel-powered aviation microturbines. *Fuels*, 5(3), 347-363. <https://doi.org/10.3390/fuels5030020>
- García, A., Saez, Y., Harris, I., Huang, X. y Collado, E. (2025). Advancements in air quality monitoring: a systematic review of IoT-based air quality monitoring and AI technologies. *Artificial Intelligence Review*, 58(9), 275. <https://doi.org/10.1007/s10462-025-11277-9>
- Goldstein, S. y Samuni, A. (2024). Chemistry of nitrogen dioxide and its biological implications. *Redox Biochemistry and Chemistry*, 7. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rbc.2024.100020>
- Goossens, J., Jonckheere, A.-C., Dupont, L. J. y Bullens, D. M. A. (2021). Air pollution and the airways: lessons from a century of human urbanization. *Atmosphere*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/atmos12070898>
- Hilly, J. J., Singh, K. R., Jagals, P., Mani, F. S., Turagabeci, A., Ashworth, M., Matakí, M., Morawska, L., Knibbs, L. D., Stuetz, R. M. y Dansie, A. P. (2024). Review of scientific research on air quality and environmental health risk and impact for PICTS. *Science*

- of *The Total Environment*, 942. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173628>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). Las zonas metropolitanas de México. https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ce/2014/doc/minimonografias/m_zmm_ce2014.pdf
- Jiang, J. y Jin, A. (2025). Study on the dispersion law of typical pollutants in winter by complex geographic environment based on the coupling of GIS and CFD: a case study of the Urumqi region. *Applied Sciences*, 15(5). <https://doi.org/10.3390/app15052469>
- Jindamane, K., Thepanondh, S., Keawboonchu, J., Ponthong, N. y Meeyai, A. (2024). Manifesting the hidden pollutants: quantifying emissions and environmental impact of petroleum refinery on PM_{2.5}. *Atmospheric Environment: X*, 24. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2024.100300>
- Karami, S., Ghassabi, Z., Khoddam, N. y Habibi, M. (2025). Investigating meteorological factors influencing pollutant concentrations and copernicus atmosphere monitoring service (CAMS) model forecasts in the tehran metropolis. *Atmosphere*, 16(3). <https://doi.org/10.3390/atmos16030264>
- Khalili, A., Vines, W. E. y Rifai, H. S. (2025). A place-based county-level study of air quality and health in urban communities. *Sustainability*, 17(12). <https://doi.org/10.3390/su17125368>
- Kowalska, M., Skrzypek, M., Kowalski, M. y Cyrus, J. (2020). Effect of NO_x and NO₂ concentration increase in ambient air to daily bronchitis and asthma exacerbation, silesian voivodeship in Poland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph17030754>
- Li, R., He, X., Wang, H., Wang, Y., Zhang, M., Mei, X., Zhang, F. y Chen, L. (2022). Estimating emissions from crop residue open burning in central China from 2012 to 2020 using statistical models combined with satellite observations. *Remote Sensing*, 14(15). <https://doi.org/10.3390/rs14153682>
- Lorinț, C., Traistă, E., Florea, A., Marchiș, D., Radu, S. M., Nicola, A. y Rezmerița, E. (2025). Spatiotemporal distribution and evolution of air pollutants based on comparative analysis of long-term monitoring data and snow samples in Petroșani mountain depression, Romania. *Sustainability*, 17(7). <https://doi.org/10.3390/su17073141>
- Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A. y Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and health impacts of air pollution: a review. *Frontiers in Public Health*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>
- Meo, S. A., Salih, M. A., Alkhalifah, J. M., Alsomali, A. H. y Almushawah, A. A. (2024). Environmental pollutants particulate matter (PM_{2.5}, PM₁₀), carbon monoxide (CO), nitrogen dioxide (NO₂), sulfur dioxide (SO₂), and ozone (O₃) impact on lung functions. *Journal of King Saud University. Science*, 36(7). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103280>
- Mo, J., Gong, S., He, J., Zhang, L., Ke, H. y An, X. (2022). Quantification of SO₂ emission variations and the corresponding prediction improvements made by assimilating ground-based observations. *Atmosphere*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/atmos13030470>
- Nie, T., Chen, J., Ji, Y., Lin, T. y Wang, J. (2023). Impact of air pollution on respiratory diseases in typical industrial city in the North China plain. *Sustainability*, 15(14). <https://doi.org/10.3390/su15141198>
- Ojeda, V., Murillo, M. A., Hernández, L., Saldarriaga, H., Vargas, M. E., Herrera, E. J. y Díaz, J. (2025). Tropospheric NO₂: anthropogenic influence, global trends, satellite data, and machine learning application. *Remote Sensing*, 17(1). <https://doi.org/10.3390/rs17010049>
- Orellano, P., Reynoso, J. y Quaranta, N. (2021). Short-term exposure to sulphur dioxide (SO₂) and all-cause and respiratory mortality: a systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 150. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106434>
- Organización Mundial de la Salud. (2024). Contaminación del aire ambiente (exterior) y salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-air-pollution-and-health-effects>

[tps://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

- Pagano, E. y Barbierato, E. (2024). A time series approach to smart city transformation: the problem of air pollution in Brescia. *AI*, 5(1), 17-37. <https://doi.org/10.3390/ai5010002>
- Patiño, M., Hernández, T., Panchana, C. y Borge, R. (2024). Source apportionment of ambient pollution levels in Guayaquil, Ecuador. *Heliyon*, 10(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31613>
- Perera, F. y Nadeau, K. (2022). Climate change, fossil-fuel pollution, and children's Health. *New England Journal of Medicine*, 386(24), 2303-2314. https://doi.org/10.1056/NEJMRA2117706/SUPPL_FILE/NEJMRA2117706_DISCLOSURES.PDF
- Pozzer, A., Anenberg, S. C., Dey, S., Haines, A., Lelieveld, J. y Chowdhury, S. (2023). Mortality attributable to ambient air pollution: a review of global estimates. *GeoHealth*, 7(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2022GH000711>
- Qian, Y., Cai, R., Su, X., Li, Q., Jin, S., Shi, W., Chen, R., Wang, C. y He, J. (2024). Residential nitrogen dioxide exposure and cause-specific cerebrovascular mortality: an individual-level, case-crossover study. *Toxics*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/toxics12010010>
- Ren, Y., Shen, G., Shen, H., Zhong, Q., Xu, H., Meng, W., Zhang, W., Yu, X., Yun, X., Luo, Z., Chen, Y., Li, B., Cheng, H., Zhu, D. y Tao, S. (2021). Contributions of biomass burning to global and regional SO₂ emissions. *Atmospheric Research*, 260. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmos-res.2021.105709>
- Savioli, G., Gri, N., Ceresa, I. F., Piccioni, A., Zanza, C., Longhitano, Y., Ricevuti, G., Daccò, M., Esposito, C. y Candura, S. M. (2024). Carbon monoxide poisoning: from occupational health to emergency medicine. *Journal of Clinical Medicine*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/jcm13092466>
- Shen, F., Zhang, L., Jiang, L., Tang, M., Gai, X., Chen, M. y Ge, X. (2020). Temporal variations of six ambient criteria air pollutants from 2015 to 2018, their spatial distributions, health risks and relationships with socioeconomic factors during 2018 in China. *Environment International*, 137. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105556>
- Sokolova, O., Yurgenson, A. y Shakhov, V. (2025). Development of air quality monitoring systems: balancing infrastructure investment and user satisfaction policies. *Sensors*, 25(3). <https://doi.org/10.3390/s25030875>
- Wei, S., Hong, Q., Tan, W., Chen, J., Li, T., Wang, X., Xue, J., Fang, J., Liu, C., Tanvir, A., Xing, C. y Liu, C. (2024). Spatiotemporal distribution, sources, and impact on atmospheric oxidation of reactive nitrogen oxides in the North China plain agricultural regions in summer. *Remote Sensing*, 16(17). <https://doi.org/10.3390/rs16173192>