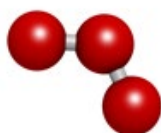


## OZONO TROPOSFÉRICO (O<sub>3</sub>)



### Ficha de Información para profesionales

Comunidad de Madrid, 2025



Dirección General de Salud Pública  
CONSEJERÍA DE SANIDAD

## FICHA INFORMACIÓN PARA PROFESIONALES SOBRE OZONO TROPOSFÉRICO (O<sub>3</sub>)

### INDICE

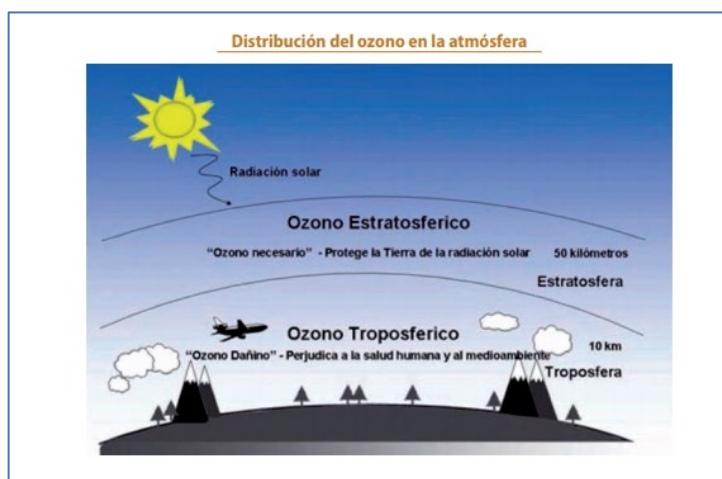
1. El ozono troposférico como contaminante ambiental.....	3
2. Efectos en salud.....	4
3. Población sensible.....	5
4. Precauciones y Recomendaciones sanitarias.....	6
5. Valores Guía para Ozono de la OMS.....	7
6. Legislación.....	7
7. Situación actual del ozono troposférico en la Comunidad de Madrid...	8
8. Referencias Bibliográficas .....	10
9. Anexo I: Cuadro de Recomendaciones sanitarias a la población.....	11
10. Anexo II: Características, fuentes de emisión y niveles de inmisión...	12

## 1. El ozono troposférico como contaminante ambiental

El ozono ( $O_3$ ) es un gas incoloro e inodoro, altamente reactivo, compuesto por tres átomos de oxígeno. Aparece fundamentalmente en dos áreas de la atmósfera: la estratosfera y la troposfera. Dependiendo de si se encuentra en las capas más altas de la atmósfera o a nivel del aire que respiramos, se habla de “ozono bueno” u “ozono malo”.

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.



Fuente: Ecologistas en Acción

El ozono troposférico se localiza en la parte de la atmósfera donde se desarrolla la vida humana. Este ozono se forma como resultado de reacciones químicas, en presencia de la luz solar, a partir de los contaminantes emitidos por automóviles, centrales térmicas, refinerías, procesos industriales diversos etc. Cuanto mayor sea la luz solar y la temperatura, mayor será la cantidad de ozono que se forme; por ello, las mayores concentraciones de este gas se dan en verano.

## 2. Efectos en la salud

### 2.1. Efectos en la salud humana: Sintomatología

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 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  $O_3$  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  $O_3$  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  $NO_2$  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

## 2.2. 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. 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 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, 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 y la salud reproductiva, incluyendo la calidad de espermatozoides en el esperma o el parto prematuro.

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.

## 3. Población sensible

- 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.

- Deben extremar las precauciones las mujeres embarazadas, las personas diabéticas e inmunodeprimidas.
- 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.

#### 4. Precauciones y Recomendaciones sanitarias

Las personas más sensibles, tales como niños, personas mayores o personas con problemas cardiorrespiratorios, deben evitar los esfuerzos físicos y los ejercicios al aire libre hasta que finalice el episodio de contaminación. Las personas que hacen deporte deben tener en cuenta que cuanto más tiempo se esté expuesto a altos niveles de ozono troposférico y más intensa sea la actividad que se realiza mayor es la probabilidad de experimentar molestias físicas. Por ello, es prudente disminuir la intensidad del ejercicio y realizarlo en los momentos del día en que los niveles de ozono son más bajos.

Las precauciones generales para proteger la salud son:

- Informarse sobre los niveles de ozono en el aire y adoptar medidas sencillas para minimizar la exposición, aun cuando no se perciban síntomas claramente.
- La recomendación general es limitar las actividades al aire libre a medida que los niveles de ozono se elevan por encima de niveles perjudiciales para la salud, reduciendo el tiempo de permanencia al aire libre o disminuyendo la intensidad de la actividad.
- Planificar las actividades al aire libre cuando los niveles son bajos, lo que en general ocurre a primera hora de la mañana o por la noche.

La legislación sobre calidad del aire recoge unos parámetros denominados **umbral de información y de alerta**, ante los cuales la administración debe informar a la población.

Ante **superaciones del Umbral de Información (180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )**, las recomendaciones sanitarias deben dirigirse especialmente a la **población sensible**:

- Evitar los esfuerzos físicos al aire libre mientras dura el episodio. En la medida de lo posible, se deben realizar las actividades en el exterior durante la mañana, cuando los niveles de ozono son menores.
- Acudir a un centro sanitario ante dificultad respiratoria, tos intensa, o dolor en el pecho, sobre todo si se padece una enfermedad respiratoria o cardiovascular.

Ante **superaciones del umbral de alerta (240  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )**, las recomendaciones deben dirigirse a **toda la población, grupos sensibles y población general**:

- Reducir las actividades al aire libre mientras dure el episodio y considere realizarlas en el interior o posponerlas. Evitarlas en la medida de lo posible si pertenece a los grupos sensibles al ozono.
- Acudir a un centro sanitario ante dificultad respiratoria, tos intensa o dolor en el pecho, sobre todo si tiene una enfermedad respiratoria o cardiovascular.
- Seguir meticulosamente el plan de tratamiento médico si lo tuviera y, en caso de padecer asma, se debe tener a mano la medicación de rescate.

## 5. Valores Guía para el Ozono troposférico 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. No son valores a cumplir para un determinado parámetro según la legislación vigente sino unas recomendaciones emitidas por un organismo sanitario, en este caso la OMS.

Las guías de calidad del aire de la OMS para Europa publicadas en el año 2000 establecían un valor guía para el ozono de  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  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), se ha considerado conveniente establecer un nuevo valor, fijado en  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , en una primera fase y en  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  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.

## 6. Legislación

Por otro lado, existe una legislación que regula la calidad el aire a nivel europeo. La Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa, se transpuso a nuestro ordenamiento jurídico en el [Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire](#). Establece para todos los contaminantes las siguientes definiciones:

- **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.

Para el ozono troposférico, el RD 102/2011 recoge los parámetros, los valores a cumplir y la fecha establecida para las definiciones descritas anteriormente.

#### 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	No definida

(1) Por encima del valor guía de la OMS fijado en 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

(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

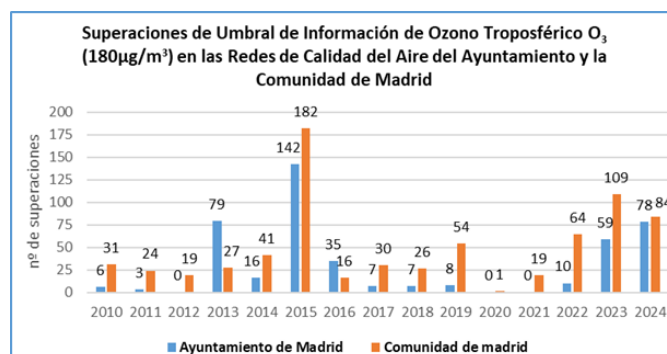
	Parámetro	Umbral
Umbral de información	Promedio horario	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Umbral de alerta	Promedio horario (1)	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

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

Esta normativa indica que las administraciones públicas, en el ámbito de sus respectivas competencias, informarán a la población cuando se superen los 180 y 240  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de ozono. Esta información incluirá fecha, hora y lugar de la superación, tipo de superación (información o alerta), previsión de la evolución de las concentraciones, así como la zona geográfica afectada y duración del episodio, la población afectada y las medidas preventivas encaminadas a reducir la contaminación o la exposición a ésta.

## 7. Situación actual del ozono troposférico en la Comunidad de Madrid

El ozono troposférico es uno de los contaminantes atmosféricos más problemáticos y de más difícil control en nuestra Comunidad. La evolución de los niveles en el aire durante los últimos años es claramente ascendente, como puede observarse en esta gráfica donde se representan las superaciones del umbral de información a lo largo de los últimos años:

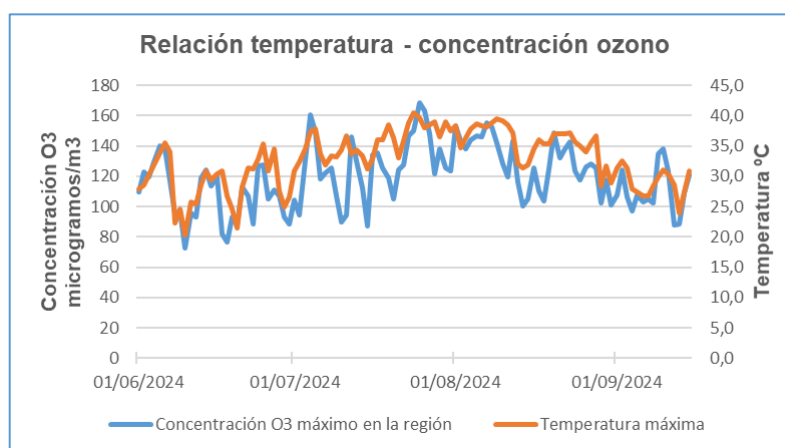


Fuente: Elaboración propia.



El ozono troposférico tiene un claro comportamiento estacional y durante la época estival puede afectar a la salud de la población, y en especial a las personas con enfermedades respiratorias y cardíacas. Sus niveles en la atmósfera comienzan a elevarse en el mes de abril y alcanza los registros más altos durante el periodo estival. Como ya se ha indicado anteriormente, está descrito que las altas temperaturas en verano y el ozono troposférico son factores ambientales con un efecto sinérgico perjudicial sobre la salud más allá de la suma de sus efectos individuales.

La razón de este comportamiento radica en el hecho de que la formación de este gas se intensifica en presencia de alta radiación solar y altas temperaturas. En la siguiente figura se representa la evolución de la temperatura máxima registrada y la concentración máxima de ozono troposférico en la región de Madrid durante el verano de 2024, donde se observa una relación positiva entre ambas variables.



*Fuente: Elaboración propia. Relación temperatura máxima y concentración de ozono troposférico durante el verano de 2024 (correlación Pearson de 0,8)*

## 8. Referencias bibliográficas

1. 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. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2011-1645>
2. 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. DOI: <https://doi.org/10.1183/09031936.00210411>
3. 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). doi: 10.1093/aje/kwu115.
4. 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*. 2015; 45(5):412-52.. DOI: 10.3109/10408444.2015.1031371
5. 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. *Am J Respir Crit Care Med*. 15 de mayo de 2016; 193(10):1143–1150. doi: 10.1164/rccm.201507-1418OC
6. Holm, SM, Balmes, JR y Roy, A. (2018). Human Health Effects of Ozone: The State of Evidence since EPA's last Integrated Science Assessment. *Environment Defense Fund* 2018. <https://www.coeh.berkeley.edu/publications/human-health-effects-ozone-state-evidence-epa%E2%80%99s-last-integrated-science-assessment>
7. 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. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.05.059>
8. Levy JI, Carrothers TJ, Tuomisto JT, et al. Assessing the public health benefits of reduced ozone concentrations. *Environ Health Perspect*. 2001; 109:1215-1226 doi: 10.1289/ehp.011091215
9. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>
10. Achebak, H., Garatachea, R., Pay, M.T. et al. Geographic sources of ozone air pollution and mortality burden in Europe. *Nat Med* 30, 1732–1738 (2024). <https://www.nature.com/articles/s41591-024-02976-x>.
11. Chen JC, Schwartz J. Neurobehavioral effects of ambient air pollution on cognitive performance in US adults. *Neurotoxicology*. 2009 Mar;30(2):231-9. doi: 10.1016/j.neuro.2008.12.011. Epub 2008 Dec 30. PMID: 19150462
12. Hansen et al. The effect of ambient air pollution on sperm quality. *Environ Health Perspect* . Feb 2010, 118 (2): 203-209. <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.0901022>
13. Olsson et al. Air pollution exposure in early pregnancy and adverse pregnancy outcomes: a registered-based cohort study. *BMJ Open* 2013. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2012-001955>

## 9. Anexo I: Recomendaciones sanitarias

### RECOMENDACIONES SANITARIAS

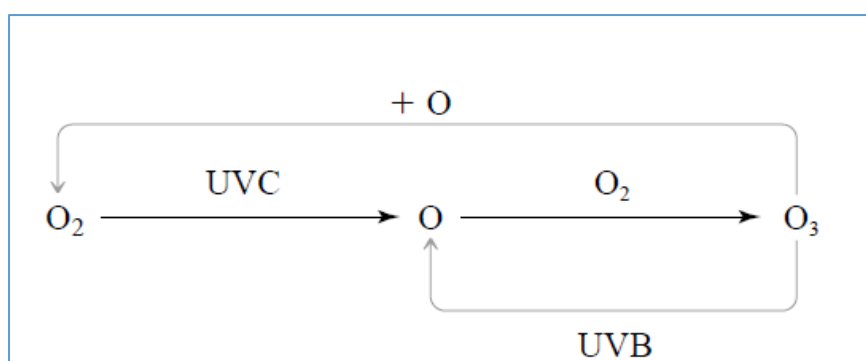
- ✓ Ante **superaciones del umbral de Información ( $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )**, las recomendaciones para **la población sensible** son:
  - **EVITAR** los esfuerzos físicos al aire libre mientras dura el episodio. En la medida de lo posible, realizar las actividades en el exterior durante la mañana, cuando los niveles de ozono son menores.
  - Acudir a un centro sanitario ante dificultad respiratoria, tos intensa, o dolor en el pecho, sobre todo si tiene una enfermedad respiratoria o cardiovascular.
- ✓ Ante **superaciones del umbral de alerta ( $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )**, las recomendaciones para **la población general** son:
  - **REDUCIR** las actividades al aire libre mientras dure el episodio y considere realizarlas en el interior o posponerlas. **EVITARLAS** en la medida de lo posible si pertenece a los **grupos sensibles al ozono**.
  - Acudir a un centro sanitario ante dificultad respiratoria, tos intensa o dolor en el pecho, sobre todo si tiene una enfermedad respiratoria o cardiovascular.
  - Seguir meticulosamente el plan de tratamiento médico si lo tuviera y, en caso de padecer asma, tener a mano la medicación de rescate.

## 10. Anexo II: Características, fuentes de emisión e inmisión

### 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.



*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 y una menor energía (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 ( $NO_2$ )** 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

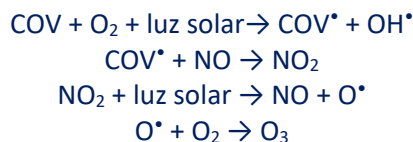


Por último, el óxido nítrico (**NO**) reacciona a su vez con el ozono (**O<sub>3</sub>**) y se forma de nuevo Dióxido de nitrógeno (**NO<sub>2</sub>**)



La rapidez con la que se produce esta última reacción explica que las concentraciones de **O<sub>3</sub>** 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.

## 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.

## 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.

#### 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. 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.

#### 5. 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.

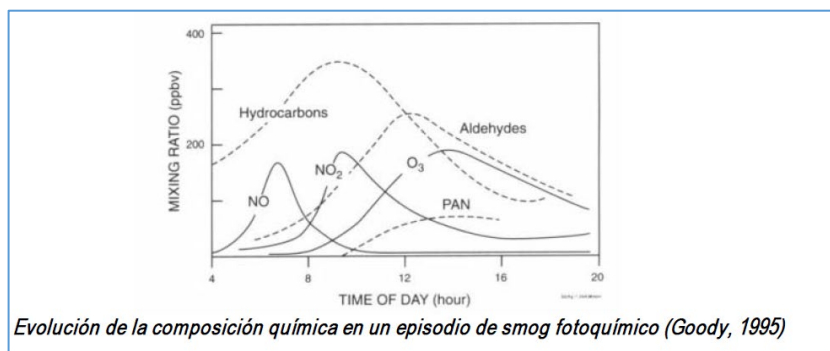
Sin embargo, el problema fundamental de la contaminación por ozono troposférico deriva del exceso de formación de contaminantes primarios debido a la actividad humana. Los óxidos de nitrógeno se producen principalmente por el tráfico, las centrales térmicas de combustibles fósiles y los procesos industriales 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.

#### 6. Inmisión: niveles medios ambientales

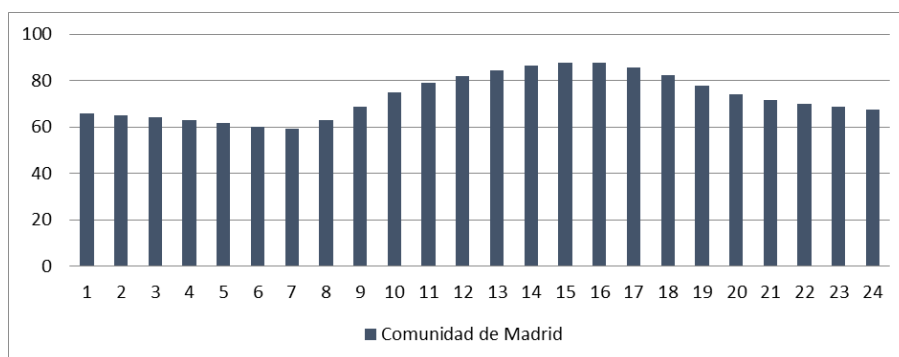
##### 6.1. General

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  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{O}_3$ .



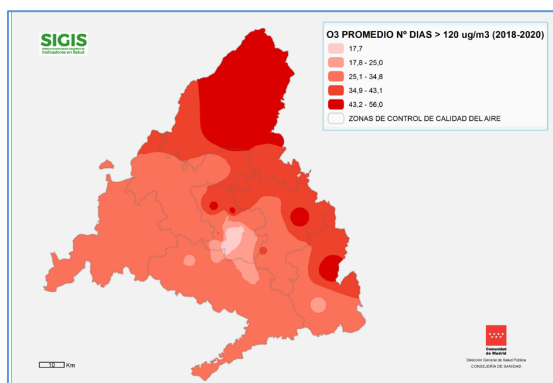
Fuente: Validación e implementación de técnicas de captación pasiva para el estudio de los niveles y efectos del ozono troposférico y el dióxido de nitrógeno en un área costera mediterránea. Tesis doctoral. Delgado Saborit, Juana María. Repositorio Programa de Doctorat en Ciències. Universitat Jaume 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



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, 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.

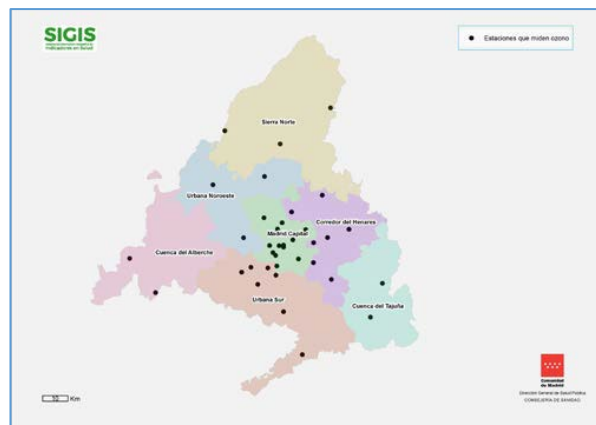


Fuente: Indicadores de Contaminación Atmosférica. Elaboración propia a partir de los datos de la Red de control de la calidad del aire de la Comunidad de Madrid y del Sistema integral de vigilancia, predicción e información de la contaminación atmosférica de la ciudad de Madrid.

## 6.2. Redes de vigilancia del nivel de ozono en la 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.