

---

---

# Ozono.

Muñoz Pérez Leonardo F.

Centro Estatal de Vigilancia Epidemiológica y Control de Enfermedades.

## Resumen

Cuando el ozono se sitúa en la capa más baja de la atmósfera y supera ciertos niveles, deja de ser el gas protector de la vida en el planeta para convertirse en un peligroso contaminante. A diferencia de otros contaminantes que son emitidos directamente por sus fuentes, el ozono surge a partir de otros productos, principalmente óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, en presencia de abundante luz solar, por lo que se le define como contaminante secundario. El ozono troposférico es un potente oxidante que produce efectos adversos en la salud humana. Diversos estudios muestran que altas concentraciones de ozono tienen efectos desfavorables en la función respiratoria, causando la inflamación pulmonar, insuficiencia respiratoria, asma y otras enfermedades broncopulmonares.

## Summary

*When ozone is located in the lowest layer of the atmosphere and exceeds certain levels, it ceases to be the protective gas of life on the planet to become a dangerous pollutant. Unlike other pollutants that are emitted directly from its sources, ozone arises from other products, mainly nitrogen oxides and hydrocarbons, in the presence of abundant sunlight, which is why it is defined as a secondary pollutant. Tropospheric ozone is a powerful oxidant that produces adverse effects on human health. Various studies show that high concentrations of ozone have adverse effects on respiratory function, causing lung inflammation, respiratory failure, asthma, and other bronchopulmonary diseases.*



Fuente: [www.freepik.com](http://www.freepik.com)





## Introducción

La contaminación atmosférica se ha venido incrementando tanto a nivel mundial como en países de América Latina. En México, la calidad del aire se ha visto afectada por la presencia de múltiples contaminantes (partículas, dióxido de nitrógeno, ozono, etcétera), lo que representa un serio problema de salud pública y deteriora la calidad de vida de sus habitantes. Cada vez son más las personas expuestas a concentraciones ambientales de contaminantes atmosféricos que representan un riesgo alto de sufrir daños irreversibles en su salud, lo que transgrede el derecho humano a disfrutar de un ambiente limpio y sano, y a vivir con una mejor calidad de vida.

El ozono (O<sub>3</sub>) es un gas incoloro generalmente y de un olor acre, cuya molécula está compuesta por tres átomos de oxígeno. La capa de ozono en los niveles altos de la atmósfera, también llamado estratosférico, funciona como un filtro de protección contra las radiaciones solares. Sin embargo, el ozono en superficie terrestre, también llamado troposférico, se convierte en un contaminante que genera graves impactos sobre la salud pública y los ecosistemas.

El ozono troposférico no se emite directamente a la atmósfera. Es un contaminante secundario, que se forma a partir de reacciones fotoquímicas complejas con intensa luz solar entre contaminantes primarios como son los óxidos de nitrógeno (NO, NO<sub>2</sub>) y compuestos orgánicos volátiles (COV). Los óxidos de nitrógeno se generan en los procesos de combustión de los vehículos automotores, en tanto que los compuestos orgánicos volátiles se generan a partir de un número de fuentes variado, transporte por carretera, refinerías, pintura, limpieza en seco de tejidos, y otras actividades que implican el uso de solventes.

El monóxido de carbono (CO) y el metano (CH<sub>4</sub>) también intervienen en la formación de ozono. El metano, también un compuesto orgánico volátil, se genera en la minería del carbón, la extracción y distribución de gas natural, vertederos, aguas residuales, quema de biomasa, granjas de animales, etc.

El ozono es menos conocido que otros contaminantes, pero es el que afecta a un mayor número de población y uno de los más difíciles de combatir. El tiempo de vida del ozono en la atmósfera depende de la presencia y abundancia de sus precursores y de las condiciones antes mencionadas, registrándose las concentraciones más elevadas durante las horas del día en que se registra la mayor temperatura.

## Impactos en la salud humana y en los ecosistemas

El ozono troposférico es un potente oxidante que produce efectos adversos en la salud humana. Diversos estudios muestran que altas concentraciones de ozono tienen efectos adversos en la función respiratoria, causando inflamación pulmonar, insuficiencia respiratoria, asma y otras enfermedades broncopulmonares. También hay evidencias que vinculan la exposición al ozono, a largo plazo, con mortalidad entre las personas con enfermedades crónicas no transmisibles, como enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), diabetes, insuficiencia cardiaca, infarto e hipertensión. En este contexto, cabe señalar que la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC), organismo dependiente de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en uno de sus informes ha clasificado la contaminación ambiental como carcinógeno del Grupo 1 (el nivel más alto de clasificación).

El ozono en el aire ambiente interior puede también reaccionar con otros componentes (formaldehído, acetaldehído y otros ácidos orgánicos) produciendo contaminantes de corta duración pero que resultan altamente irritantes y que también tienen efectos sobre la salud a largo plazo.

Siendo el ozono un gas potencialmente irritante y altamente oxidante, el daño que se produce derivado de la exposición impacta principalmente en las mucosas, a través de procesos de oxidación, como consecuencia del incremento de radicales libres y la peroxidación lipídica. Sin embargo, los productos reactivos que se generan son capaces de propiciar reacciones en cadena amplificando el daño biomolecular y, por ende, la afectación de otros órganos o sistemas. La exposición a este tipo de contaminante, va desde la afectación en la calidad de vida de personas con enfermedades preexistentes y el incremento en las tasas de morbilidad (síntomas respiratorios y enfermedades respiratorias, el incremento de inflamación de vías aéreas, disminución en la función pulmonar, una respuesta inmunológica alterada, exacerbación de cuadros asmáticos), hasta el incremento en las tasas de mortalidad por algunas enfermedades cardiopulmonares, cardiovasculares, respiratorias y cerebrovasculares.

El ozono no puede penetrar a través de las membranas celulares, por lo que sus efectos biológicos pueden ser provocados por intermediarios tales como radicales libres, aldehídos, peróxido de hidrógeno, entre otros. Cuando el tracto respiratorio es expuesto al ozono se produce daño en el mismo, el alcance dependerá de la concentración de ozono, la duración de la exposición, los patrones de exposición y la ventilación. La limpieza de las





mucosas respiratorias disminuye por la exposición aguda al ozono. Los macrófagos alveolares, responsables de la limpieza en la región pulmonar y participantes en la respuesta inmune, pueden disminuir su fagocitosis y su actividad metabólica antimicrobiana, incrementar la liberación de prostaglandinas y alterar su cantidad. Estos efectos aumentan la susceptibilidad a las infecciones respiratorias.

Las investigaciones epidemiológicas para evaluar la asociación entre la exposición a contaminantes atmosféricos y sus efectos en la salud, incluyen ausentismo escolar, repercusiones en la calidad de vida de poblaciones susceptibles, así como sintomatología respiratoria. Se ha reportado que cerca del 50% de la población escolar en zonas donde las concentraciones de ozono son elevadas (0.130-0.220 partes por millón [ppm]), llegan a faltar al menos 1 vez cada 3 meses, debido a alguna afección respiratoria y cerca del 11.7% falta en dos o más ocasiones. Por otro lado, concentraciones cercanas a 0.050 ppm han favorecido un incremento del 43% al 133% en las visitas a consultas de urgencias por exacerbaciones de asma en población infantil de 1 a 4 años. Asimismo, en concentraciones de 0.040 a 0.050 ppm, se reportó un aumento del 19.1% al 35% en hospitalizaciones por enfermedades respiratorias agudas en menores de 2 años.

La Organización Mundial de la Salud reconoce que aun por debajo de una concentración promedio de 8 horas de 0.050 ppm, pueden producirse algunos efectos en la salud de la población expuesta. Señalando también que la exposición a este nivel de ozono se asocia con efectos fisiológicos e inflamatorios en los pulmones de adultos jóvenes sanos que hacen ejercicio expuestos durante periodos de 6,6 horas, con efectos en la salud de la población infantil y un aumento de 3-5% de la mortalidad diaria.

En relación a las enfermedades cardiovasculares, se ha encontrado que el ozono es capaz de modular la regulación del tono vascular y aumentar el estrés oxidativo a nivel mitocondrial dañando su ácido desoxirribonucleico, también disminuye el óxido nítrico sintasa endotelial y, en consecuencia, la biodisponibilidad del óxido nítrico, alterando la vasodilatación. Aunado a esto, el ozono puede reducir el componente de alta frecuencia de la variabilidad de la frecuencia cardíaca, siendo las personas de edad avanzada y con problemas de hipertensión particularmente susceptibles, observándose cambios de 2% por incremento de 0.010 ppm de la concentración horaria máxima. Es posible que esto ocurra mediante la estimulación de receptores de irritación, favoreciendo el estado inflamatorio crónico y la oxidación inducida por el ozono, conduciendo a cambios en la variabilidad de la frecuencia cardíaca o potenciar el efecto de partículas inhaladas. Por otra parte, altos niveles de ozono también pueden dañar la

vegetación, perjudicando la reproducción y el crecimiento de las plantas, lo que lleva a la reducción de la biodiversidad, disminución de crecimiento de los bosques y reducción del rendimiento de los cultivos agrícolas. El ozono disminuye el proceso de fotosíntesis, reduciendo la absorción del dióxido de carbono por la planta.

El daño por el ozono puede reducir tanto el rendimiento del cultivo y la calidad, como el valor de la cosecha. Hay cultivos más sensibles al ozono, como el algodón, la lechuga y los tomates. El efecto del ozono en las plantas varía en función de diversos factores, como la edad de estas, los niveles de luz, humedad o las condiciones del suelo; pero los estudios indican que la combinación de niveles máximos de ozono y la duración de la exposición son los factores más importantes. Nuevas evidencias científicas sugieren que el ozono y el nitrógeno pueden tener efectos sinérgicos y antagónicos sobre la salud de las especies y los procesos de los ecosistemas, y que pueden interactuar de manera impredecible, afectando a las comunidades vegetales. Debido a sus impactos sobre la salud humana, vegetación y cultivos, al ozono se le considera actualmente como el tercer gas en importancia del efecto invernadero (después del dióxido de carbono y el metano).

### La situación en México

El ozono troposférico afecta a una población de 38.3 millones de personas, un 81% de la población total, según los valores recomendados por la OMS. Entre esta población se incluyen 8.8 millones de personas, un 19% sobre el total, que se ven afectadas por unas concentraciones que superan los valores establecidos por la normativa para este contaminante.

En México ocurren 17 mil 700 muertes al año relacionadas con la mala calidad del aire (1) que podrían evitarse si las normas mexicanas fueran más estrictas y se ajustaran a los valores que sugiere la Organización Mundial de la Salud (OMS).

En México, el Gobierno es el responsable de establecer los estándares para el monitoreo de los contaminantes atmosféricos. Para ello, se elaboraron normas de salud ambiental que miden siete contaminantes: dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), partículas menores a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>), partículas menores a 2,5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>), Plomo (Pb) y Ozono (O<sub>3</sub>).

La NORMA Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2014, Salud ambiental. Valor límite permisible para la concentración de ozono (O<sub>3</sub>) en el aire ambiente y criterios para su evaluación, indica que la concentración de ozono debe ser menor o igual a 0.095 ppm





Fuente: [www.freepik.com](http://www.freepik.com)

como promedio horario, el cual nunca deberá ser rebasado; y la concentración del promedio móvil de 8 horas de ozono, debe ser menor o igual a 0.070 ppm, tomado como el máximo en un periodo de 1 año calendario.

No obstante, la normativa debe ser mucho más rigurosa, pues tienen parámetros muy laxos de límites máximos permitidos, incluso si los comparamos con los de la Organización Mundial de la Salud (OMS) que datan de 2005, tenemos normas que superan el límite de la OMS en 1,200%.

En México, la frecuencia de días en que las concentraciones de ozono troposférico excedieron la norma ha permanecido constante en el tiempo en la mayoría de las ciudades con monitoreo. Sin embargo, en la Ciudad de México y Guadalajara persisten los problemas graves de calidad del aire. De acuerdo con la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la mitad de los días en el Valle de México el ozono está por arriba de la norma mexicana (80 partes por billón).

### **Necesidad de cambio**

Es necesario un cambio fundamental en las acciones a corto y medio plazo y los mecanismos para afrontar la lucha contra la contaminación del ozono troposférico, en particular, y las políticas sobre calidad del aire en México.

En el informe de la OMS sobre salud y calidad del aire, se menciona que: “La política de calidad del aire de los países miembros debe estar basada en las últimas evidencias científicas”. Es fundamental y urgente que México revise su legislación, modificando las directivas sobre calidad del aire, para la inclusión de los valores límites propuestos por la OMS, mucho más estrictos, preventivos y precautorios, basados en el peso de las evidencias científicas actuales. Es el caso del valor objetivo de protección de la salud diario (octohorario) de ozono, que la OMS lo reduce a 100 microgramos por metro cúbico, frente a los 120 que marca la normatividad.

La legislación obliga a la elaboración de planes de mejora de la calidad del aire cuando en determinadas zonas o aglomeraciones los niveles de contaminantes en el aire ambiente superen cualquier límite o valor objetivo, como es el caso del ozono troposférico. El desarrollo de estos planes de mejora debe coordinarse con la Estrategia Nacional de Calidad de Aire en el que haya un mayor control y reducción de las emisiones de parque vehicular y las actividades industriales.



Algunas medidas y recomendaciones para proteger la salud de la población cuando se superan los 100 puntos de ozono son:

- Evitar hacer actividades cívicas, culturales y de recreo, así como el ejercicio al aire libre entre las 13:00 y 19:00 horas, ya que algunas de estas actividades pueden incrementar la dosis de contaminantes inhalados.
- Se recomienda no fumar, especialmente en espacios cerrados.
- Se recomienda reducir el uso de productos que contienen compuestos orgánicos volátiles (solventes), tales como: pinturas en aerosol, pinturas base aceite, barnices, aromatizantes y limpiadores domésticos, entre otros.
- Se prohíbe la quema de materiales y residuos, incluyendo las realizadas para adiestramiento y capacitación de personal.
- Se recomienda reducir el uso del vehículo particular, compartir el auto y utilizar el servicio de transporte público.

- INECC – Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 2017. Informe Nacional de Calidad del Aire 2016. <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/informes/Informe2016.pdf>
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2014a. Secretaría de Salud. NORMA Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2014, Salud ambiental. Valor límite permisible para la concentración de ozono (O3) en el aire ambiente y criterios para su evaluación. Publicado el 20 de agosto de 2014. Disponible en: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5357042&fecha=20/08/2014](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5357042&fecha=20/08/2014)

## Bibliografía

- WHO, 2013, Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project Technical report, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/review-of-evidence-on-health-aspects-of-air-pollution-revihaap-project-final-technical-report>
- Straif, Kurt, Cohen, Aaron, Fomet, Jonathan (eds.). 2013: Air Pollution and Cancer. IARC Scientific Publication No. 161. Lyon. <http://www.iarc.fr/en/publications/books/sp161/index.php>
- Chen, C., Zhao, B., Weschler, Ch.J., 2012, 'Assessing the Influence of Indoor Exposure to 'Outdoor Ozone' on the Relationship between Ozone and Short-term Mortality in U.S. Communities' Environmental Health Perspectives, (120/2) 235–240.
- Vlachokostas, Ch., Nastis, SA, Achillas, Ch. et al. 2010. Economic damages of ozone air pollution to crops using combined air quality and GIS modelling. Atmospheric Environment. 44:3352-3361.
- Harmens, H. and Mills, G. (eds.), 2012, Ozone Pollution: Impacts on carbon sequestration in Europe. ICP Vegetation Programme Coordination Centre, Centre for Ecology and Hydrology, Environment Centre, Wales.
- OMS. (2006). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. Resumen de evaluación de los riesgos, s.l.: Organización Mundial de la Salud.
- OMS – Organización Mundial de la Salud. 2018. Calidad del aire y salud. Datos y cifras. [https://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)
- EPA. (2018). Basic Information about Ozone. [En línea] Recuperado de <https://www.epa.gov/ozone-pollution/basic-information-about-ozone>
- Ghorani-Azam, A., Riahi-Zanjani, B. & Balali-Mood, M. (2016). Effects of air pollution on human health and practical measures for prevention in Iran. J Res Med Sci, 21(65).

