

OZONO (O₃) TROPOSFÉRICO

Ficha de Información para Profesionales

Comunidad de Madrid, 2024



**Comunidad
de Madrid**

Dirección General de Salud Pública
CONSEJERÍA DE SANIDAD

FICHA INFORMACIÓN GENERAL DEL OZONO (O₃)

INDICE

1. Características generales.....	3
2. Emisión: fuentes.....	6
3. Inmisión.....	6
4. Efectos en salud.....	8
5. Grupos de especial riesgo.....	10
6. Modificación del Valor Guía para Ozono de la OMS.....	10
7. Legislación.....	11
8. Definiciones.....	12
9. Referencias Bibliográficas.....	12
10. Anexo: Tablas resumen estudios sobre ozono troposférico.....	15

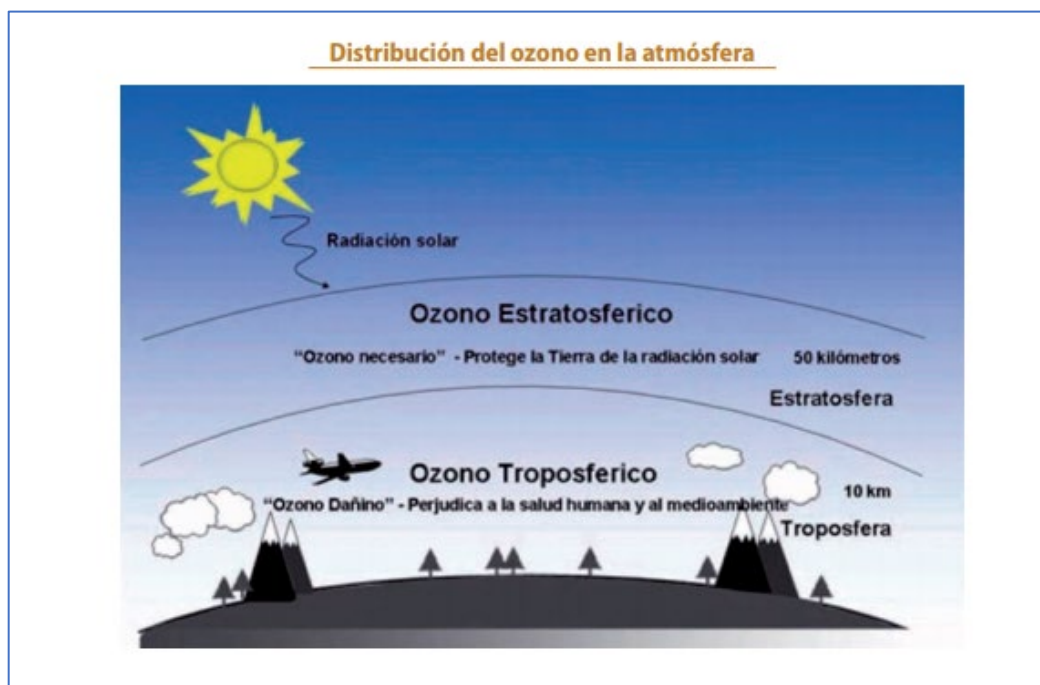
1. Característica

2. s generales

El ozono (O_3) es un gas altamente reactivo compuesto por tres átomos de oxígeno. Aparece fundamentalmente en dos áreas de la atmósfera: la estratosfera y la troposfera. La mayor parte del ozono atmosférico se encuentra en la estratosfera, capa que se extiende desde unos 12 a 50 kilómetros de la superficie terrestre.

El **ozono de la estratosfera** actúa como un filtro capaz de detener la radiación ultravioleta de onda corta procedente del sol (UV-C), protegiendo así la corteza terrestre de los efectos de esta radiación de alta energía lo que supone un **efecto beneficioso** para la vida en el planeta. Esta es la capa que se ha visto afectada por las emisiones de clorofluorocarbonos (CFCs) utilizados en los refrigerantes y aerosoles (prohibidos desde el año 2000 por el Protocolo de Montreal) y en menor grado por metano y óxidos de nitrógeno. El adelgazamiento acusado *-agujero-* de la capa de ozono constituye un problema ambiental con repercusiones importantes en salud (aumento del cáncer de piel, cataratas). Afortunadamente, y gracias al cumplimiento del Protocolo de Montreal (firmado en el año 1987), la capa de ozono estratosférica se está recuperando.

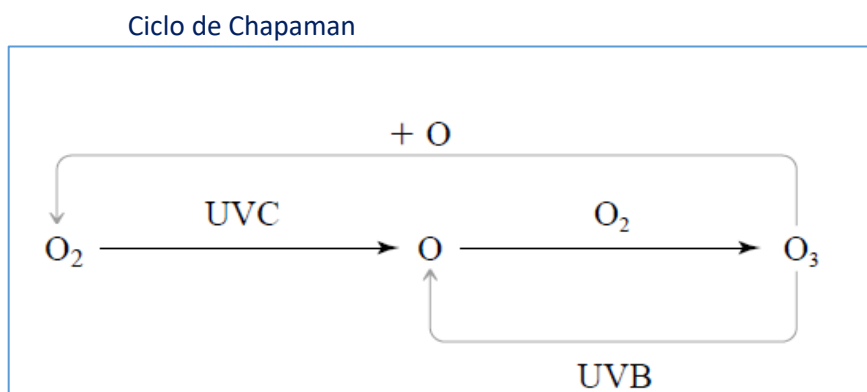
La troposfera, la capa más próxima a la Tierra, se extiende desde la corteza terrestre a la base de la estratosfera y tiene un espesor medio de 12 kilómetros. El **ozono troposférico**, a diferencia del estratosférico, no constituye ninguna protección para la vida humana. Al contrario, se comporta como un **contaminante con efectos adversos para la salud** de las personas y la vida vegetal.



1.1. Formación del ozono

A.-Estratosfera

En la estratosfera, el O_3 se forma por fotodisociación de la molécula de oxígeno en átomos de oxígeno al incidir sobre ella radiación ultravioleta de una longitud de onda en torno a los 200 nm y la posterior reacción $O_2 + O$ para producir la molécula de ozono. Este proceso se denomina fotólisis, ciclo natural del ozono o ciclo de Chapman.



Fuente: Química ambiental (C Baird; M Cann)

B.-Troposfera

Sin embargo, la radiación ultravioleta que llega a la **troposfera** tiene una mayor longitud de onda (259- 430 nm): son las radiaciones UV-A y B. En esta capa de la atmósfera el ozono se origina a partir de otros contaminantes, fundamentalmente óxidos de nitrógeno y COVs (Compuestos Orgánicos Volátiles), en presencia de oxígeno y la luz del sol. Se trata, por tanto, de un contaminante secundario que precisa de otros compuestos para formarse. La compleja serie de reacciones que se producen en el caso de los óxidos de nitrógeno queda resumida en los siguientes pasos:

El **dióxido de nitrógeno (NO₂)** en presencia de **luz solar** (295-430 nm, ultravioleta próximo) produce óxido nítrico (**NO**) y un **radical de oxígeno, muy reactivo**:



A continuación, el radical de oxígeno reacciona con el oxígeno molecular produciendo ozono



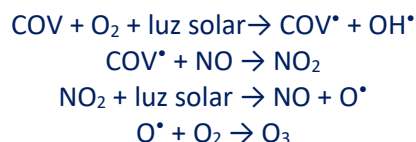
Por último, el óxido nítrico (**NO**) reacciona a su vez con el ozono (**O₃**) y se forma de nuevo Dióxido de nitrógeno (**NO₂**)



La rapidez con la que se produce esta última reacción explica que las concentraciones de O_3 sean menores en el centro de las ciudades que en la periferia de las mismas y en las áreas rurales. En el centro, donde hay importantes emisiones de NO debido fundamentalmente al tráfico, éste reacciona con el ozono para producir dióxido de nitrógeno, manteniéndose relativamente

constantes, por tanto, los niveles de ozono. En cambio, el arrastre de contaminantes por el viento hacia la periferia de las grandes ciudades y el medio rural determina que en estas zonas, con menores niveles de NO, las concentraciones de ozono sean más altas.

Los **Compuestos Orgánicos Volátiles** (COV) son hidrocarburos con 2 a 12 átomos de carbono procedentes de múltiples fuentes (algunas naturales, como los árboles) y procesos que los vierten a la atmósfera, entre los que se incluyen los gases procedentes de los tubos de escape de los automóviles, la evaporación de la gasolina, procesos industriales, la distribución de gas licuado de petróleo (GLP) y el uso de disolventes a escala doméstica e industrial. Entre los muchos existentes, algunos de los más abundantes son: etano, propano, butano, pentano, hexano, tolueno, propileno, acetileno, benceno. En el caso de los COVs, la secuencia que conduce a la formación de ozono incluye su reacción con los óxidos de nitrógeno según el siguiente esquema:



Además de la insolación, las altas temperaturas y la ausencia de viento favorecen la producción de ozono, haciendo más rápidas las reacciones químicas que lo generan. Las altas temperaturas provocan también un aumento de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles, tanto de origen natural como antropogénico. Todo ello determina unos niveles de ozono más elevados en los meses de verano, sobre todo en las horas centrales del día. La contaminación atmosférica propia del verano, conocida como **smog o neblina fotoquímica**, tiene al ozono como su componente más tóxico.

La formación y variación de los niveles de ozono en una gran ciudad puede visualizarse en la siguiente [infografía](#) tomada de la Web del Ayuntamiento de Madrid Calidad del Aire: Variación de los niveles diarios de ozono sobre una gran ciudad.

1.2. Propiedades

El ozono es un gas incoloro (azulado en grandes cantidades), con un olor penetrante y muy reactivo. Es un potente oxidante capaz de reaccionar con muchas sustancias, de lo que se deriva su capacidad irritante para los tejidos vivos y, oxidante sobre muchos materiales.

1.3. Unidades de medida

La concentración del ozono en el aire se mide en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($2000 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 1\text{ppm}$; en condiciones **normales** de Presión -1013 hPa- y Temperatura -25 °C-). Al ser un contaminante con fuerte oscilación a lo largo del día, por su dependencia de la luz solar y de la temperatura del aire, para medirlo se utilizan, sobre todo, valores máximos octohorarios y horarios.

1.4. Métodos de medida

Existen diferentes métodos para medir la concentración de ozono pero el más utilizado es el de la fotometría ultravioleta, método de referencia definido en la legislación⁽²²⁾. Su funcionamiento se basa en la absorción característica de la molécula de ozono cuando es irradiada por radiación ultravioleta. Cuando un haz de luz ultravioleta atraviesa un cierto volumen de gas que contiene moléculas de ozono, se produce una absorción de la radiación UV por dichas moléculas que será

máxima para longitudes de onda de alrededor de 250 nm. La absorción de esta radiación por la muestra de aire es una medida de la concentración de ozono en el aire ambiente. Este método es aplicable para la determinación de concentraciones de ozono en el rango de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $2 \text{ mg}/\text{m}^3$, rango en el que se encuentran los niveles de este contaminante en la troposfera.

2. Emisión: fuentes

El ozono al que estamos expuestos en la troposfera puede ser de origen natural, proveniente de la entrada de ozono de la estratosfera a la troposfera o a partir de emisiones procedentes de fuentes naturales como son la vegetación, los volcanes o las fermentaciones.

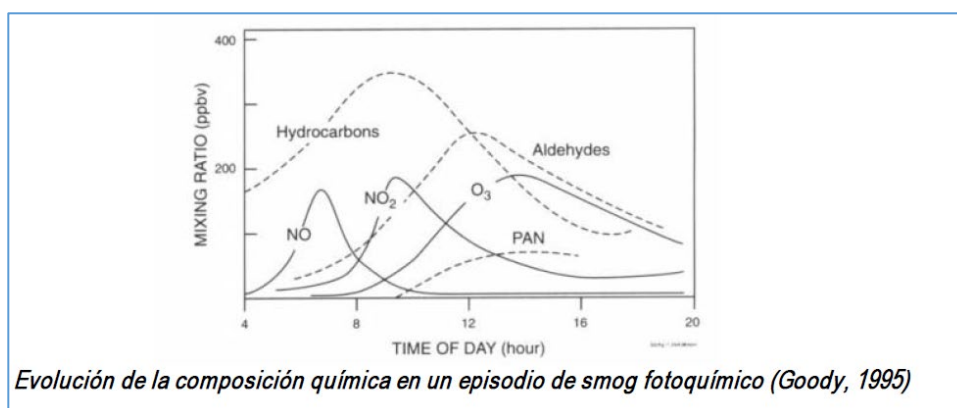
Sin embargo, el problema fundamental de la contaminación por ozono troposférico deriva del exceso de formación de contaminantes primarios debido a la actividad humana. Los óxidos de nitrógeno se producen principalmente por el tráfico, las centrales térmicas de combustibles fósiles y los procesos industriales de combustión. Los compuestos orgánicos volátiles son, en buena parte, de origen natural (vegetación, por ejemplo), pero también se originan por el uso de disolventes o por el tráfico: gases de combustión de vehículos, evaporación de combustible en las operaciones de carga de depósitos y estaciones de servicio, etc.

La exposición al ozono se produce fundamentalmente en el medioambiente exterior, ya que la concentración de este gas en el interior de los edificios es muy inferior a la que se encuentra al aire libre. Las fuentes de ozono en ambientes interiores se reducen a algunos aparatos como las fotocopiadoras y los sistemas electrostáticos de depuración del aire.

3. Inmisión: niveles medios ambientales

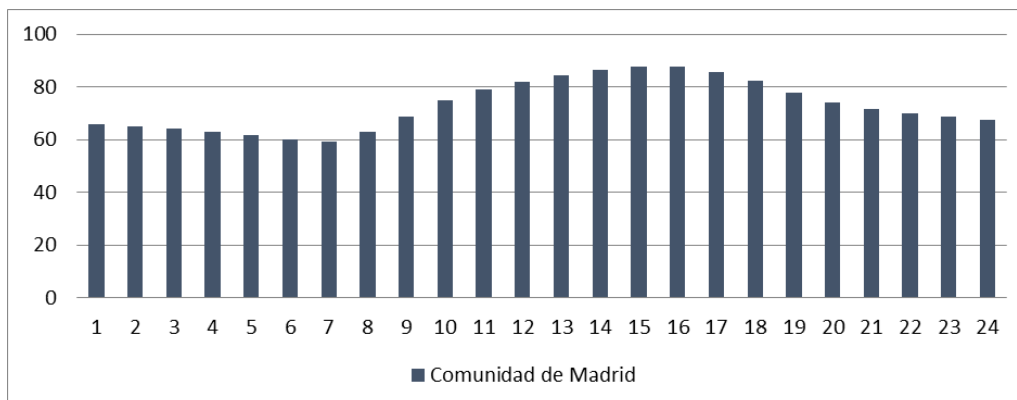
3.1. General

Los niveles de ozono no sólo varían con la época del año sino que también son distintos a lo largo del día, ascendiendo rápidamente durante la mañana para alcanzar los valores máximos en las primeras horas de la tarde y descendiendo lentamente a partir de entonces hasta la salida del sol, cuando se encuentran los valores más bajos. Relacionada con el proceso de formación descrito, hay una sucesión a lo largo del día de los picos de NO, NO₂ y O₃.



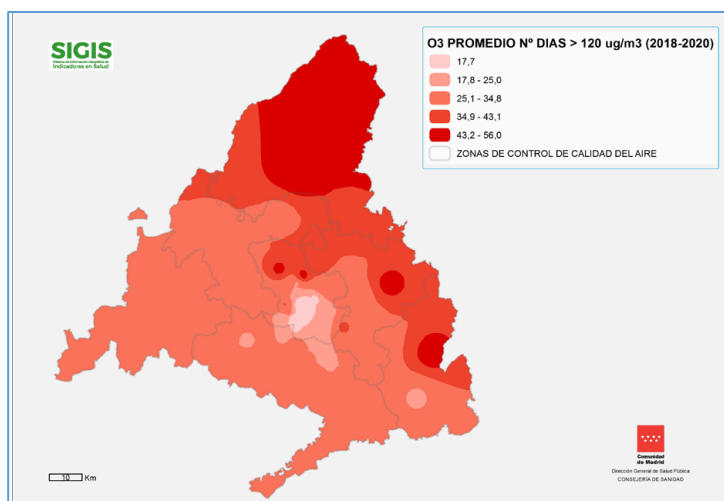
Fuente: Validación e implementación de técnicas de captación pasiva para el estudio de los niveles y efectos del ozono troposférico y el dióxido de nitrógeno en un área costera mediterránea. Tesis doctoral. Delgado Saborit, Juana María. Repositorio Programa de Doctorat en Ciències. Universitat Jaume I.

Evolución del promedio horario de ozono a lo largo del día en la red de control de calidad del aire de la Comunidad de Madrid. (Valor máximo del promedio anual de cada hora en 2020 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Red de control de la calidad del aire de la Comunidad de Madrid.

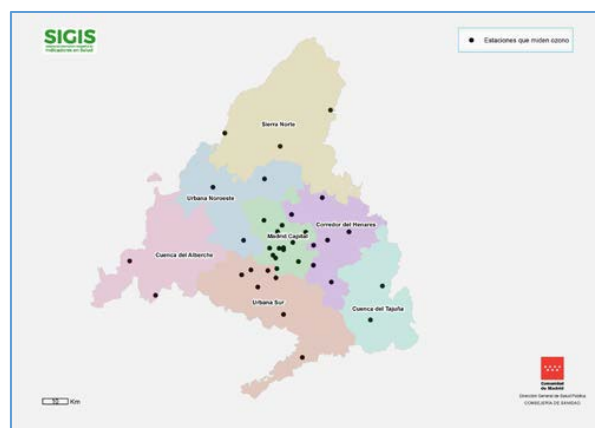
En general, como se ha dicho anteriormente, en el centro de las ciudades la concentración de ozono es menor que en los barrios periféricos y las zonas rurales. Tal efecto, aparentemente paradójico, es debido a la desaparición del ozono cuando reacciona con el óxido nítrico (NO) procedente fundamentalmente del tráfico. Y éste, lógicamente, es más intenso en la almendra central de las ciudades. Puede consultarse el [Indicador Anual de Ozono troposférico 2020](#) en la Web [Calidad del Aire y Salud](#)



Fuente: Indicadores de Contaminación Atmosférica. Elaboración propia a partir de los datos de la Red de control de la calidad del aire de la Comunidad de Madrid y del Sistema integral de vigilancia, predicción e información de la contaminación atmosférica de la ciudad de Madrid. [Informe técnico del SIGIS-OZONO](#) solo accesible desde la Intranet de la Consejería de Sanidad.

3.2. Comunidad de Madrid

En la Comunidad de Madrid la Consejería de Medio Ambiente, Agricultura e Interior dispone de una red de 28 estaciones ubicadas en otros tantos municipios del territorio y en las que se mide Ozono. Por su parte, el Ayuntamiento de Madrid reestructuró en 2010 su Red de Vigilancia de la Calidad del Aire para adaptarla a los nuevos criterios establecidos en la Directiva 2008/50 relativa a la calidad del aire ambiente y una atmósfera más limpia en Europa con 25 estaciones fijas, de las que 13 miden ozono troposférico.



Además, el Ayuntamiento de Madrid dispone de una unidad móvil cuyo equipamiento es similar al de las estaciones fijas y que también puede medir ozono en el lugar que se considere necesario.

4. Efectos en la salud

4.1. Efectos sobre la salud humana

El ozono troposférico ejerce su acción nociva sobre el organismo mediante la oxidación de las proteínas y lípidos que componen la pared celular de los órganos más superficiales, y por lo tanto más expuestos, del cuerpo: piel, ojos, vías respiratorias. Dicha oxidación se traduce en una reacción inflamatoria de mayor o menor intensidad dependiendo de la concentración de ozono, la duración de la exposición, el nivel de actividad física y la susceptibilidad genética del individuo.

La inflamación aguda inducida por el ozono no se limita a las vías respiratorias, piel y ojos sino que se han podido detectar marcadores de inflamación sistémica, tales como un aumento de la síntesis de proteínas a nivel hepático.

a) Sintomatología aguda debida a la contaminación por ozono

A medida que se eleva la concentración de ozono aumenta el número de personas afectadas y la gravedad de los síntomas. Niveles que a una persona joven y sin patología de base pueden no afectar en absoluto o causarle tan solo ligeras molestias tal vez dificulten una respiración normal o incluso provoquen una crisis en una persona asmática. Además de la concentración, la duración de la exposición es muy importante, ya que los efectos del O₃ son acumulativos. Después de varios días de exposiciones repetidas a niveles elevados de ozono se produce una adaptación funcional, aunque a nivel estructural la respuesta inflamatoria continúa.

El efecto del O₃ es independiente de la existencia de otros contaminantes, pero dado que la contaminación atmosférica actúa como un todo, dicho efecto puede verse potenciado por la interacción de otras sustancias que como las partículas (PM10, PM2,5) o el NO₂ tienen efectos nocivos sobre la salud.

Estos son, entre otros, los posibles síntomas asociados a episodios de contaminación por ozono:

- Irritación ocular
- Cefalea
- Irritación de las vías respiratorias: tos, molestias de garganta, dolor torácico al respirar profundamente.
- Disminución de la función pulmonar. El ozono provoca hiperreactividad bronquial con lo que disminuye el diámetro de la vía aérea lo cual conlleva una mayor dificultad para respirar normalmente, sobre todo al hacer ejercicio.
- Mayor susceptibilidad a las infecciones respiratorias al alterarse los mecanismos defensivos pulmonares.
- Agravamiento del asma: los episodios de contaminación por ozono pueden aumentar la sensibilidad de los asmáticos a los alérgenos (polen, ácaros, etc.). Además, la inflamación e hiperreactividad bronquial, con la consiguiente reducción de la capacidad pulmonar, son más intensas en los asmáticos y pueden requerir un aumento de la medicación habitual o la demanda de asistencia médica.
- Agravamiento de otras enfermedades respiratorias, como el enfisema o la bronquitis crónica, y de las enfermedades cardíacas.
- Aumento de los ingresos hospitalarios y de la mortalidad

a.1) Estimación del impacto en salud debido a la contaminación por ozono

Muchas personas pueden experimentar de forma leve o moderada algunos de los síntomas descritos durante episodios de contaminación por ozono. Sin embargo, en los últimos años diversos estudios epidemiológicos han confirmado que también existe una asociación entre niveles aumentados de ozono e incremento de ingresos hospitalarios y mortalidad.

El informe 2020 de la Agencia Europea de Medioambiente “Calidad del Aire en Europa”, con datos de 2018, señala que la mortalidad prematura en la Unión Europea (EU-28) debida a contaminación por Ozono Troposférico asciende a 19.400 fallecimientos anuales de los cuales 1.800 corresponden a España⁽⁴²⁾. Los efectos del ozono sobre la mortalidad se han detectado fundamentalmente en personas de avanzada edad, siendo dicha mortalidad mayor en presencia de altas temperaturas.

Ya en la revisión publicada por la Organización Mundial de la Salud en 2005 se aportaban pruebas muy consistentes de la relación existente entre la contaminación por ozono y los efectos a corto plazo en términos de mortalidad global y morbilidad respiratoria. Sin embargo, las pruebas eran menos concluyentes en cuanto a los efectos a largo plazo.

Desde entonces, se han publicado numerosos estudios (ver ANEXO) que han venido a confirmar, por una parte, los datos ya conocidos acerca de los efectos a corto plazo; y por otra, que la exposición a largo plazo también conlleva efectos sobre la mortalidad⁽³⁷⁾, tanto respiratoria como cardíaca, si bien para esta última las pruebas son algo menos concluyentes. Además del impacto en términos de mortalidad, los nuevos estudios señalan que la exposición a largo plazo puede incrementar la incidencia y severidad del asma y alterar el desarrollo de la función pulmonar.

Los estudios toxicológicos más recientes refuerzan evidencias previas sobre los cambios estructurales y daño permanente que se produce en las vías aéreas de los animales expuestos a ozono durante periodos prolongados.

Como novedades, los nuevos estudios, experimentales y epidemiológicos, sugieren un efecto de la exposición a ozono sobre el deterioro cognitivo (Chen & Schwartz, 2009) y la salud reproductiva, incluyendo la calidad de espermatozoides en el esperma (Hansen et al., 2010) o el parto prematuro (Olsson, Mogren & Forsberg, 2013).

4.2 Ozono y olas de calor

Diversos estudios llevados a cabo en Francia, Reino Unido y Holanda a raíz de la ola de calor de 2003 muestran que una no despreciable proporción del exceso de mortalidad que se produce durante las olas de calor son atribuibles a las elevadas concentraciones de contaminantes atmosféricos, incluido el ozono, independientemente de los efectos directos de las altas temperaturas.⁽¹³⁾

5. Grupos de especial riesgo⁽³⁶⁾

- Personas con enfermedades cardiovasculares o enfermedades pulmonares como asma, bronquitis crónica y enfisema.
- Niños, sobre todo si son asmáticos. Los niños pasan mucho tiempo jugando al aire libre, desarrollan una intensa actividad física y sus pulmones están todavía en fase de desarrollo.
- Las personas mayores pueden verse más afectados pues en ellos es más probable que haya enfermedades pulmonares o cardíacas crónicas susceptibles de empeoramiento ante episodios de contaminación por ozono. Los niveles altos de ozono coinciden a menudo con altas temperaturas. Ambos factores pueden potenciarse mutuamente y afectar severamente a las personas mayores.
- Personas de cualquier edad que desarrollan trabajos físicos intensos o hacen deporte en el exterior.
- Personas que tienen una especial sensibilidad al ozono de base genética.
- También deben extremar las precauciones las mujeres embarazadas, las personas diabéticas e inmunodeprimidas.

6. Modificación del Valor Guía para Ozono de la OMS

Un valor guía para un determinado contaminante puede definirse como aquel valor por debajo del cual no se espera que se produzcan efectos perjudiciales para la salud, de modo que puede considerarse como el valor objetivo para la protección de la salud humana en relación con dicho contaminante.

Las guías de calidad del aire de la OMS para Europa publicadas en el año 2000 establecían un valor guía para el ozono de 120µg/m³ para un promedio diario de ocho horas.

Sin embargo, desde entonces, numerosos estudios epidemiológicos han puesto de manifiesto que se producen efectos en salud con concentraciones por debajo de dicho valor guía. En consecuencia, en la última revisión de esta guía de la calidad del aire de la OMS (WHO Global Air Quality)²¹, se ha

considerado conveniente establecer un nuevo valor, fijado en **100 µg/m³**, en una primera fase y en **70 µg/m³** en una segunda, para proporcionar una más adecuada protección de la salud pública.

No obstante, dado que existe una variación individual considerable en la respuesta al ozono, no puede descartarse que incluso por debajo del nuevo valor guía haya algunas personas sensibles en las que se registren efectos adversos para la salud.

Por otra parte, aunque existen datos que parecen indicar que la exposición prolongada al ozono puede tener efectos crónicos, no hay evidencia suficiente como para recomendar un valor guía anual.

7. Legislación: Real Decreto 102/2011⁽³¹⁾

Este Real Decreto transpone a nuestro ordenamiento jurídico la Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo la cual modificaba el anterior marco regulatorio comunitario. Para el ozono quedan establecidos los siguientes parámetros:

Valores objetivo y objetivos a largo plazo (1)

Objetivo	Parámetro	Valor	Fecha de cumplimiento
Valor objetivo para la protección de la salud humana	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias	120 µg/m ³ que no deberá superarse más de 25 días por cada año civil de promedio en un periodo de 3 años	1 de enero de 2010 (2)
Objetivo a largo plazo para la protección de la salud humana	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias en un año civil	120 µg/m ³	No definida

(1) Por encima del valor guía de la OMS fijado en 100 µg/m³

(2) El cumplimiento del valor objetivo se verificará a partir de esta fecha. Es decir, los datos correspondientes al año 2010 serán los primeros que se utilizarán para verificar el cumplimiento en los tres o cinco años siguientes, según el caso.

Umbrales de información y alerta

	Parámetro	Umbral
Umbral de información	Promedio horario	180 µg/m ³
Umbral de alerta	Promedio horario (1)	240 µg/m ³

(1) La superación del umbral se debe medir o prever durante tres horas consecutivas

El R.D. establece que las administraciones públicas, en el ámbito de sus respectivas competencias, informarán a la población cuando se superen los valores de 180 y 240 µg/m³ de ozono. Dicha información incluirá la fecha, hora y lugar de la superación, el tipo de superación (información o alerta), la previsión de la evolución de las concentraciones, así como la zona geográfica afectada y la duración del episodio y la población afectada y las medidas preventivas encaminadas a reducir la contaminación o la exposición a ésta. Por último, la información ha de incluir las precauciones que deberá tomar la población afectada. "Como medida de prevención se indicará a la población, como mínimo, que las personas más sensibles a la contaminación atmosférica, tales como niños, ancianos o personas con problemas respiratorios, deberán evitar cualquier esfuerzo físico y los ejercicios al aire libre hasta que finalice el momento previsto de superación del episodio".

En caso de superación del valor umbral de alerta a la población establecido, se recomendará con carácter general “evitar esfuerzos físicos prolongados durante el periodo que se indique y se informará que pueden aparecer síntomas tales como irritación de los ojos, dolor de cabeza, dificultades respiratorias y disminución de las capacidades físicas”.

8. Definiciones

El Real Decreto 102/2011 establece entre otras las siguientes:

- **Valor objetivo:** nivel de un contaminante que deberá alcanzarse, en la medida de lo posible, en un momento determinado para evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos sobre la salud humana, el medio ambiente en su conjunto y demás bienes de cualquier naturaleza.
- **Objetivo a largo plazo:** nivel de un contaminante que debe alcanzarse a largo plazo, salvo cuando ello no sea posible con el uso de medidas proporcionadas, con el objetivo de proteger eficazmente la salud humana, el medio ambiente en su conjunto y demás bienes de cualquier naturaleza.
- **Umbral de información:** nivel de un contaminante a partir del cual una exposición de breve duración supone un riesgo para la salud humana de los grupos de población especialmente vulnerables y las Administraciones competentes deben suministrar una información inmediata y apropiada.
- **Umbral de alerta:** nivel a partir del cual una exposición de breve duración supone un riesgo para la salud humana que afecta al conjunto de la población y requiere la adopción de medidas inmediatas por parte de las Administraciones competentes.

9. Referencias bibliográficas

- 1) Ballester Díez F, Merino Egea C, Pérez-Hoyos S. La asociación entre contaminación atmosférica y mortalidad: una revisión de los estudios epidemiológicos recientes. *Rev Esp Salud Pública* 1995;69:177-188.
- 2) Galizia A, Kinney PL. Long- term residence in areas of high ozone: associations with respiratory health in a nationwide sample of non-smoking young adults. *Environ Health Perspect.* 1999 August; 107 (8): 675-9.
- 3) Goldberg MS, Burnett RT, Brook J. Associations between daily cause-specific mortality and concentrations of ground-level ozone in Montreal, Quebec. *Am J Epidemiol.* 2001 Nov 1; 154(9): 817-26.
- 4) Levy JI, Carrothers TJ, Tuomisto JT, et al. Assessing the public health benefits of reduced ozone concentrations. *Environ Health Perspect.* 2001; 109:1215-1226
- 5) Burnett RT, Smith-Doiron M, Stieb D. Association between ozone and hospitalization for acute respiratory diseases in children less than 2 years of age. *Am J Epidemiol* 2001 Mar 1; 153 (5):444-52
- 6) Brook RD, Brook JR, Urch B, Vincent R, Rajagopalan S, Silverman F. Inhalation of fine particulate air pollution and ozone causes acute arterial vasoconstriction in healthy adults. *Circulation.* 2002 Apr 2; 105 (13): 1534-6.
- 7) Sáez M, Ballester F, Barceló M A, Pérez-Hoyos S. A combined analysis of the short-term effects of photochemical air pollutants on mortality within the EMECAM project. *Environ Health Perspect.* 2002 March; 110(3): 221-228

- 8) Short-term effects of air pollution on daily asthma emergency room admissions. I Galán 1, A Tobías, J R Banegas, E Aránguez. *Eur Respir J.* 2003 Nov;22(5):802-8. doi: 10.1183/09031936.03.00013003.
- 9) Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide. Report on a WHO working group. Bonn, Germany, 13-15 January, 2003.
- 10) Gent JF, Triche EW, Hollford TR. Association of Low-Level Ozone and Fine Particles with respiratory symptoms in children with asthma. *JAMA*, October 8, 2003-Vol 290, Nº 14, 1859-1867
- 11) Yang Q, Chen Y, Shi Y. Associations between ozone and respiratory admissions among children and the elderly in Vancouver, Canada. *Inhal Toxicol* 2003 Nov 15(13): 1297-1308
- 12) Filleul L et al. The relation between temperature, ozone and mortality in nine French cities during the heat wave of 2003. *Environmental Health Perspectives*, 2006, 114:1344-1347
- 13) Stedman JR. The predicted number of air pollution related deaths in the UK during the August 2003 heatwave. *Atmospheric Environment* 2004, 38: 1083-1085
- 14) Fischer PH, Brunekreef B, Lebret E. Air pollution related deaths during the 2003 heat wave in the Netherlands. *Atmospheric Environment* 2004; 38: 1083-1085
- 15) Anderson HR, Atkinson RW, Peacock JL, et al. Meta-analysis of time series studies and Panel Studies of Particulate Matter (PM) and Ozone (O₃). Report of a WHO Task Group. Copenhagen: World Health Organization; 2004
- 16) Gryparis A, Forsberg B, Katsouyanni K et al. Acute effects of ozone on mortality from the “air pollution and health: a European approach” project. *Am J Respir Crit Care Med.* 2004 Nov 15; 170(10): 1080-7
- 17) Kim SY, Lee JT Hong YC, et al. Determining the threshold effect of ozone on daily mortality: an analysis of ozone and mortality in Seoul, Korea, 1995-1999. *Environ Res.* 2004; 94: 113-119
- 18) Bates DV. Ambient Ozone and mortality. *Epidemiology.* Volume 16(4), July 2005, 427-429
- 19) Bell ML, Dominici F, Samet JM. A Meta-Analysis of Time –Series Studies of Ozone and mortality with comparison to the national Morbidity, Mortality and Air Pollution Study. *Epidemiology.* 16(4): 436-445, July 2005
- 20) Ito K, De Leon S, Lippmann, M. Associations between ozone and daily mortality: Analysis and Metaanalysis. *Epidemiology.* 16(4): 446-457, July 2005
- 21) WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- 22) WHO. Air Quality Guidelines- Global Update 2005.
- 23) Bellido J. Sistemas de medición del ozono: instrumentación asociada y calibración. *Tethys*, 3,59-62, 2006.
- 24) Mitis F, Lavarone I, Martuzzi M. Health impact of ozone in 13 Italian cities. *Epidemiol. Prev.* 2007 Nov-Dec; 31 (6):323-32
- 25) Ebi Kristie L., McGregor G 2008. Climate Change, Tropospheric Ozone and Particulate Matter, and Health Impacts. *Environ Health Perspect* 116:1449-1455. doi:10.1289/ehp.11463
- 26) WHO Europe. Health risks of ozone from long-range transboundary air pollution. 2008.
- 27) Halonen Jaana I, Lanki T, Tiittanen P. Ozone and cause-specific cardiorespiratory morbidity and mortality. *J Epidemiol Community Health* doi: 10.1136/jech.2009.087106
- 28) Srebot V, Gianicolo E, Rainaldi G. Ozone and cardiovascular injury. Review. *Cardiovascular Ultrasound* 2009, 7:30 doi: 10.1186/1476-7120-7-30
- 29) Chen et al. Neurobehavioral effects of ambient air pollution on cognitive performance in U.S. adults. *Neurotoxicology*, 2009.
- 30) Hansen et al. The effect of ambient air pollution on sperm quality. *Environ Health Perspect* . Feb 2010, 118 (2): 203-209
- 31) Olsson et al. Air pollution exposure in early pregnancy and adverse pregnancy outcomes: a registered-based cohort study. *BMJ Open* 2013

- 32) B.O.E. Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire que transpone la directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008.
- 33) Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente. Jornada sobre gestión de ozono troposférico en España. 17 diciembre 2013. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/Jornada_ozono.aspx
- 34) WHO, Europe 2013. Review of evidence on health aspects of air pollution- REVIHAAP Project. Technical report.
- 35) Peng R. D. Samoli E., et al. Acute effects of ambient ozone on mortality in Europe and North America: results from the APHENA study. *Air Quality Atmosphere and Health*, Volume 6, Issue 2, 445-453. June 2013.
- 36) Orru H., Andersson C., et al. Impact of climate change on ozone-related mortality and morbidity in Europe. *Eur Respir J* 2013; 41: 285-294
- 37) Bell M.L., Zanobetti A, Dominici F. Who is more affected by Ozone Pollution? A systematic review and meta-analysis. *American Journal of Epidemiology* , Vol. 180, Nº 1, May 28, 2014 (15-28).
- 38) Atkinson R.W., Butland B.K et al. Long-term exposure to ambient ozone and mortality: a quantitative systematic review and meta-analysis of evidence from cohort studies. *BMJ*, 2015.
- 39) Lorraine B. Ware, Zhiguo Zhao, et al. Long-term ozone exposure increases the risk of developing the Acute Respiratory Distress Syndrome. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 2015.
- 40) Goodman J.E., Prueitt R.L., et al. Ozone exposure and systematic biomarkers: evaluation of evidence for adverse cardiovascular health impacts. *Critical Reviews in Toxicology*. Volume 45, 2015- Issue 5.
- 41) Hänninen O., Lehtomäki H., et al Characterizing the health risks attributable to Tropospheric Ozone in Finland. *JSM Environ Sci Ecol* 4 (1): 1023, March 21, 2016
- 42) Ozone Air Quality Standards: EPA's 2015 Revision, January 25th, 2016.
- 43) Calidad del Aire en Europa. Informe 2020. Agencia Europea de Medioambiente.
- 44) Human Health Effects of Ozone: The State of Evidence since EPA's last Integrated Science Assessment. Holm S., Balmes J. *Environment Defense Fund* 2018.
- 45) Julio Díaz, Cristina Ortiz, Isabel Falcón, Coral Salvador, Cristina Linares, 2018: "Short-term effect of tropospheric ozone on daily mortality in Spain". *Atmospheric Environment*, 187: 107-116. Resumen disponible en: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231018303698.

Última revisión: 28 de mayo de 2024

Área de Vigilancia de Riesgos Ambientales en Salud
 Dirección General de Salud Pública
 CONSEJERÍA DE SANIDAD
 COMUNIDAD DE MADRID

10. Anexo

Resultado de los estudios más relevantes sobre el impacto del ozono sobre la salud

Cohort Studies of long term-ozone exposure and mortality^a

Cohort	Outcome/exposure	Main results	Comments	Reference
United States veterans About 7.500- 11.500 deaths 1989-1996 and/or 2001	Total mortality RR from Cox model using Peak ozone: 95th percentile of daily 1-hour maximum, county level from monitoring stations	RR for peak ozone: 1.13 for 40 ppb in multiple pollution models	RR for peak ozone (similar to earlier study) (Lipfert et al. (2000) Weaker effect in a sub-analysis of counties with NO ₂ data 1997-2001	Lipfert et al. (2006)
WHI study 65.893 women without previous CVD 36 United States metropolitan areas	No analysis of ozone and mortality, only to first CVD event	Ozone not significant	--	Miller et al. (2007)
American Cancer Society CPS-II cohort extended follow-up 118.777 deaths 9891 from respiratory causes 96 metropolitan areas	Total and cause-specific mortality (cardiopulmonary, cardiovascular, respiratory) RR from Cox model Average of 2 nd -3 rd quarters daily Maximum 1-hour ozone from all EPA AIRS Monitors (1-57) in each study area, 1977-2000	In two pollutants models with PM _{2,5} , only the association with respiratory mortality remained significant; RR: 1.040 per 10 ppb (95% CI: 1.013-1.067)	A high correlation between ozone and PM _{2,5} results in unstable risk estimates for both pollutants. Ozone gave significant reduction of total mortality in model with PM _{2,5}	Jerret et al. (2009)
American Cancer Society CPS II cohort extended follow-up 352.242 participants 66 metropolitan study areas	Total and cardiopulmonary mortality. RR from Cox model, Ozone measurements from April to September, refers to Krewski et al (2009) for details. However, IQR 22µg/m ³ shows that daily 1-hour maximum was used as in Jerret et al. (2009)	Cardiopulmonary mortality increased 0.09% per 1µg/m ³ (95% CI: 0.01-0.17%) in a three pollutant model	Weaker association with total mortality	Smith KR et al (2009)
Medicare data used to construct cohorts of people hospitalized with chronic conditions	All- cause mortality. Cox model included year-to- year variations in May to September mean daily 8- hour around the city-specific long-term trend	HR: 1.06 (95% CI: 1.03- 1.08) per 5-ppb increase in summer average ozone for people with congestive heart failure HR: 1.09 (95% CI: 1.06- 1.12) for myocardial infarction. HR: 1.07 (95% CI: 1.04- 1.09) for COPD HR: 1.07 (95% CI: 1.05_1.10) for diabetics.	No adjustment for year-to-year variations in particle levels.	Zanobetti & Scwartz (2011)
American Cancer Society CPS-II cohort extended follow-up	Total and cause specific mortality. RR from Cox model.	HR (in the nationwide study): 1.02 (95% CI: 1.01-1.03) per 10 ppb	1980 annual ozone levels gave	Krewski et al. (2009)

118 metropolitan study areas (ozone study)	1980 annual and summer (April to September) mean ozone from AIRS averaged for each metropolitan study area. (A sub-analysis for metropolitan Los Angeles used the 4 highest 8-hour means from 2000)	summertime ozone for all-cause mortality HR: 1.03 (95%CI: 1.02-1.04) for cardiopulmonary mortality in single pollution models	no significant associations	
California Teachers Study (a prospective cohort of female public school professionals) 100.000 participants	Total and cause-specific mortality RR from Cox model Annual and 3 rd quarter concentrations from neighbourhood monitors	Only HR for IHD mortality and summer ozone was significant; HR: 1.09 for 23 ppb (95% CI: 1.01-1.19)	Positive associations with mortality disappeared in two-pollutants models with PM	Lipsett et al. (2011)

AIRS: Aerometric Information Retrieval System; COPD: chronic obstructive pulmonary disease; CPS: Cancer Prevention Study; CVD: cardiovascular disease; HR: hazard ratio; IHD: ischaemic heart disease; WHI: Women's Health Initiative.

1ppb= 2µg/m³

^aPublished after 2005

Associations between short-term exposure to ozone and mortality and hospital admissions in European cities in the APHENA study (Air pollution and health: a European and North American approach (Katsouyanni, 2009)

Outcome	Per cent increase in deaths/admissions (95% CI) per 10µg/m ³ increment in daily maximum 1-hour ozone concentrations	
	Single pollutant	Adjusted for PM ₁₀
All-cause mortality ^a	0.18 (0.07-0.30)	0.21 (0.10-0.31)
Cardiovascular mortality: 75 years and older ^a	0.22 (0.00-0.45)	0.21 (-0.01-0.43)
Cardiovascular mortality: younger than 75 years	0.35 (0.12-0.58)	0.36 (0.10-0.62)
Respiratory mortality ^b	0.19 (-0.06-0.45)	0.21 (-0.08-0.50)
Cardiac admissions: older than 65 years ^a		
Respiratory admissions: older than 65 years ^b	0.19 (-0.28-0.67)	0.32 (0.05-0.60)

^a lag 0-1 results; ^b lag 1 results

**Associations between ozone and respiratory hospital admissions
in meta-analyses (2011, 2012)**

Study	Location	Age range	Disease	Estimated% increase (95% CI) ^a (number of estimates)
Atkinson et al. (2012a) ^b	Asian cities	All	Respiratory	0.26 (-0.06, 0.59) (4)
Ji, Cohan & Bell (2011) ^c	Worldwide	All	Respiratory	0.62 (0.24, 1.00) (10)
		Elderly	Respiratory	1.45 (0.80, 2.11) (11)
		Adults (15-64)	Respiratory	0.35 (-0.43, 1.13) (6)
		All	COPD	1.65 (0.41, 2.91) (6)
		All	Asthma	2.15 (0.85, 3.48) (8)
		Children	Asthma	0.95 (-1.13, 3.06) (6)
		Adults (15-64)	Asthma	1.23 (-0.71, 3.24) (6)

COPD: chronic obstructive pulmonary disease

^a Per 10 µg/m³ increment in maximum 8-hour daily ozone concentrations

^b Review period 1980-2007; 8-hour ozone per 10 µg/m³

^c Review period 1990-2008; English language only; 8-hour ozone estimates scaled to per 10 µg/m³ from per 10 ppb.



Dirección General de Salud Pública
CONSEJERÍA DE SANIDAD