



MADRID Y LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

RICARDO TORRIJO

METEORÓLOGO

EQUIPO TÉCNICO.

DELEGACIÓN TERRITORIAL

AEMET MADRID.

MARZO 2019

UN PROBLEMA QUE VIENE DE LEJOS

- PULMONES NEGROS EN EL PALEOLÍTICO
- CASAS MAL VENTILADAS
- PRIMERAS SOCIEDADES URBANAS
- ESTÁN LOCOS ESTOS ROMANOS
- AÑORANZA POR UNA NATURALEZA IDEALIZADA:
 - LA EDAD DE ORO
 - LA VIDA RETIRADA
 - EL GENERO PASTORIL VUELVE
 - ALGUNOS SE RÍEN DE SI MISMOS
- *MADRIZ ME MATA EN EL BARROCO*
- UNA GRAN CIUDAD CON UN PATRÓN LABRADOR
- *FUMIFUGIUM*
- POBRES DESHOLLINADORES
- SOPA DE GUISANTES ASESINA

LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE, UN PROBLEMA QUE VIENE DE LEJOS ...



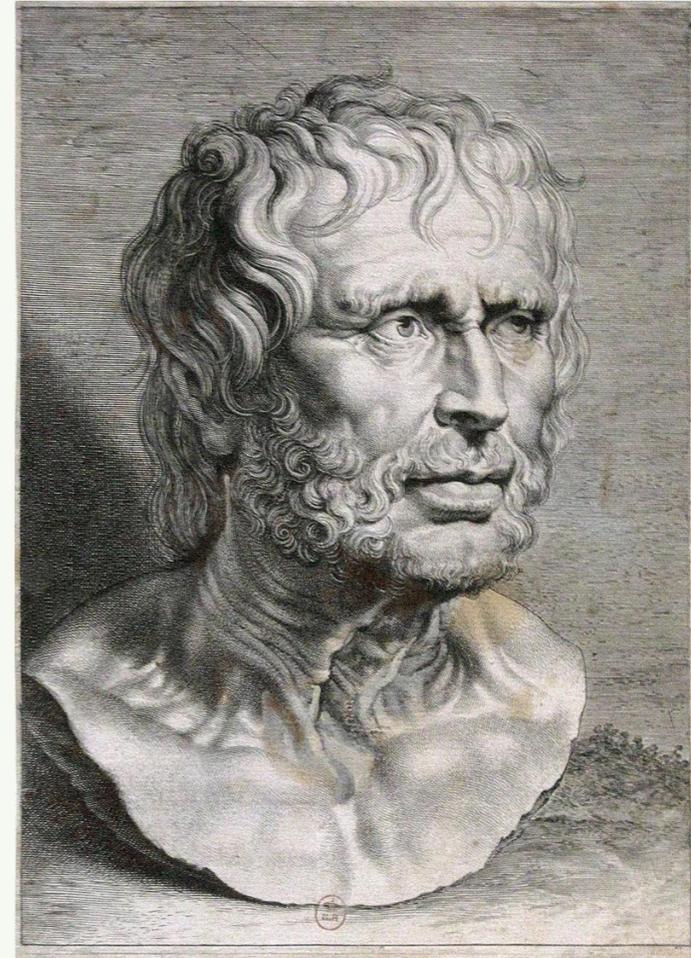
<http://www.defenseimagery.mil>; virin: 090812-m-7376m-073 (Imagen obtenida vía Wikipedia:
https://es.wikipedia.org/wiki/dominio_del_fuego_por_los_primeros_humanos)

Uso del fuego desde hace 1.7 millones de años por el Homo Erectus?????? (Steven, 1989) (cita obtenida de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Dominio_del_fuego_por_los_primeros_humanos)

UN PROBLEMA QUE VIENE DE LEJOS

- Ya en el paleolítico se observa que los pulmones de los cuerpos momificados están frecuentemente negros (Borsos et al., 2003)
- Todavía hoy la quema de combustibles sólidos en fuegos abiertos y cocinas con fugas da lugar a que el aire del interior de muchas viviendas tenga elementos nocivos para la salud. Un problema que afecta a 3000 millones de personas y causa múltiples problemas de salud (WHO, 2018)
- Con la llegada de las primeras sociedades urbanas los problemas ambientales comienza a extenderse desde el interior de las viviendas al exterior. ejemplos de dichos problemas se documentan desde el antiguo Egipto y el antiguo imperio chino a los sumerios (Borsos et al., 2003)

*¡AMORES QUE
MATAN
NUNCA
MUEREN!*



https://es.wikipedia.org/wiki/S%C3%A9neca#/media/File:0_Portrait_de_S%C3%A9n%C3%A8que_d%27apr%C3%A8s_l%27antique_-_Lucas_Vorsterman.JPG

- DE HORACIO A SÉNECA (EL DE LA FOTO SÉNECA, EL SEGUNDO CORDOBÉS MÁS FAMOSO DESPUÉS DEL TORERO)

¡ROMA ME MATA!

*Algunos no lo pueden soportar, yo
ya sin humo no se respirar...
“Madrid”. Mecano, 1983.*

- En el siglo I antes de Cristo, el poeta Horacio ya se quejaba de que los edificios romanos estaban cada vez mas negros por el humo y los médicos de Séneca le recomendaron abandonar la ciudad para mejorar su salud. Seneca, a su vez, decía que no podría vivir sin el brumoso humo de la ciudad. Incluso el senado romano, ya hace 2000 años, prohibió que se contaminara el aire. (Borsos et al., 2003)
- Al final Seneca llegó a una edad avanzada para la época, la contaminación de Roma no acabó con él y vistas las complicaciones del suicidio (que le invitaron a cometer), parece ser que era mucho más resistente de lo que su médico esperaba.

- “Un autor satírico como era Juvenal” (Juvenal, 3, 6-8) “relata las incomodidades urbanas múltiples de entonces que hacían añorar la *vita beata* en las *villae* rurales: congestión en el tráfico, incendios, obras públicas que destruían la belleza de los parajes en torno a roma, desechos domésticos arrojados a las calles, e incluso el incremento del vandalismo y la criminalidad como los resultados del hacinamiento humano” (Díaz, 2016)
- No solo los problemas políticos y de convivencia, también el hacinamiento y los problemas medioambientales pudieran impulsar el anhelo por la Vida Retirada en el campo o la añoranza por el paraíso perdido en los antiguos habitantes de las grandes ciudades romanas. Una naturaleza idealizada, escenario de una nueva Edad de Oro o marco idílico en el que los pastores van a cantar sus penas de amor. Temas que tanto éxito tuvieron en los clásicos latinos y que luego volvieron con fuerza en el Renacimiento. En la literatura española, la naturaleza es el lugar idílico en el que se desarrolla la Vida Retirada de Fray Luis o las escenas místicas de San Juan de la Cruz o bien el escenario de la temática pastoril, que tanto éxito alcanzó con autores como Garcilaso de la Vega, Jorge de Montemayor, Gil Polo, Lope de Vega o el mismo Cervantes.



https://es.wikipedia.org/wiki/Don_Quijote_de_la_Mancha#/media/File:202_063_quijote_cap24.jpg

BIENAVENTURADOS LOS TIEMPOS Y SIGLOS DICHOSOS AQUELLOS ...

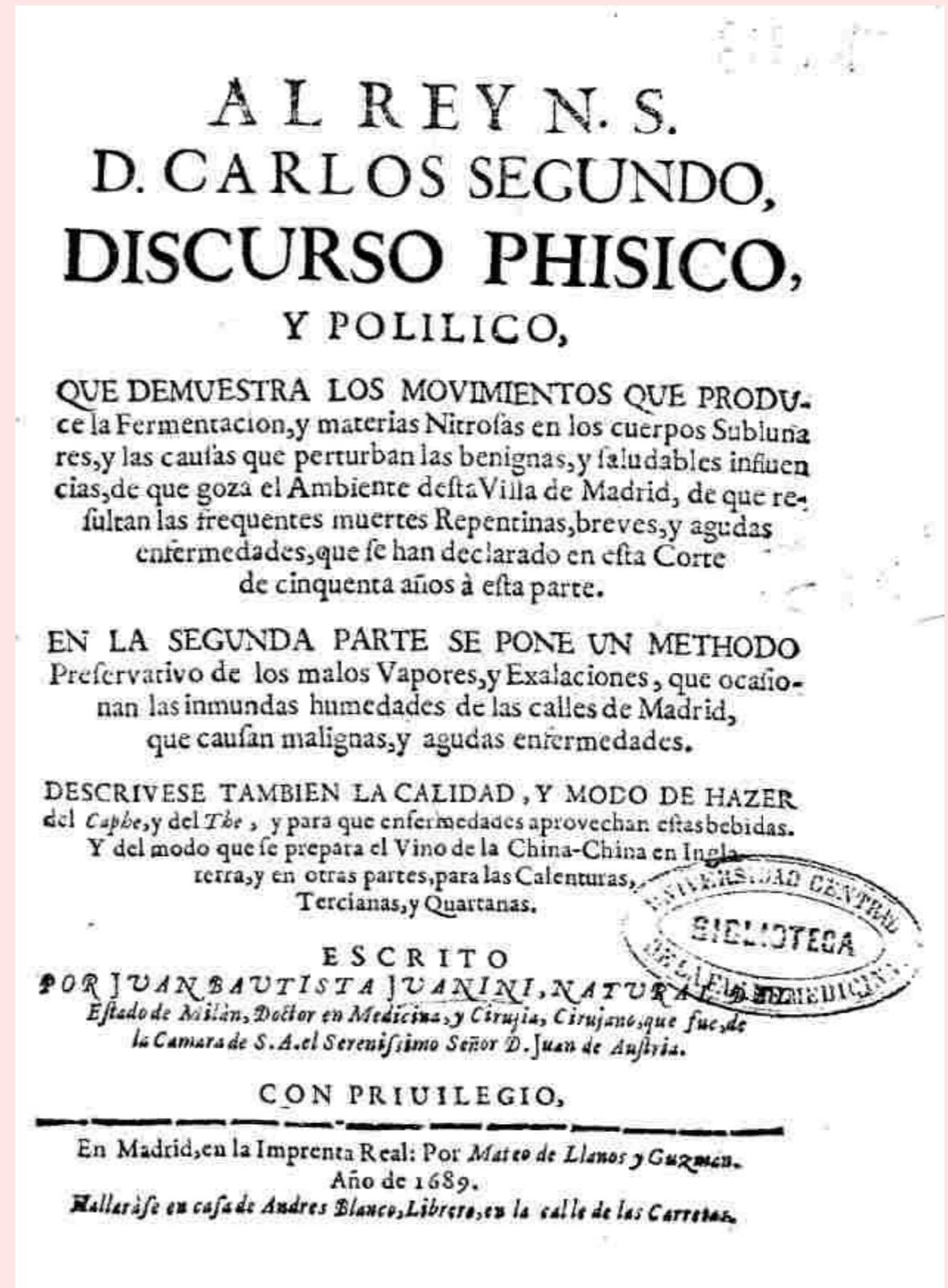
(Cervantes, 1615)

- Con la llegada de los claroscuros barrocos las imágenes idealizadas van decayendo. El mismo Cervantes, que tan orgulloso estaba de su novel pastoril *La Galatea*, se ríe de si mismo y del género que había cultivado años atrás en su famoso discurso a los cabreros. En dicho discurso, ante la mirada estupefacta de los rústicos pastores, les comienza a hablar de las bondades de los hombres y la naturaleza en una perdida *Edad de Oro*. No obstante, es evidente la deuda que “El Quijote”, considerada la primera novela moderan, tiene con la novela pastoril y probablemente con el aprendizaje que tuvo Cervantes con su *Galatea*

¡MADRIZ ME MATABA EN EL BARROCO!

- El Médico de origen milanés Juan Bautista Juanini fue autor de una obra , publicada a finales del siglo XVII, en la que trata unas tempranas referencias a los efectos nocivos de la Calidad del Aire en Madrid. Impreso en 1689, la fecha de publicación podría estar en torno a 1690? (según:

<http://www.cervantesvirtual.com/obra/discurso-phisiko-y-polilico-sic-que-demuestra-los-movimientos-que-produce-la-fermentacion-y-materias-nitrosas-en-los-cuerpos-sublunares-y-las-causas-que-perturban-las-benignas-y-saludables-influencias-desta-villa-de-madrid-en-la-segunda-parte-se-pone-un-m/>).



Libro y portada disponible por cortesía de la UCM:
http://alfama.sim.ucm.es/dioscorides/consulta_libro.asp?ref=X532657631&idioma=0

Detalle de la portada de Juanini con parte del título:

QUE DEMUESTRA LOS MOVIMIENTOS QUE PRODUCE la Fermentacion, y materias Nitrosas en los cuerpos Sublunares, y las causas que perturban las benignas, y saludables influencias, de que goza el Ambiente desta Villa de Madrid, de que resultan las frequentes muertes Repentinias, breves, y agudas enfermedades, que se han declarado en esta Corte de cinquenta años à esta parte.

EN LA SEGUNDA PARTE SE PONE UN METHODO Preservativo de los malos Vapores, y Exalaciones, que ocasionan las inmundas humedades de las calles de Madrid, que causan malignas, y agudas enfermedades.

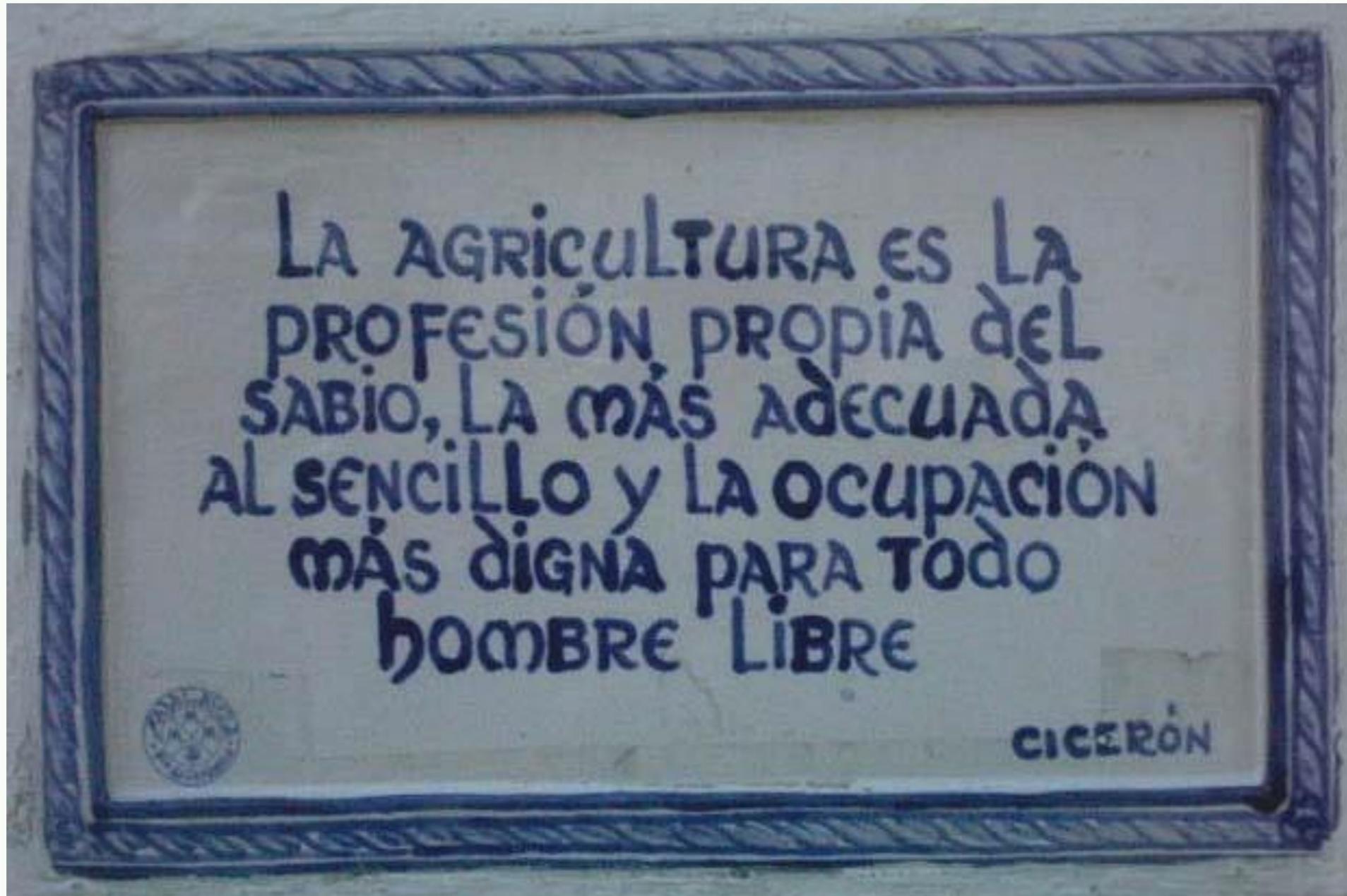
• *EL TÍTULO COMPLETO DEL LIBRO, DEDICADO A CARLOS II, TERMINABA DE ESTA CURIOSA FORMA HABLANDO DE LAS FIEBRES TERCIANAS Y CUARTANAS:*

describese tambien la calidad, y modo de hacer del caphe, y del the y para que enfermedades aprovechan estas bebidas. Y del modo que se prepara el vino de la China-China en Inglaterra y en otras partes, para las calenturas, tercianas, y quartanas ⁽¹⁾.

(1)“En España la malaria fue conocida casi siempre con el nombre de "tercianas" o "fiebre terciana" (de 3 días) benigna causada por el *plasmodium vivax* y en menor grado la fiebre terciana maligna causada por el *plasmodium falciparum* y la fiebre de cuatro días causada por el *plasmodium malariae* fueron endémicas hasta la mitad del siglo XX. En 1943 se diagnosticaron unos 400 000 casos y se registraron 1.307 muertes debidas a la malaria” (Wikipedia, consultada en 2019).

“así decían los antiguos, y con mucha lógica: las calenturas (episodios de fiebre y escalofríos) venían cada tres días (tercianas) o cada cuatro (cuartanas). con suerte y algo de quina, el enfermo salía adelante. Sin ellas, mejor era confesarse pronto, si había cura a la mano... hoy sabemos un poco más: lo que antes era el producto de los malos aires corresponde a la infestación por el plasmodium, un protozoo transmitido por la picadura de la hembra del mosquito anopheles” (Gomez, 2007).

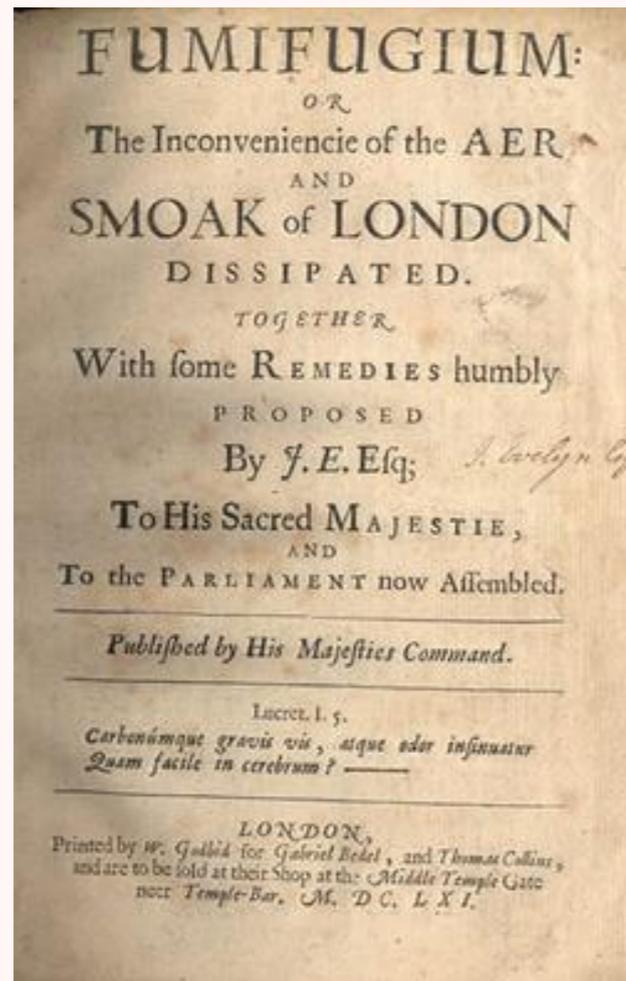
«las aguas quietas, pantanosas, y estancadas son, por fuerza, en el verano, calientes, gordas y fétidas, porque no fluyen, pero, como las alimenta el agua de lluvia, siempre nueva, y las calienta el sol, son, necesariamente, de mal color, nocivas y productoras de bilis... Quienes las beben tienen siempre el bazo grande y contraído... Efectivamente, en verano, se dan muchas dicenterías, diarreas y fiebres cuartanas de larga duración...»«Si el territorio cuenta con ríos, que drenan el agua estancada y de lluvia, la población será sana y llena de vida. Pero si no hay ríos, y la gente tiene que beber agua de marismas, estancada y pantanosa, el aspecto de la gente mostrará abdómenes abultados y bazos hipertrofiados” (Hipócrates. S. V a.c.).



<http://www.archimadrid.es/sanisidro/SANTOS.HTM>

UN PROBLEMA QUE VIENE DE LEJOS...

- Los problemas de contaminación en Londres desde la época medieval, le llevaron a escribir su obra *Fumifugium* en 1661, en la que el autor, provocado por el efecto de humo del carbón, analizaba el problema y proponía una serie de soluciones (Boldo, 2016)

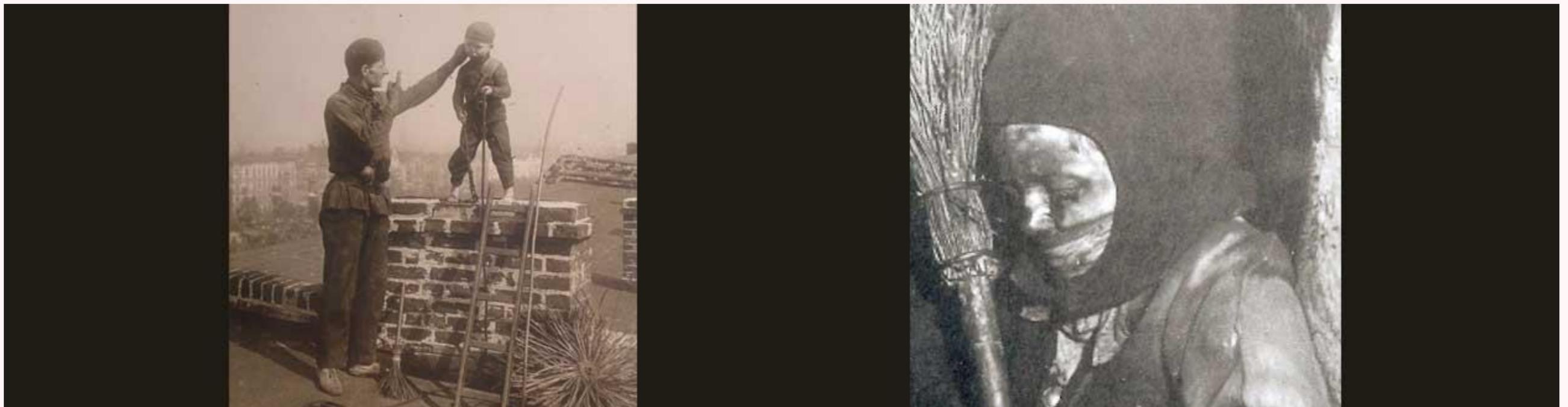


[...] shows that 'tis the sea-coal smoke
That always London does environ,
Which does our lungs and spirits choke,
Our hanging spoil, and rust our iron.
Let none at *Fumifuge* be scoffing
Who heard at Church our Sunday's coughing.^[2]

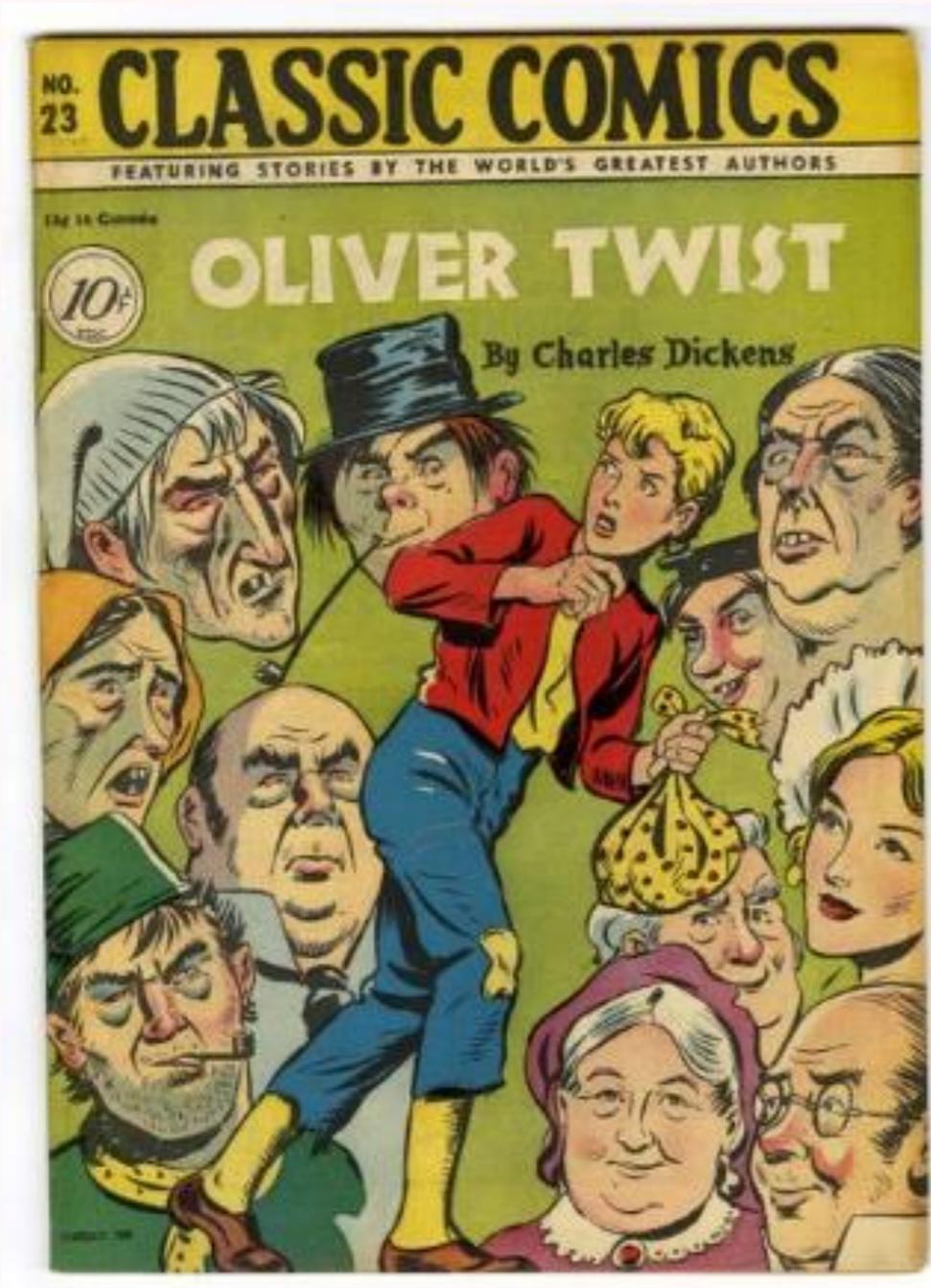
Evelin (1661), tomado de: <https://en.wikipedia.org/wiki/Fumifugium>

LA CIUDAD DÓNDE VIVO HA CRECIDO DE ESPALDAS AL CIELO (...) LA CIUDAD DONDE VIVO ES UN MONSTRUO DE SIETE CABEZAS (...) CORAZÓN, CORAZÓN, CORAZÓN DE POLUCIÓN ... (ORQUESTA MONDRAGÓN, 1987)

- Con la llegada de la revolución industrial en gran Bretaña, durante la segunda mitad del XVIII, y que rápidamente se fue extendiendo por occidente, el problema se agrava, las ciudades empiezan a tener cada vez más población, el problema se agrava con la quema de carbón y los propios contaminantes tóxicos de las fábricas (Boldo, 2016)).
- En el siglo XVIII se empieza a relacionar el cáncer de escroto con la exposición al hollín viendo la gran frecuencia de este tipo de cáncer entre los deshollinadores (Instituto Nacional del Cancer de EE.UU., 2019) . Peligrosísimo y penoso oficio, en el que las caídas podían ser gravísimas, realizado en la época victoriana por los niños más pobres, que eran subalimentados para que no crecieran y cupieran en las chimeneas. (información y fotos tomadas de: <https://difundir.org>, 2017)



LA CIUDAD DÓNDE VIVO ES UN OGRO CON DIENTES DE ORO(...)
LA CIUDAD JUNTA AL DIOS Y AL DIABLO... (ORQUESTA
MONDRAGÓN, 1987)



- Uno de los malvados personajes de “Oliver Twist” es un deshollinador que intenta reclutar al desgraciado Oliver. En la conocida novela de Charles Dickens, se respira el aire gris y oscuro de una ciudad contaminada, no solo en el ambiente físico, también en el moral y social. Tal vez, más allá de los posibles problemas para la salud física, es un ejemplo de la influencia nociva del entorno contaminado en la psicología y la sociología de la época.

SOPA DE GUISANTES ASESINA



Pintura de Claude Manet sobre el smog de Londres,
tomada de:
https://simple.wikipedia.org/wiki/Smog#/media/File:Claude_Monet_015.jpg

SOPA DE GUISANTES ASESINA

- Uno de los episodios más terribles atribuidos a la contaminación fue la gran niebla de Londres de diciembre de 1952. Una inversión térmica, junto con la polución del aire, dio paso a una mezcla de humo y niebla (*smog*, abreviatura de *smoke* y *fog*). Es posible que más de 4000 personas murieran a causa de este episodio, la visibilidad se redujo tanto que algunos paseantes no podían encontrar su camino a casa de noche, e incluso en algunas zonas ni incluso ver sus pies (METOFFICE, web consultada en 2019)
- El incidente de Londres sin embargo dio paso a una mayor conciencia del problema y al desarrollo de leyes para prevenir esos problemas.

LA MATERIA PARTICULADA

- Contaminación atmosférica y salud
 - La materia particulada
 - La visibilidad se reduce
 - El color de la boina
- El humo de la leña también es peligroso...
 - El “black carbón”
 - ¿Qué culpa tienen los coches?
- Otras fuentes de contaminación...
 - Esos frenos ...
 - Problemas en el metro.
 - El polvo del Sahara
 - ¿De Madrid el cielo?
- Contaminación de Madrid frente a otras capitales del mundo

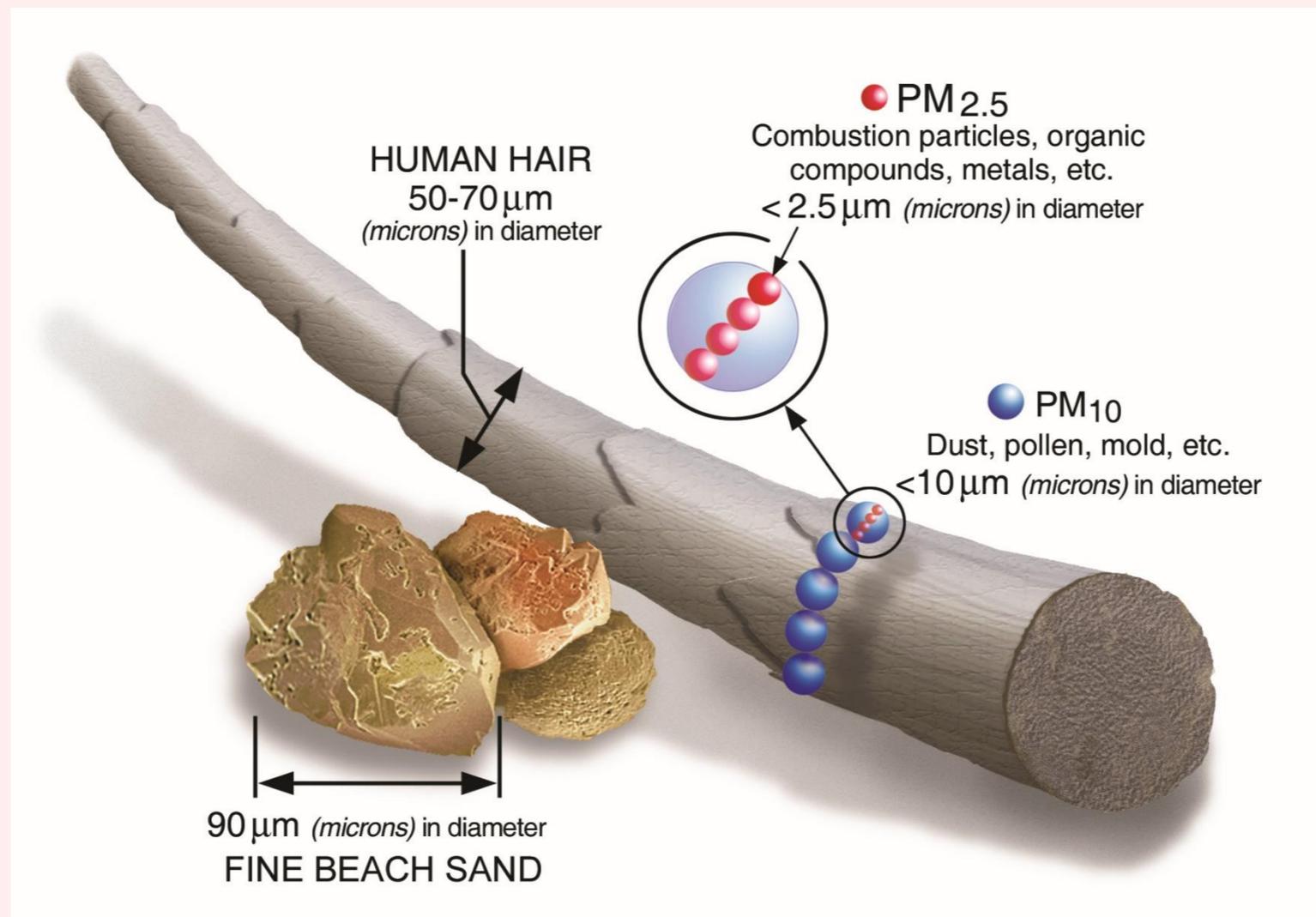
CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y SALUD

- La contaminación atmosférica, según la Organización Mundial de la Salud (de aquí en adelante WHO, siglas en inglés de *World Health Organization*), es uno de los mayores riesgos ambientales para la salud (WHO, 2016). Hay que indicar que la concentraciones de contaminantes alcanzan mayores valores en países en vías de desarrollo, pero también señalar que los daños también son cuantificables en los países en desarrollo y que pudieran crecer a medida que los niveles aumentan. (Dora et al., 2011).

LA MATERIA PARTICULADA

- La materia particulada (PM) se refiere es una mezcla heterogénea de partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire. Se utiliza a veces de forma sinónima el término de aerosol, aunque en realidad este último término hace referencia tanto a las partículas como al gas en que están suspendidas (WHO 2016)
- “En la actualidad, el total de la concentración en masa de PM_{10} o $PM_{2,5}$ por volumen de aire del ambiente es considerado ser el mejor indicador del potencial daño a la salud para propósitos de reducción del riesgo” (Dora et al., 2004, en referencia a WHO, Oficina Regional para Europa 2000 y 2004)
- Como muchos de los sistemas de vigilancia de calidad del aire miden de PM_{10} , muchos estudios epidemiológicos se basan en ese indicador. Sin embargo los estudios de la OMS para establecer las guías de calidad del aire (GCA), se basan en el $PM_{2,5}$. (WHO, 2006)

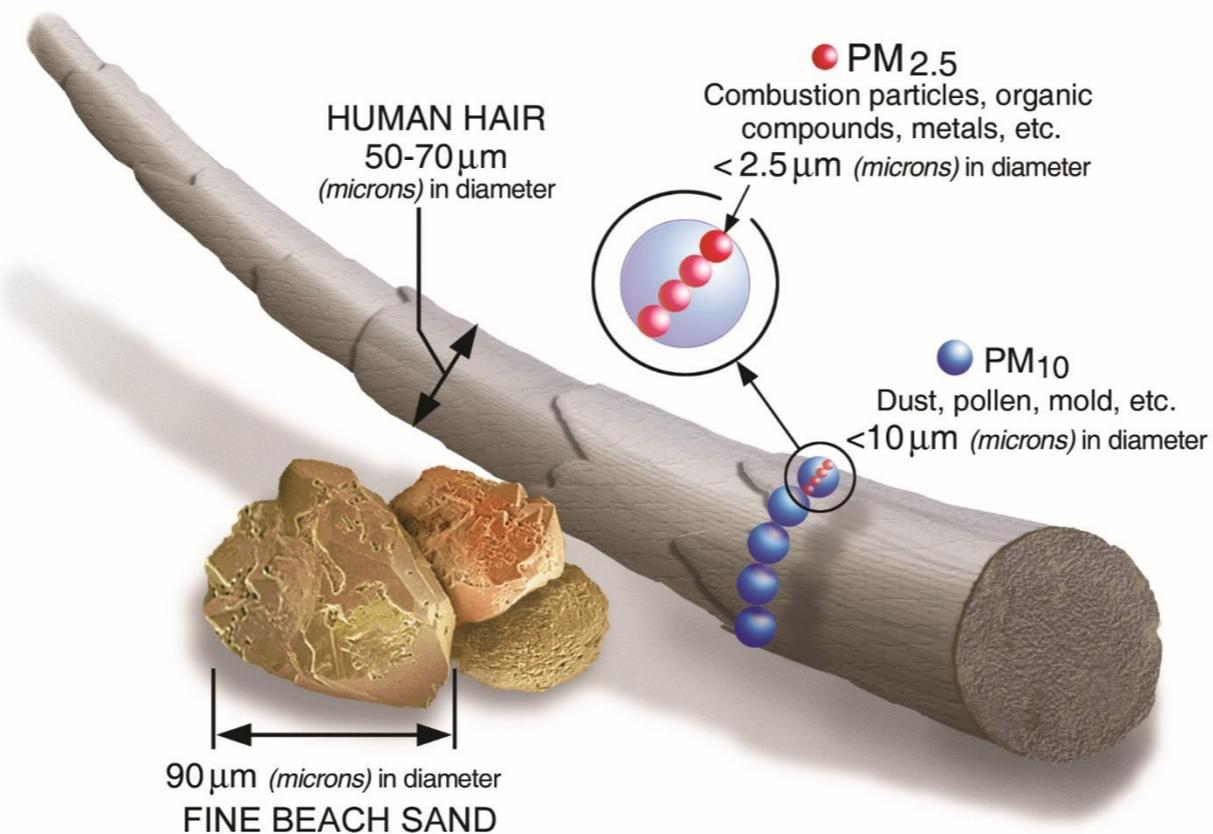
LA MATERIA PARTICULADA



Tomado de: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>

LA MATERIA PARTICULADA

- Volviendo a las PM_{10} y $PM_{2.5}$, la relación entre ellas en los países desarrollados suele ser de entre 0,5 y 0,8 entre las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$. Se utiliza el valor 0,5 para pasar de los valores guía de la OMS de PM_{10} a los de $PM_{2.5}$, aunque dependiendo de las condiciones locales, este coeficiente se puede adoptar a lo que refleje la realidad de las condiciones locales. (WHO, 2006). La mayoría de las PM_{10} se forman por procesos mecánicos, mientras que las $PM_{2.5}$ proceden principalmente de fuentes de combustión (WHO, 2006).



Tomado de: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>

LA MATERIA PARTICULADA: REDUCCIÓN DE VISIBILIDAD

- Uno de los efectos de la presencia de material particulado fino emitido por múltiples fuentes en un área amplia es la reducción de visibilidad, dependiendo de la forma tamaño y composición química de las partículas. Los sulfatos, nitratos y el carbono elemental y orgánico son los que más contribuyen, ya que su tamaño es comparable al de la longitud de la luz (Jorquera, 2015)
- Algunos de los aerosoles que reducen la visibilidad como los sulfatos y los nitratos, son en parte formados a partir de contaminantes gaseosos y en presencia de radiación solar, dando lugar a ese visible velo que se produce en episodios de alta contaminación (Baumbach, 1996).

LA MATERIA PARTICULADA: REDUCCIÓN DE VISIBILIDAD

- En aire contaminado el único gas que tiene importancia en la atenuación de la luz por dispersión Rayleigh y por atenuación es el NO_2 (Jacobson, 2002).
- De acuerdo a unos estudios realizados en Los Ángeles, en los días de más polución, la dispersión de la luz por partículas es el efecto predominante en la extinción de la luz, seguido por la absorción por partículas, dispersión por gases y absorción por gases. Sin embargo, en los días con menos contaminación tenían un efecto similar, la dispersión por partículas, la dispersión por gases y la absorción por gases. (Jacobson, 2002)

EL COLOR DE LA “BOINA”

- Cuando las partículas de aerosol tienen una longitud de onda similar a la de la luz dispersan todas las frecuencias con igual intensidad dando lugar una calima blanquecina. Muchas partículas crecen de tamaño cuando la humedad relativa es alta. Las nubes y nieblas se ven muy blancas porque dispersan más o menos igual todas las frecuencias. Cuando la polución es alta y se forman nieblas son difíciles de distinguir de las calimas debidas a la contaminación (Jacobson, 2002).
- Los colores rojizos y marrones se deben del smog se deben en primer lugar a la absorción preferente de color azul y algo de verde por el NO_2 , de ahí el color amarillo, marrón o rojo verdoso, la segunda causa es la absorción preferencial del color azul por ciertos hidrocarburos aromáticos en forma de partículas suspendidas que, a su vez, son buenos transmisores de tonalidades marrones. La última causa es que el polvo en suspensión también absorbe mejor los colores azules y verdosos, aunque hay que decir que este efecto es limitado si no hay invasiones de polvo sahariano (Jacobson, 2002).

LA MATERIA PARTICULADA

- En las zonas urbanas se detecta en general la presencia de partículas gruesas y finas, si bien la proporción entre ellas puede variar por diversos factores geográficos, meteorológicos y relacionados con las fuentes de emisión. En algunas zonas la quema de biomasa es la responsable de partículas de combustión de tipo fino. Los pocos estudios epidemiológicos que existen parecen indicar que la toxicidad de dichas quemas es similar a la procedente de combustibles fósiles (WHO, 2006)

LA MATERIA PARTICULADA

- *“El black carbon es un componente típico de la materia particulada fina y es el contaminante del aire más asociado con las muertes prematuras, junto con el ozono, que tiene un importante impacto en los problemas respiratorios” .(WHO, 2015).*
- *“El black carbon es un producto de la combustión y los estudios evidencian que las partículas procedentes de la combustión son más peligrosas que las de otras fuentes, como el polvo. Además los estudios demuestran que el black carbon puede ser un “portador universal” de otras partículas dañinas, aunque todavía queda mucho por avanzar” . (WHO 2015).*

LA MATERIA PARTICULADA

- “*En cuanto a las fuentes de black carbon se estima que la quema de fuel en edificios residenciales y comerciales, junto con el transporte, representan aproximadamente un 80% de las fuentes antropogénicas de $PM_{2.5}$, siendo la quema de diésel, biomasa y keroseno una de las fuentes con más concentración de black carbon*”.(WHO, 2015)
- “Aunque parece ser que no ha habido una revisión global sistemática de la contribución del transporte a la contaminación urbana (Dora et al., 2005), se estima que un 30% del $PM_{2,5}$ en ciudades europeas proviene del transporte terrestre (Keuken et al. 2005). Según Thunis et al. (Thunis et al., 2017), en Madrid la contribución del transporte a la concentración de $PM_{2,5}$ es especialmente alto, un 39%”.

LA MATERIA PARTICULADA

- No todas las emisiones de material particulado de los vehículos viene del motor. El desgaste de los frenos, las ruedas y la calzada también contribuyen significativamente a la concentración de PM_{2.5}. Así por ejemplo en los frenos un 35% de la masa que se desgasta se transforma en material particulado, del cual un 86% era inferior a 10 μm y un 63% inferior a 2,5 μm (Bhagwan, 2000)
- Recientemente un artículo publicado por Carlos Pérez de la Asociación ciclista urbana Kalapie (Perez, 2018), que tuvo cierto eco en la prensa madrileña, alertaba sobre los altos niveles de PM_{2,5} en el metro de Madrid. Algo que los que solemos movernos con un detector de partículas ya habíamos detectado. Se apuntaban diversas causas y posibles soluciones en dicho estudio, personalmente creo el papel de los frenos de los vagones puede tener un papel muy importante.

EL PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN EN LAS CIUDADES DE PAÍSES DESARROLLADOS: OTRAS FUENTES DE CONTAMINANTES

- *“Un balance de masa detallado demuestra que el uso de productos químicos volátiles (VCP), incluidos pesticidas, recubrimientos, tintas de impresión, adhesivos, productos de limpieza y productos para el cuidado personal, ahora constituye la mitad de las emisiones de VOC de combustibles fósiles en ciudades industrializadas. La alta fracción de las emisiones de VCP es consistente con las mediciones observadas en el aire exterior e interior urbano. Mostramos que la exposición humana a aerosoles carbonosos de origen fósil se está alejando de las fuentes relacionadas con el transporte y hacia los VCP. Las regulaciones existentes de los EE. UU. sobre los VCP hacen hincapié en la mitigación del ozono y los tóxicos del aire, pero actualmente eximen a muchos productos químicos que producen aerosoles orgánicos secundarios”* (Brian et al., 2018)

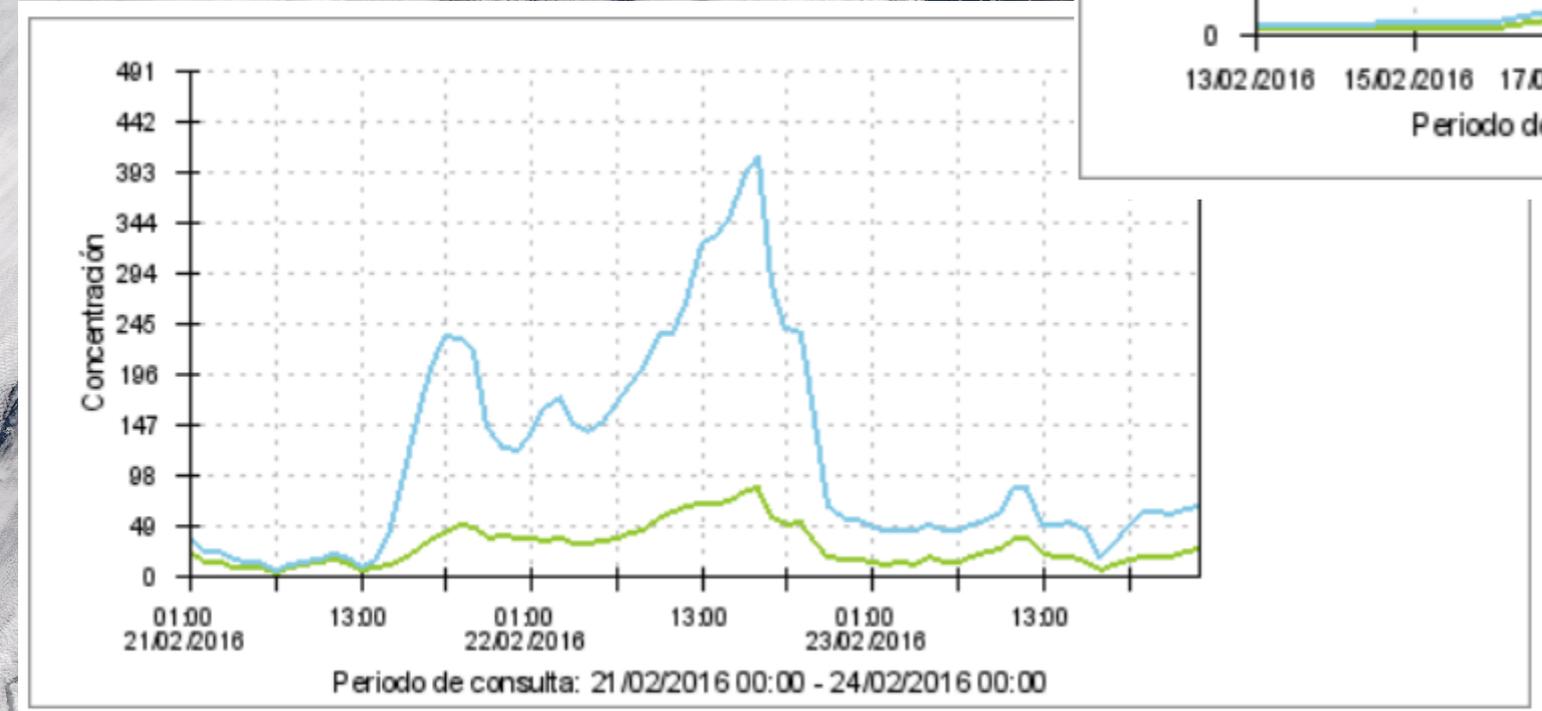
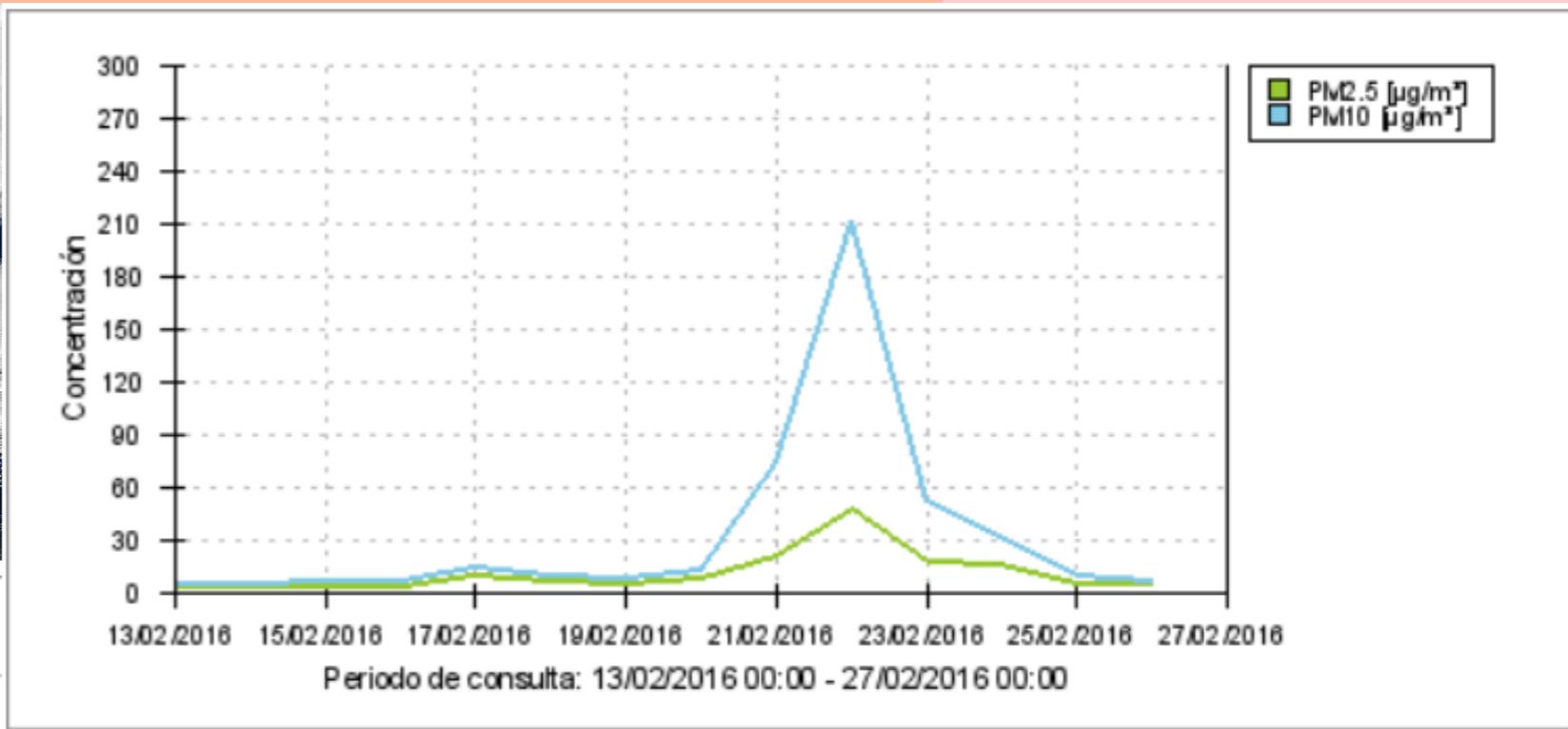
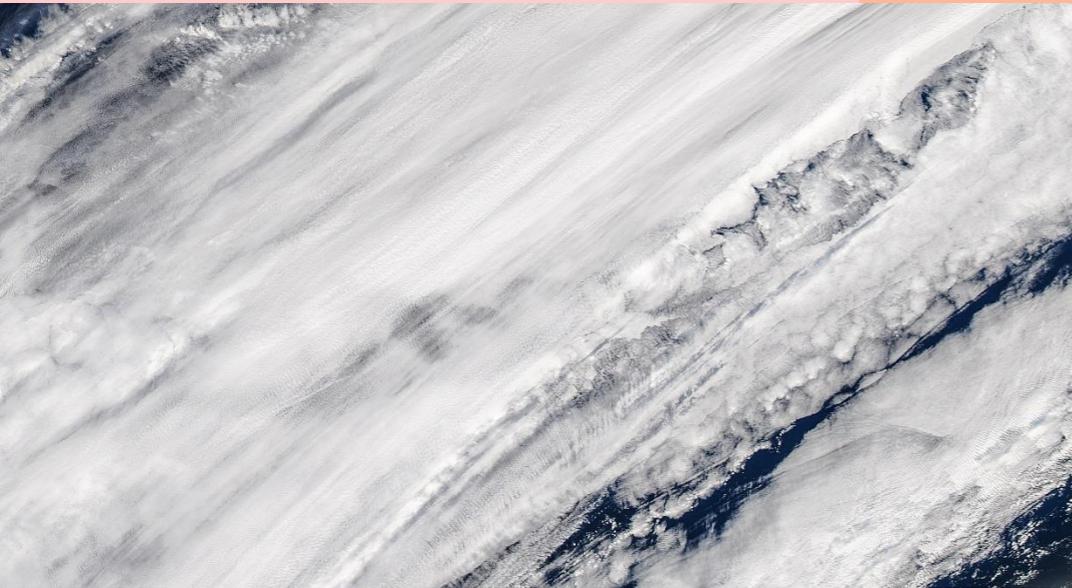
LA MATERIA PARTICULADA

- No todo son causas antropogénicas...



Polvo sobre la `Península. Cortesía de NASA, imagen del satélite ACQUA con MODIS (21/02/2016, 14:00UTC):

https://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/87000/87566/iberianpeninsula_am_o_2016052_lrg.jpg



Ejemplo de niveles muy altos de partículas debido a una invasión de polvo sahariano el 21 y 22 de febrero de 2016. Los niveles de PM_{10} se dispararon hasta 8 veces las recomendaciones horarias de la OMS y los de $PM_{2,5}$ hasta dos. Gráficos diarios y horarios de febrero de 2018 en la estación de Méndez Álvaro cortesía del Ayuntamiento de Madrid, de su web: <http://www.mambiente.madrid.es/>

LA MATERIA PARTICULADA

- Durante las invasiones de polvo sahariano se producen aumentos en España de la concentración de PM_{10} . En AEMET se mantiene, desde hace muchos años, una red de contaminación de fondo en lugares alejados de fuentes de contaminación antropogénica, que mide las concentraciones de PM_{10} de origen natural. Dichas mediciones permiten discriminar picos de contaminación de PM_{10} atribuibles a factores naturales. Durante dichas invasiones de aire sahariano, también se observa que crece, en menor medida, las concentraciones de $PM_{2.5}$.

LA MATERIA PARTICULADA

- En las evaluaciones de calidad del aire del Ayuntamiento de Madrid se tiene en cuenta este efecto natural que puede dar lugar a picos de PM_{10} que superen las directivas europeas algunos días, pero que son ajenos a las fuentes antropogénicas de contaminación. Aunque relativamente menores que los de PM_{10} , los niveles de $PM_{2.5}$ que se alcanzan también pueden ser altos durante las invasiones de polvo sahariano, pero como la normativa europea es muy laxa con la concentración de $PM_{2.5}$, no se establecen límites diarios a este peligroso contaminante. Por otro lado, dado el carácter no frecuente de dichas invasiones, la contribución a las medias anuales de material particulado es relativamente poco importante.

¿MADRIZ ME MATA?

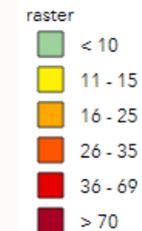
*A unos les toca en Gambia
y a otros en Pekín, oh
y a mi me tocó nacer
en Madrid ...*

“Madrid”, Mecano, 1983

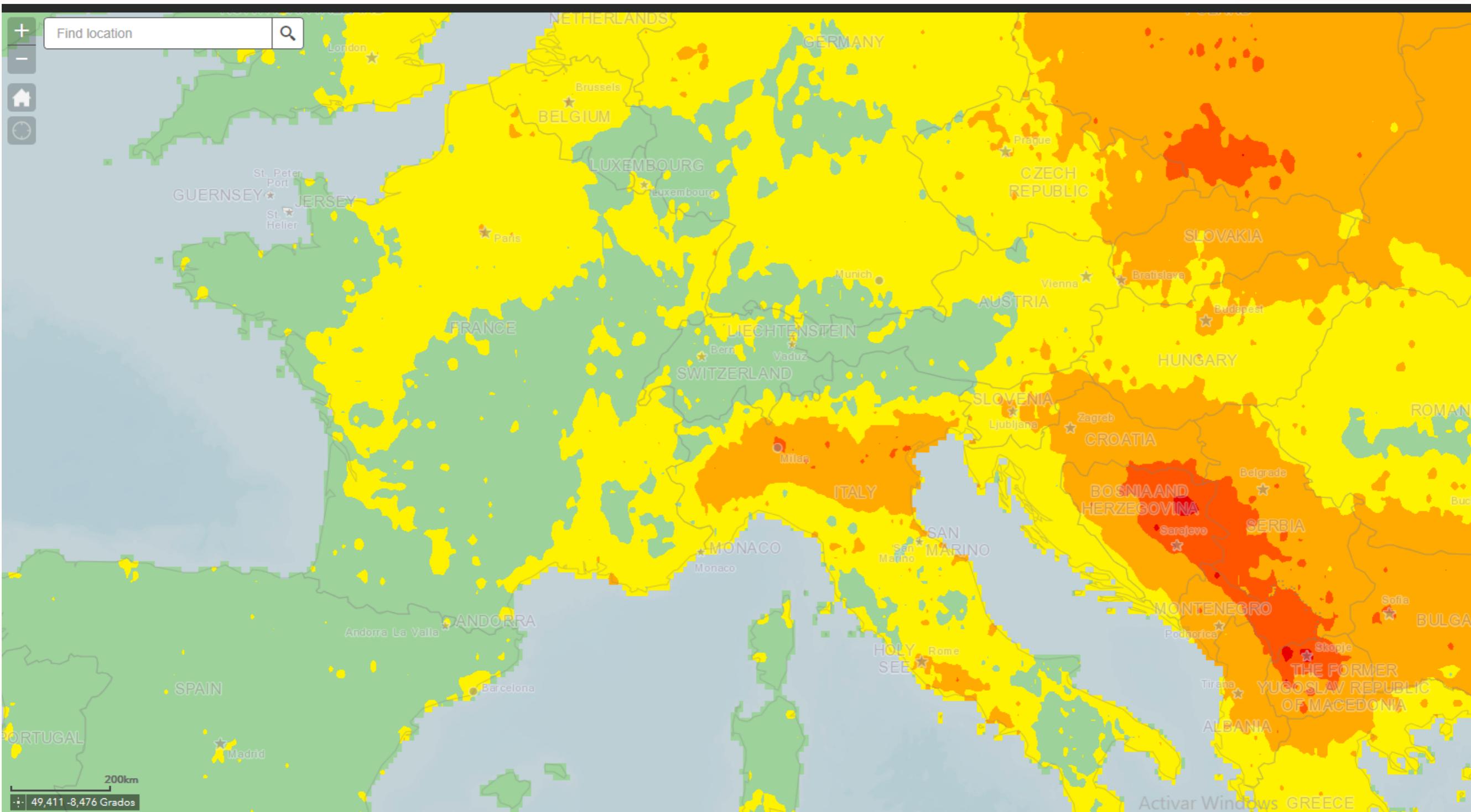
- ¿¿¿¿¿¿¿¿De Madrid al cielo y un agujerito para verlo... pero dentro de muchos años

Pues el invierno y verano
En Madrid sólo son buenos
Desde la cuna a Madrid
Y desde Madrid al cielo
Luis Quiñones de Benavente (1581-1651)

- ¿¿¿¿¿¿¿¿¿¿De Madrid el cielo....velazqueño?????????????

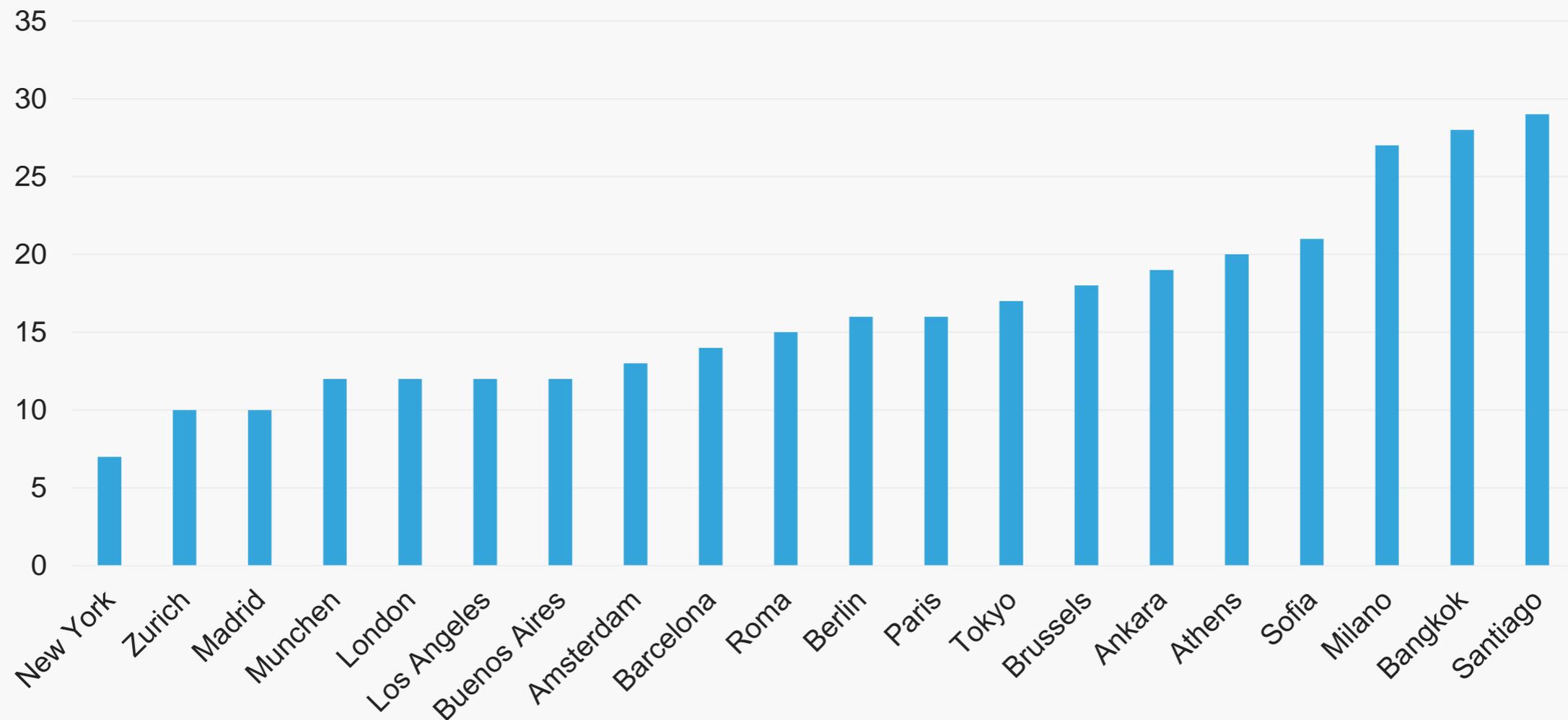


<http://maps.who.int/airpollution/>



The boundaries and names shown and the designations used on this map do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the World Health Organization concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries. Dotted and dashed lines on maps represent approximate border lines for which there may not yet be full agreement.

EL PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN EN LAS CIUDADES DE PAÍSES DESARROLLADOS



Valores medios de pm 2,5 en 2016 (excepto dato Tokio que es de 2014), en diversas grandes ciudades del mundo. Fuente: elaboración propia a partir de la WHO Air Quality Database de 2018. No se han incluido aquellas con mayores índices: Pekín: 73, Delhi: 143, Ulan-Bator:92, Kabul: 86, Bangladesh:84 ...

EL PROBLEMA DEL NO₂

- ¿Por qué es malo el NO₂?
- Europa frente a la WHO.
- El NO₂ se hace famoso.
- Corto alcance frente a gran alcance
- Europa frente a EE.UU.
- Sus malas compañías: las partículas ultrafinas
- Gradientes frente a fuentes de emisión
- El protocolo del Ayuntamiento de Madrid y la asesoría meteorológica
- Relación entre Meteorología y Contaminación.
- La estabilidad atmosférica nos desestabiliza. Inversiones y anticiclones.
Hay que ventilar...
- El NO₂ y el irritante O₃
- Verano frente a invierno. Cerca y lejos del tráfico.
- El boletín automático que se manda al Ayuntamiento y su evaluación.
- Mejor con predictores

EU FRENTE A WHO: EL PROBLEMA DEL NO₂

- Las actuales regulaciones europeas son muy laxas con el material particulado (hasta 2,5 veces el límite anual respecto a la WHO y sin restricciones diarias para PM_{2,5}), el contaminante considerado como el mejor indicador del potencial daño a la salud para propósitos de reducción del riesgo (Dora et al. citando a WHO, Oficina Regional para Europa 2000 y 2004). Sin embargo, en relación con las concentraciones de NO₂, las regulaciones europeas son igual de estrictas que las de la WHO, de ahí que tengamos que estar atentos en Madrid a tomar medidas para no superar los niveles establecidos.

EL PROBLEMA DEL NO₂

- Madrid es de las pocas grandes capitales europeas que, además de cumplir de sobra las directivas europeas, prácticamente está empezando a cumplir los estándares de la WHO en cuanto a material particulado. Sin embargo en cuanto a NO₂, muy ligado al tráfico, las directrices europeas y las de WHO son igual de estrictas y a veces en Madrid se superan los umbrales
- De ahí los esfuerzos que se realizan, para controlar los niveles de este contaminante por parte del Ayuntamiento durante el período en que puede alcanzar valores máximos altos. Ese periodo abarcaría de octubre a febrero, con mayor probabilidad en trono al corazón de dicho periodo. Fuera de dicha época los valores pueden ser aisladamente altos en estaciones cercanas a grandes vías de tráfico, pero no es algo significativo.

LA CONTAMINACIÓN DEL TRANSPORTE. EL PROBLEMA DEL NO₂

- “Aparte de su importante contribución al material particulado, en muchas ciudades además, el transporte es una fuente primordial de otros contaminantes como monóxido de carbono, óxido de nitrógeno y benceno, y también es la causa principal de formación de otros contaminantes secundarios como el ozono. En Europa los vehículos son además los mayores contribuyentes de óxidos de nitrógeno” (Keuken et al., 2005) . Según Querol (Querol, 2018), el tráfico rodado en Madrid contribuye con aproximadamente el 70% del NO₂). Siendo fácil de medir, el NO₂ se usa con frecuencia como indicador para la media de contaminantes en conjunto, ya que, aparte de su posible toxicidad, el NO₂ se correlaciona con otros contaminantes. (WHO, 2005).

EL PROBLEMA DEL NO₂: EFECTOS PARA LA SALUD

- En cuanto a la exposición a largo plazo, según la WHO, todavía no hay bases claras para establecer un valor medio guía de NO₂ a través de un efecto tóxico directo. Tampoco en relación a otros contaminantes primarios y secundarios asociados. Sin embargo, por las posibles consecuencias de la exposición a largo plazo es justificable que se mantenga un límite razonable. (WHO, 2005).
- En cuanto a los efectos a corto plazo de la exposición a NO₂, la Organización Mundial de la Salud, basándose en algunos experimentos que sugieren reacciones bronquiales en asmáticos, se considera un incremento de dichas reacciones por encima de los 200 microgramos por metro cúbico, nivel que se mantiene en con WHO AQG (WHO, 2005).

EU FRENTE A WHO

EU Air Quality Directive				WHO Guidelines	
Pollutant	Averaging Period	Objective and legal nature and concentration	Comments	Concentration	Comments
PM _{2.5}	Hourly			25 µg/m ³	99th percentile (3 days/year)
PM _{2.5}	Annual	Limit value, 25 µg/m ³		10 µg/m ³	
PM ₁₀	Hourly	Limit value, 50 µg/m ³	Not to be exceeded on more than 35 days per year	50 µg/m ³	99th percentile (3 days/year)
PM ₁₀	Annual	Limit value, 40 µg/m ³		20 µg/m ³	
O ₃	Maximum daily 8-hour mean	Target value, 120 µg/m ³	Not to be exceeded on more than 25 days per year, averaged over three years	100 µg/m ³	
NO ₂	Hourly	Limit value, 200 µg/m ³	Not to be exceeded on more than 18 times a calendar year	200 µg/m ³	
NO ₂	Annual	Limit value, 40 µg/m ³		40 µg/m ³	

Tabla de EU Air Quality Directive / WHO guidelines.. Tomado de European Environmental Agency (2019). <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-standards> (Consulta 20/03/2019)

EU FRENTE A WHO: EL PROBLEMA DEL NO₂

- Por otro lado, al ser el NO₂ muy dependientes de las emisiones de vehículos y tener un tiempo de vida corto, se pueden realizar acciones locales para su control.
- Las partículas, cuyo tiempo de vida es mayor y cuyos niveles alcanzan en algunos lugares de Europa niveles muy altos debido a la gran concentración de industrias, personas y tráfico, seguramente serían más difíciles de controlar en dichas zonas. Seguramente también por eso las directivas europeas son más flexibles. Aunque es de esperar que, en un futuro, las normas europeas se vayan endureciendo también en materia de concentración de material particulado, cuyos niveles, como se ha dicho, suelen alcanzar valores mucho mayores, en las capitales del viejo continente, a los que tenemos en España y muy por encima de las regulaciones de la WHO.

EL NO₂ SE HACE FAMOSO: EL ESCANDALO VW

Coche	EPA (Estados Unidos)			Euro5		Euro6		Comentario
	Límite	Dinamómetro	WVU	Límite	Medida 2011	Límite	Medida 201x	
Vehículo A [Volkswagen Jetta ¹⁰]	0.043 g/km	0.022 g/km	0.61–1.5 g/km	0.18 g/km ¹¹	0.62 ± 0.19 g/km ¹²	0.08 g/km ¹¹		Trampa de NO _x (LNT)
Vehículo B [Volkswagen Passat ¹⁰]	0.043 g/km	0.016 g/km	0.34–0.67 g/km		0.62 ± 0.19 g/km			Reducción catalítica selectiva basada en urea (SCR)

Tabla tomada de: *El Escándalo de las emisiones contaminantes de vehículos Volkswagen (2015, actualizada en 2019)*: https://es.wikipedia.org/wiki/Esc%C3%A1ndalo_de_emisiones_contaminantes_de_veh%C3%ADculos_Volkswagen (consultado en marzo de 2019)

“El ingeniero valenciano Vicente Franco se doctoró por la [Universidad de Castellón](#) (UJI) con la tesis *Los equipos de medición de gases contaminantes en continuo*, bajo la dirección de Rosario Vidal, catedrática de Proyectos de Ingeniería de la UJI. Vicente Franco se incorporó en 2013 al equipo de investigación del ICCT en Europa y trabajaba en su sede ubicada en Berlín. En mayo de 2013 formó parte del equipo que dirigió la investigación realizada por el ICCT en colaboración con la universidad de *West Virginia* para estudiar las diferencias entre las emisiones de los vehículos diésel en EE. UU. y en Europa,⁴ Descubrieron que las emisiones de óxido de nitrógeno en los coches de Volkswagen probados multiplicaban entre 10 y 35 veces las registradas en el laboratorio durante la prueba de homologación.⁴ Los resultados se comunicaron en mayo de 2013 a la EPA, que realizó más estudios y destapó el escándalo en septiembre de 2015.

En 2015 Vicente Franco y Rosario Vidal declararon que la legislación sobre emisión de óxidos de nitrógeno, gases perjudiciales para la salud, en los coches diésel *es mucho más laxa en Europa que en Estados Unidos* y lamentaron la falta de una agencia europea con atribuciones equiparables a la agencia medioambiental estadounidense (EPA), *que es la que ha destapado las malas prácticas de Volkswagen*⁷. (Wikipedia, consultada en marzo de 2019)

NOTA: Este escándalo no ha sido el único, ni el primero, pero si el más famoso por sus dimensiones (véase Nesbit et al., 2016, pp. 58-68)

CORTO ALCANCE FRENTE A GRAN ALCANCE

- El escándalo de VW volvió a poner también sobre la mesa el dilema entre la escala local y global. Para conseguir reducir las emisiones de CO₂, los vehículos diésel de la marca alemana requerían un funcionamiento de motor que daba lugar a grandes emisiones de óxidos de nitrógeno para mantener un consumo bajo de combustible.
- Esto plantea el equilibrio que debe haber entre emitir poca polución a escala regional, cuyo efecto puede ser nocivo en zonas con gran densidad de población, y la reducción de emisiones globales de CO₂, así como la reducción de costes de carburante del conductor.
- También este nuevo panorama dio lugar a preguntarse sobre la conveniencia de que la normativa europea de emisiones de óxidos de nitrógeno europeas hayan sido tan permisivas a los diésel y de la necesidad de ir a normativas de emisiones mucho más restrictivas, coherentes y a una aplicación más rigurosa de las mismas, tal como se hace en EE.UU. y como apunta el informe encargado por el Parlamento Europeo en 2016 a Nesbit et al. (Nesbit et al. 2016)

EUROPA FRENTE A EE.UU.

- "La normativa federal americana, particularmente en NOx es más ambiciosa, para polutantes locales claves, que los estándares europeos. Una diferencia fundamental es que EE.UU. aplica la misma normativa para vehículos diésel y de gasolina. Además algunos estados como California, y otros que han adoptado sus estándares, son mas ambiciosos en sus regulaciones que a nivel federal"
- "Con respecto las emisiones de gases de efecto invernadero (...) los objetivos medios de emisión de las flotas de vehículos en la UE son más ambiciosos que los EE.UU". (Nesbit et al., 2016)

EL PROBLEMA DEL NO₂ Y LAS PARTÍCULAS ULTRAFINAS

- "Numerosos estudios han usado NO₂ como un marcador del coctel de los contaminantes asociados a la combustión. En dichos estudios los efectos para la salud pueden estar asociados con otros productos de la combustión como partículas ultrafinas, material particulado o benceno". (WHO, 2005).
- "Las partículas ultra finas (UF), es decir, las partículas de menos de 0,1 μ de diámetro, han despertado recientemente un gran interés en la comunidad científica y médica. Se suelen medir como número de partículas. Si bien hay abundantes pruebas toxicológicas de posibles efectos perjudiciales de las partículas UF en la salud humana, el conjunto existente de pruebas epidemiológicas no es suficiente para llegar a una conclusión acerca de la relación exposición-respuesta. En consecuencia, por ahora no se puede hacer ninguna recomendación sobre concentraciones guía de partículas UF" (WHO, 2005).

LAS PARTÍCULAS ULTRAFINAS

- El pequeño tamaño de las partículas ultrafinas hace que puedan pasar directamente a la sangre con la respiración, incorporando al torrente circulatorio los diversos sustancias nocivas que las puedan formar. En relación a su emisión por vehículos, los diversos estudios realizados un marcado gradiente de concentración de dichas partículas, desde el lugar de su emisión hasta mayores distancias. Es por ello que diversas investigaciones apuntan a que sus efectos dañinos afectarían mas en las cercanías de vías con gran densidad de tráfico, donde su concentración es mayor.
- Zhu et al. (Zhu et al. 2002a) han demostrado el elevado gradiente que puede haber en ciertos contaminantes cerca de vías de gran volumen de tráfico, con una reducción de más de la mitad en apenas unas pocas decenas de metros de distancia, de la concentración de partículas ultrafinas, además de black carbón y monóxido de carbono. Esto debe hacer reflexionar sobre los riesgos de respirar durante mucho tiempo cerca de estas vías.

EL PROBLEMA DEL NO₂: GRADIENTES A FUENTES DE EMISIÓN

- Así como ciertos contaminantes como la concentración de material particulado fino (PM_{2,5}) (National Research Council, 2010) o el O₃ tiene una vida de días a semanas (WHO, 2015) y muestran una variación más homogénea en las redes de medición de contaminación, los óxidos de nitrógeno presentan una distribución más variable debido a su tiempo de vida inferior que es de horas a días de acuerdo a WHO, 2015. (El tiempo de vida de los NO_x va en invierno desde algo más de un día en los días hasta unas horas en las noches de dicha estación según Hannah et al., 2018, y sería de unas cuantas horas de vida media en los meses de producción de O₃, de mayo a septiembre, según Liu et al., 2016). Su concentración depende del lugar dónde estén ubicados los medidores, alcanzando mayores concentraciones en las cercanías de grandes vías y menores en zonas alejadas del tráfico. La disminución de las concentraciones de óxidos de nitrógeno con la distancia a una vía de tráfico depende mucho de las condiciones atmosféricas, siendo el decrecimiento más lento con estabilidad, afectado también la configuración de la calles. (Baumbach, 1996). En los gráficos que presenta Baumbach (Baumbach, 1996) al final del capítulo 6 de su libro “Air quality Control”, en los primeros 80 metros de distancia de una vía de tráfico importante, la disminución de concentración iría de un 40% a un 75%..

EL PROBLEMA DEL NO₂: GRADIENTES A FUENTES DE EMISIÓN

- Por otro lado, al aumentar la distancia a las vías de tráfico la proporción de NO₂ aumenta y la de NO disminuye. Aunque ese cambio de proporción es pequeño en las primeras decenas de metros, en las que el NO₂ también disminuye rápidamente con la distancia. En una serie de mediciones realizadas por Baumbach (Baumbach, 1996) en Alemania en octubre, en zonas alejadas de los focos de contaminación, la proporción de NO₂, puede pasar de ser tan sólo un 10% del total de los óxidos de nitrógenos, a ser un 90% de los mismos (Baumbach, 1996) .

EL PROBLEMA DEL NO₂: GRADIENTES A FUENTES DE EMISIÓN

- La relación entre las concentraciones de NO₂ y NO_x es compleja de establecer en las ciudades. La mayoría de la emisión primaria de NO_x es en forma de NO, pero además parte del NO acaba, en presencia de radicales peróxidos y de O₃, transformándose en NO₂. En general, en ambientes urbanos con mucho tráfico o muy cercanos a grandes vías de circulación, con aporte constante de NO y si la proporción de NO₂/NO es baja, la cantidad de O₃ también lo es y no influye en la oxidación de NO, que se produciría por otros gases traza. (Baumbach, 1996).

EL PROBLEMA DEL NO₂: GRADIENTES A FUENTES DE EMISIÓN

- De cualquier forma parece que, en los niveles que hay habitualmente en muchas ciudades, la reducción de NO₂ requiere una disminución mucho mayor de las emisiones de NO_x. En un estudio publicado en *Atmospheric Environment* (Degraewe. et al., 2015), la modelización mostraba que, con un 20% de emisión primaria de NO₂ en el total de NO_x, para comenzar a reducir, en un cierto porcentaje, las medias anuales o los picos de NO₂, en ambiente urbano de fondo o en una calle encajonada con tráfico, haría falta una reducción, de más del doble de dicho porcentaje, en las emisiones de NO_x.
- De acuerdo a dicho estudio, también con un porcentaje mucho mayor de emisiones primarias de NO₂, la reducción de NO₂, sería mucho más sensible a las emisiones totales de NO_x. Por otro lado, también con bajas concentraciones de NO_x, el NO se oxida rápidamente, por lo que la reducción de emisiones repercute directamente, casi en la misma proporción, en la reducción de NO₂.

EL PROBLEMA DEL NO₂: GRADIENTES A FUENTES DE EMISIÓN

- Surge también la duda de si es adecuado, más allá de su propia toxicidad, utilizar la concentración de NO₂ como un indicador del coctel de contaminantes. Dado que en los últimos años creció la proporción de emisiones de NO₂ en el total de óxidos de nitrógeno, la medida de las concentraciones de NO₂ como representación de la calidad del aire, especialmente en estaciones cercanas a vías de gran tráfico, pudiera no ser una imagen realista de la reducción de polución que ha tenido lugar en los últimos años.

LA ASESORÍA METEOROLÓGICA EN MADRID EN SITUACIONES DE CONTAMINACIÓN

- Basándose en los umbrales de NO₂ establecidos, el Ayuntamiento de Madrid ha diseñado una serie de protocolos que se basa en realizar una serie de acciones en las que la superación de un umbral de 180 ó 200 µg/m³ (microgramos por metro cúbico), durante más al menos dos horas consecutivas en dos estaciones medidoras de la contaminación y de la misma zona, activa una serie de acciones enfocadas a la limitación del tráfico, que es su principal fuente de emisión.
- Desde el momento en que se comenzaron a aplicar este protocolos, y dada la estrecha relación entre meteorología y picos de contaminación, la AEMET ha venido realizando una asesoría continua a las autoridades para apoyar a la toma de decisiones, tanto con el envío periódico de boletines como con asesoría personalizada

PROTOCOLO DEL AYUNTAMIENTO DE MADRID

El actual protocolo de medidas de adoptar durante episodios de alta contaminación por dióxido de nitrógeno en la ciudad de Madrid, elaborado el 27 de septiembre de 2018 prevé la activación de medidas siempre que haya una previsión meteorológica desfavorable y se superen ciertos niveles en la concentración de dióxido de nitrógeno (fig. 1).



Fig. 1 – Nuevo protocolo por alta contaminación. Fuente: http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/export/sites/default/calare/imagenes/protocolo_web_infografia.jpg

PROTOCOLO AYUNTAMIENTO

De acuerdo a dicho protocolo los niveles de preaviso se activan cuando dos estaciones cualesquiera de una misma zona superan, simultáneamente, $180\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante dos horas consecutivas, o tres estaciones cualesquiera de la red de vigilancia superan, simultáneamente, $180\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante tres horas consecutivas.

Los niveles de aviso cuando dos estaciones cualesquiera de una misma zona superan, simultáneamente, $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante dos horas consecutivas, o tres estaciones cualesquiera de la red de vigilancia superan, simultáneamente, $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante tres horas consecutivas. Finalmente la alerta salta si tres estaciones cualesquiera de una misma zona (o dos si se trata de la zona noroeste de Madrid, que solo cuenta con dos estaciones de dióxido de nitrógeno y es muy amplia) superan, simultáneamente, $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante tres horas consecutivas.

RELACIÓN ENTRE METEOROLOGÍA Y CONTAMINACIÓN

- La persistencia durante varios días de condiciones meteorológicas desfavorables a la ventilación es un factor determinante en el desarrollo de episodios de alta contaminación atmosférica.
- Dichas condiciones atmosféricas que favorecen la falta de ventilación son las siguientes:

Viento en calma

Estabilidad atmosférica en niveles bajos

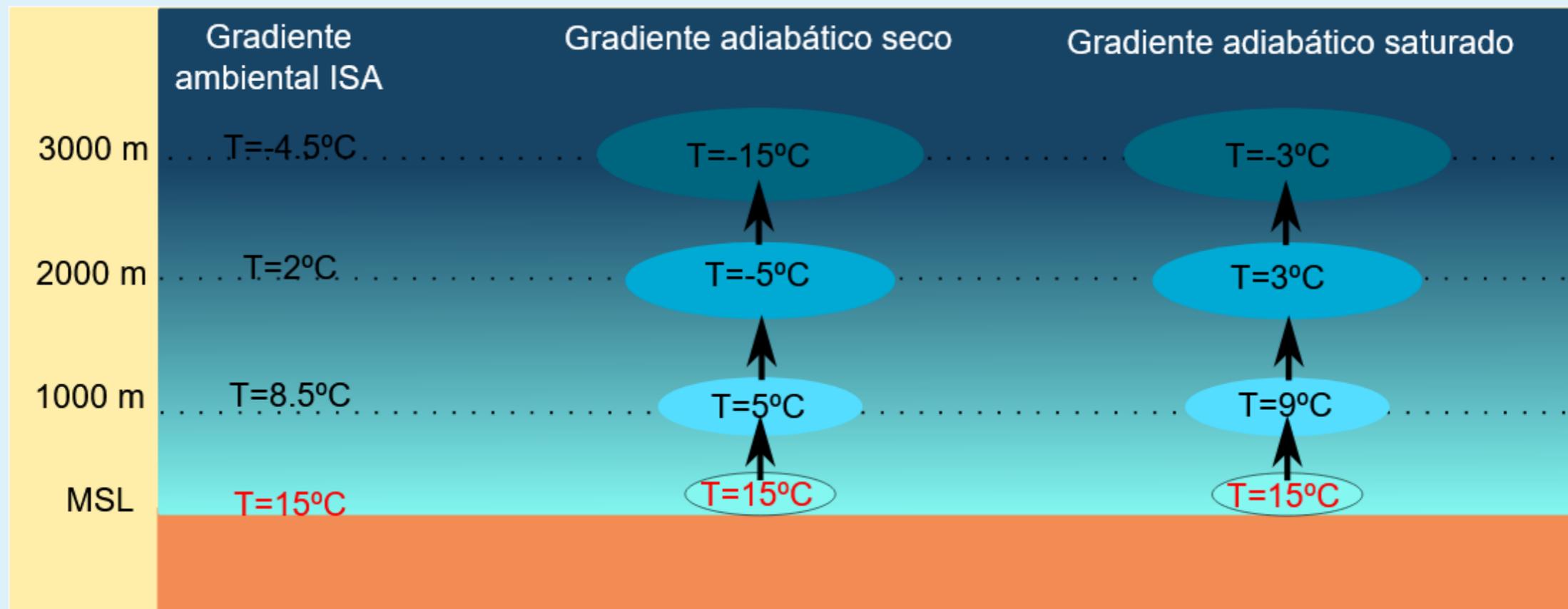
- Este tipo de condiciones son típicos de los anticiclones otoñales e invernales que tanto afectan a la Península Ibérica y en ellas se produce un aumento de la concentración de NO_2 y material particulado.

¿QUÉ ES LA ESTABILIDAD TÉRMICA ATMOSFÉRICA?

- En un pequeño espacio confinado, como un edificio, el aire frío tiende a ocupar los niveles más bajos y el cálido los altos. En la atmósfera esto no pasa exactamente así. Normalmente en zonas altas el aire está más frío que en zonas bajas, como puede comprobar cualquier aviador o montañero. Esto es así porque en la atmósfera las distancias verticales son mayores y se producen variaciones de presión y el aire al descender/ascender se comprime/expande y calienta/enfría, aunque no intercambie calor con el exterior. Por eso en la atmósfera los meteorólogos hablamos de temperatura potencial, que es la variación de temperatura descontando ese efecto y el de posibles condensaciones del aire. En la atmósfera, la temperatura suele disminuir con la altura, aunque la temperatura potencial suele aumentar.

PERO...¿QUÉ ES LA ESTABILIDAD TÉRMICA ATMOSFÉRICA?

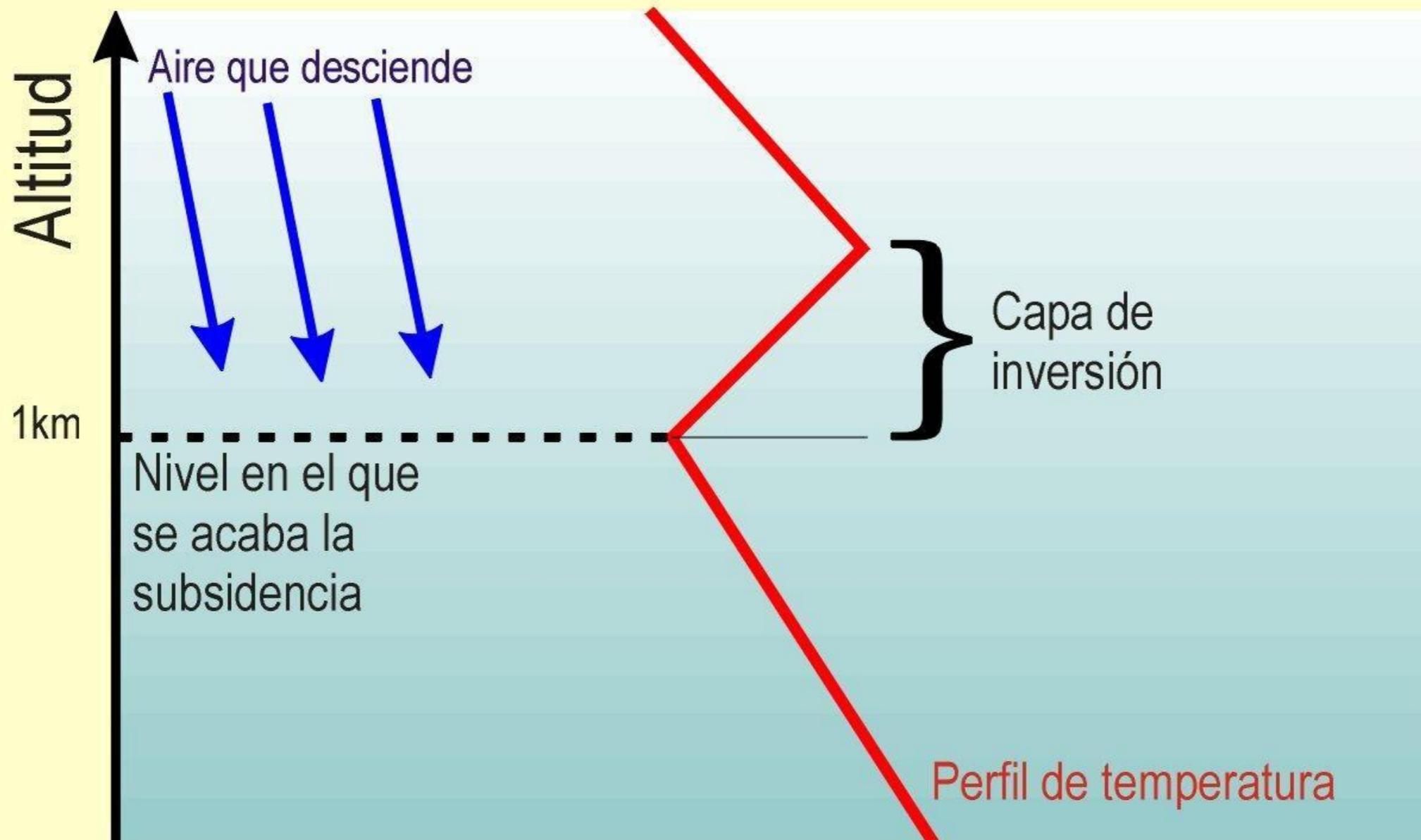
- La estabilidad térmica atmosférica se produce cuando la temperatura potencial disminuye con la altura. Es decir que la variación de la temperatura real con la altura es tal que inhibe los movimientos verticales atmosféricos. Dependiendo de la humedad del aire, de la presión y de la temperatura, la variación vertical necesaria es diferente, pero se suele considerar que hay estabilidad cuando la disminución vertical es inferior a 1°C para aire seco y 0.55°C para aire húmedo.



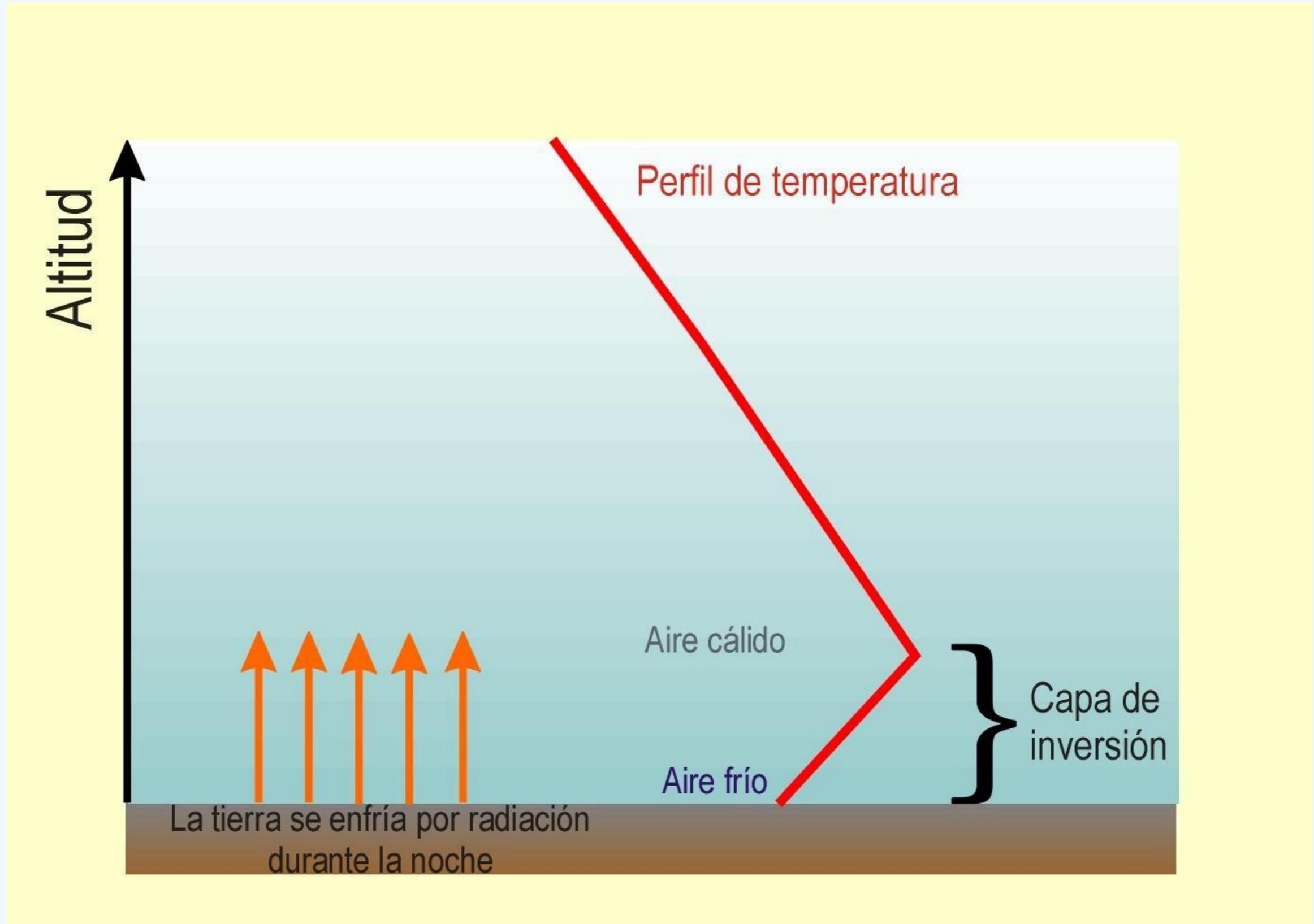
¿QUE ES LA ESTABILIDAD TÉRMICA ATMOSFÉRICA?

- Un caso extremo de estabilidad se produce cuando la temperatura aumenta con la altura. Las inversiones térmicas junto al suelo son típicas de las noches largas de invierno u otoño bajo condiciones anticiclónicas. Los anticiclones contribuyen a la formación de dichas inversiones junto al suelo, ya que, por razones dinámicas, se forman unas corrientes descendentes de aire que atrapan el aire en niveles bajos y favorecen la quietud y la transparencia atmosférica por encima, lo que ayuda a la pérdida de calor por radiación.
- Otro tipo de inversiones las de subsidencia se mantiene a cierta altura en los anticiclones, con límites superiores típicos de 1km en invierno y 3km en verano.

INVERSIÓN SUBSIDENCIA



INVERSIÓN RADIATIVA



RELACIÓN ENTRE METEOROLOGÍA Y CONTAMINACIÓN: EL OZONO

- Otro tipo de situaciones tienen que ver, menos relacionados con la estabilidad, pero si con la radiación solar, tienen que ver con la formación de smog fotoquímico en verano que dan lugar a altos niveles de O_3 (ozono).
- En verano la inversión diurna esta muy alta y el calor acelera la turbulencia. Sin embargo la radiación solar, en presencia de hidrocarburos y de fuentes de emisión de NO (óxido nitroso) da lugar a que se forme O_3 de forma más rápida de la que se destruye. En este caso el O_3 alcanza valores altos de día y bajos de noche, ya que en este periodo se destruye y no se forma. Por su parte el NO_2 oscila de forma inversa (salvo muy cerca de carreteras con gran tráfico donde también el NO_2 puede alcanzar valores altos también de día).

RELACIÓN ENTRE METEOROLOGÍA Y CONTAMINACIÓN: EL OZONO

- El tiempo de vida del O_3 en la atmósfera, en ausencia de sustancias químicas que lo neutralicen, como el NO, es alto. Parece ser que en la troposfera limpia, en invierno, la vida del puede ser superior a los 200 días (Liu et al., 1987) y en verano, que es cuando se alcanzan concentraciones por encima de los umbrales permitidos, una duración diez veces inferior (Velázquez de Castro, 1997), duración, inferior a la del invierno, pero aun muy superior a los de otros contaminantes. De ahí que se vaya acumulando en la atmósfera, a pesar de que la altura de la inversión en verano es mucho más alta. Todo ello hace que las concentraciones de este gas adquieran valores elevados incluso en lugares alejados muchas decenas de kilómetros de los focos de emisión.

RELACIÓN ENTRE METEOROLOGÍA Y CONTAMINACIÓN: EL OZONO

- En dichos lugares alejados de los focos de contaminación, pero que quedan bajo la influencia del transporte de las masas de aire urbano, los valores de NO_2 se mantienen bajos durante el día y la noche, mientras que los de O_3 continúan en valores altos día y noche. La razón es que por la noche los valores sean altos en esas zonas se debe a que, aunque ya no se producen reacciones fotoquímicas de producción de O_3 , bien por estar en zonas de montañas por encima de la inversión nocturna, bien por los vientos locales o bien porque debido a la distancia, dichas zonas quedan por la noche desconectadas de fuentes de emisión de NO , responsable de la drástica disminución de O_3 por la noche en zonas urbanas.

RELACIÓN ENTRE METEOROLOGÍA Y CONTAMINACIÓN

- El ozono es un contaminante fotoquímico en cuya formación interviene la presencia de óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles y radiación solar. El NO que reacciona con radicales peróxidos, resultado de la oxidación de los Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC), para dar lugar a NO₂, a su vez en presencia de radiación solar el NO₂ libera un oxígeno que se forma con el O₂ para dar lugar a O₃. La concentración de O₃ depende a su vez de la intensidad de la radiación solar, de la convención atmosférica, la altura de la inversión térmica, de la concentración de óxidos de nitrógeno y de la relación entre VOC y óxidos de nitrógeno (WHO, 2005)

RELACIÓN ENTRE METEOROLOGÍA Y CONTAMINACIÓN

- En los últimos años se observa en Madrid una disminución de la concentración de contaminantes que no sigue la misma tendencia en el O_3 .
- Puede influir en ello el cambio de patrones meteorológicos que se están observando en verano, con una mayor frecuencia y adelanto de la llegada de las situaciones de dorsal térmica en detrimento de un anticiclón de las Azores con tendencia a debilitarse, que da lugar, según un estudio realizado en la España peninsular, da lugar a un aumento significativo de la temperatura de verano y a un adelanto al mes de junio de las altas temperaturas (en septiembre el incremento de temperaturas es mucho menos marcado) (Lomas y Torrijo, 2014).

RELACIÓN ENTRE METEOROLOGÍA Y CONTAMINACIÓN DE OZONO

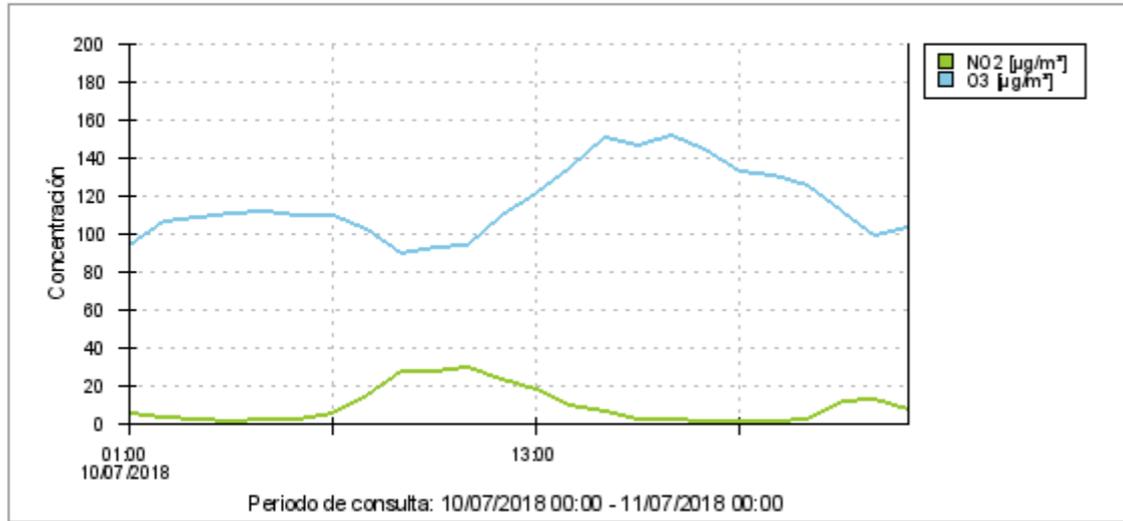
- El aumento de temperatura en verano que se observa incrementa las emisiones de VOCs de origen natural y artificial y la velocidad de las reacciones que dan lugar a la formación de O_3 (Velázquez de Castro, 1997). Todo ello puede ayudar a explicar el aumento de las concentraciones que se observan en Madrid en los últimos años, a pesar de la disminución de emisión de contaminantes.
- Podría también influir que, debido al tratamiento de los gases de escape diésel, se hubiera aumentado, ya desde años atrás, la proporción NO_2/NO en ambientes urbanos y con ello la de O_3 (hay que observar que, de acuerdo a Baumbach, 1996, la concentración de O_3 es directamente proporcional al cociente de concentraciones de NO_2 y NO).

RELACIÓN ENTRE METEOROLOGÍA Y CONTAMINACIÓN DE OZONO

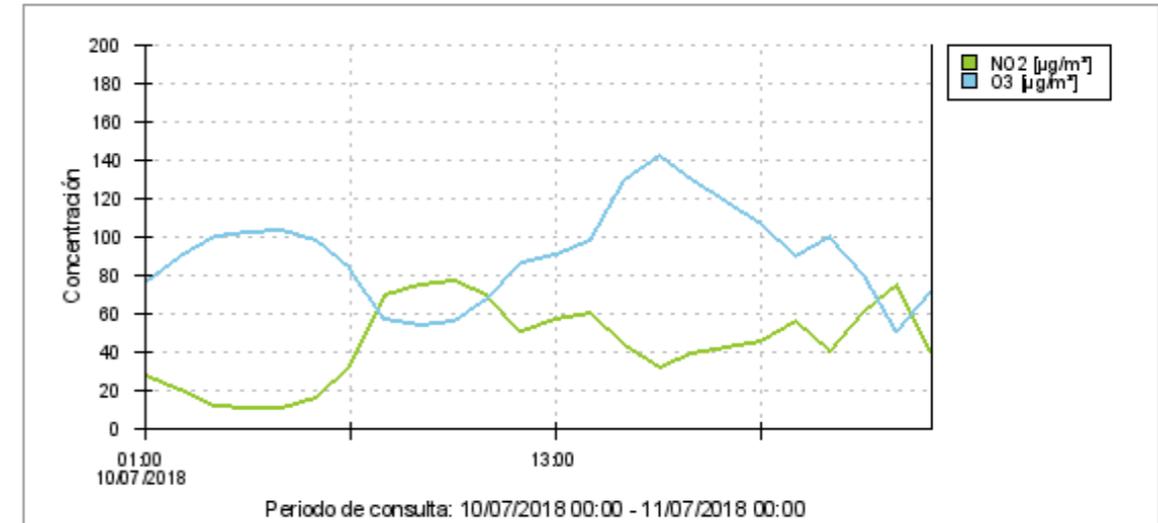
- Podría también preguntarse, si la producción de O_3 puede haberse visto afectada por cambios de emisiones de los vehículos que pudieran haber alterado las proporciones entre VOC y óxidos de nitrógeno. Tal como se ve el gráfico 4.9 del clásico libro de Jacobson *Atmospheric Pollution*. En determinadas condiciones de bajas concentraciones de gases reactivos orgánicos, reducir las emisiones de NO_x puede aumentar las concentraciones de O_3 . (Jacobson, 2002).
- También habría que tener en cuenta la influencia de la subida de niveles de O_3 a nivel global, que no acaba de ser muy bien entendida, y que está pasando de ser un contaminante local y regional a uno de carácter global (Royal Society, 2008)
- Otro posible efecto es que algunos aerosoles absorben radiación UV. Todo ello hace que se reduzca la radiación UV y el O_3 en aire contaminado (Jacobson, 2003). Cabría preguntarse si la reducción de la reducción de las partículas que se ha producido en los últimos años ha traído consigo un aumento de radiación UV que favoreciera mayor producción de O_3 .
- Muchos interrogantes que requieren una consulta y estudio mucho más detallado del peso de cada uno de los diferentes factores antes de sacar otras conclusiones..

¿VERANO VERSUS INVIERNO?

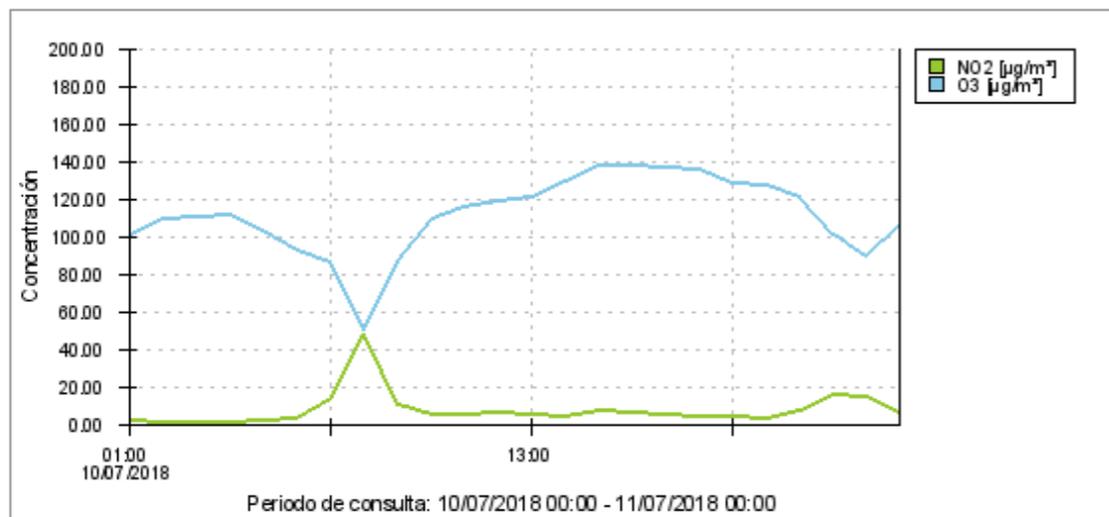
Representación gráfica de datos horarios de la estación de Casa de Campo



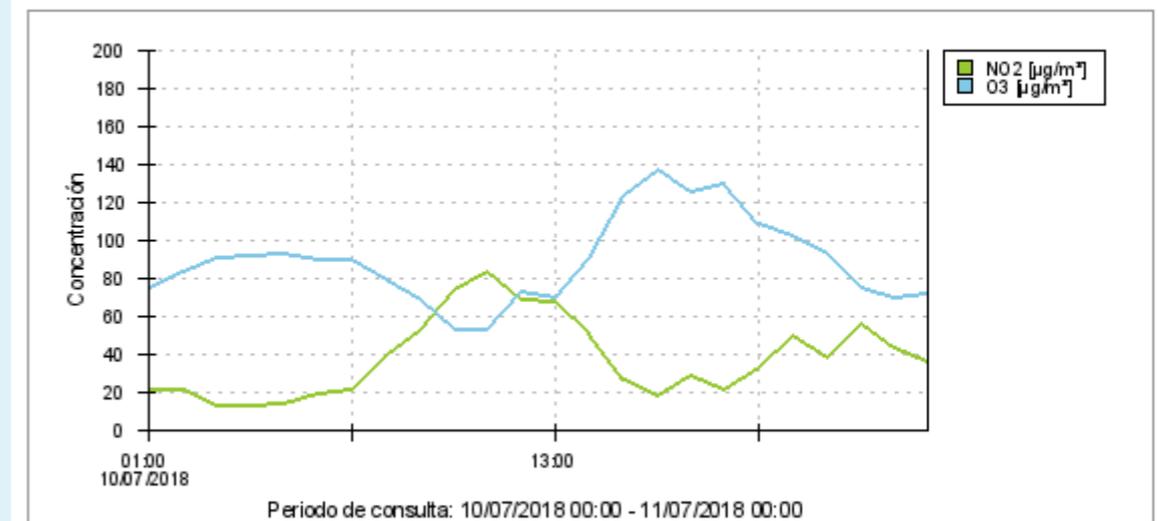
Representación gráfica de datos horarios de la estación de Plaza Elíptica



Representación gráfica de datos horarios de la estación de El Pardo

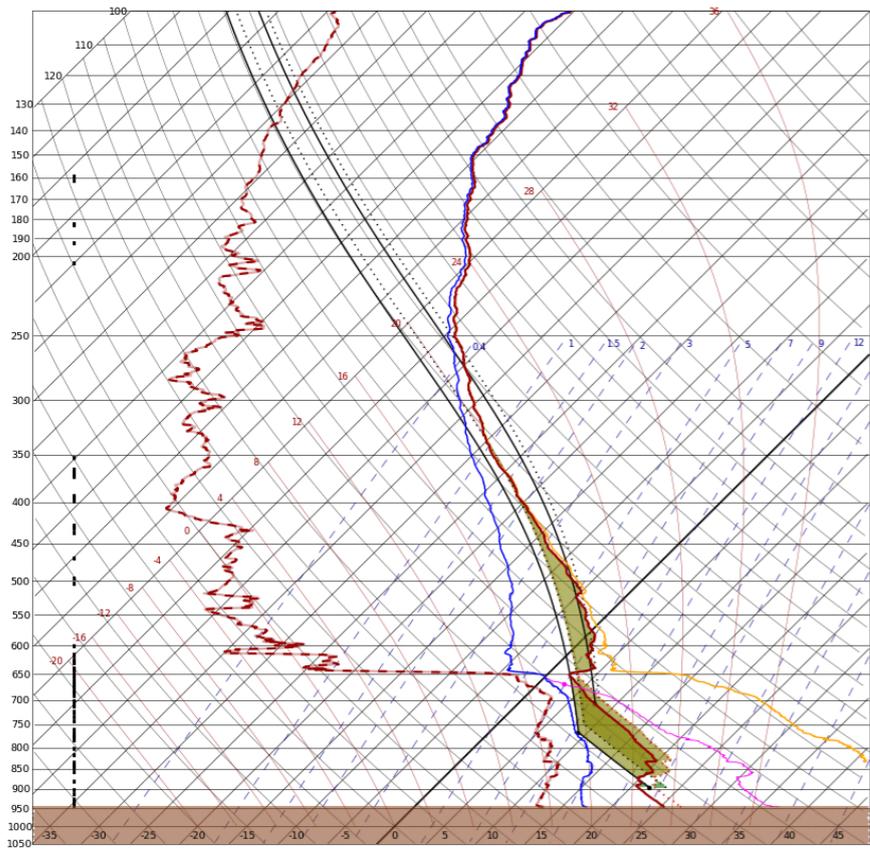


Representación gráfica de datos horarios de la estación de Plaza del Carmen



Fuente de datos Ayuntamiento de Madrid:
<http://www.mambiente.munimadrid.es/>

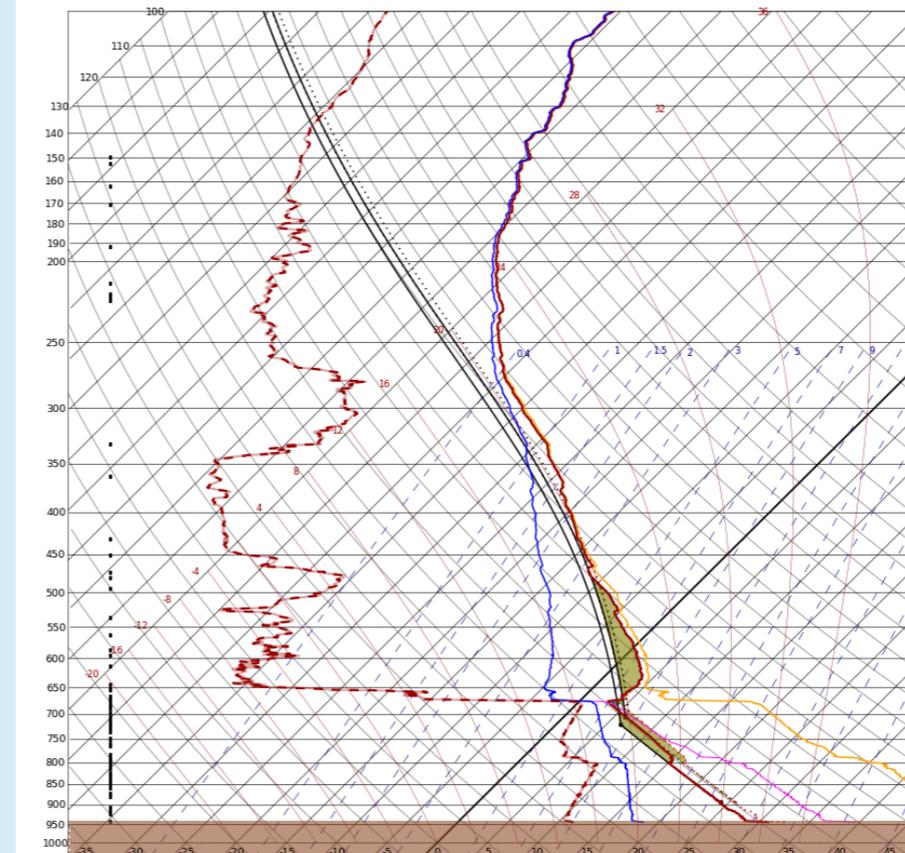
¿VERANO VERSUS INVIERNO?



08221 Madrid / Barajas
40°27' -3°34' Alt 609 m
10/07/2018 00 UTC - BUFR

Indices de estabilidad	
K	33.6
LIFT	2.9
LIFT7	1.6
SHOW	1.5
TT	44.6
ISOC	4794
ISOH	3729
COTANIE	3572
PW sfc-300	25.2
PW 700-500	3.7
PW 850-700	11.9
PW sfc-850	9.4
Temperatura virtual	
LIFT _v	2.0
LIFT7 _v	2.1

Análisis de burbuja 100 hPa	
TD	11.4
TH	31.3
MIX	9.5
THE	56.2
TCC	8.0
TNCA	9.1
TDIS	32.1
NE	650.4
NCL	654.3
NCC	708.8
NCA	767.3
CAPE3	0.0
CAPE	0.1
CIN	244.5
SBCAPE	0.3
SBCIN	284.7
Temperatura virtual	
NE _v	336.5
NCL _v	653.3
NCA _v	749.0
TNCA _v	8.8
NCC _v	696.0
TCC _v	7.7
TDIS _v	33.4
CAPE3 _v	0.0
CAPE _v	4.2
CIN _v	255.1

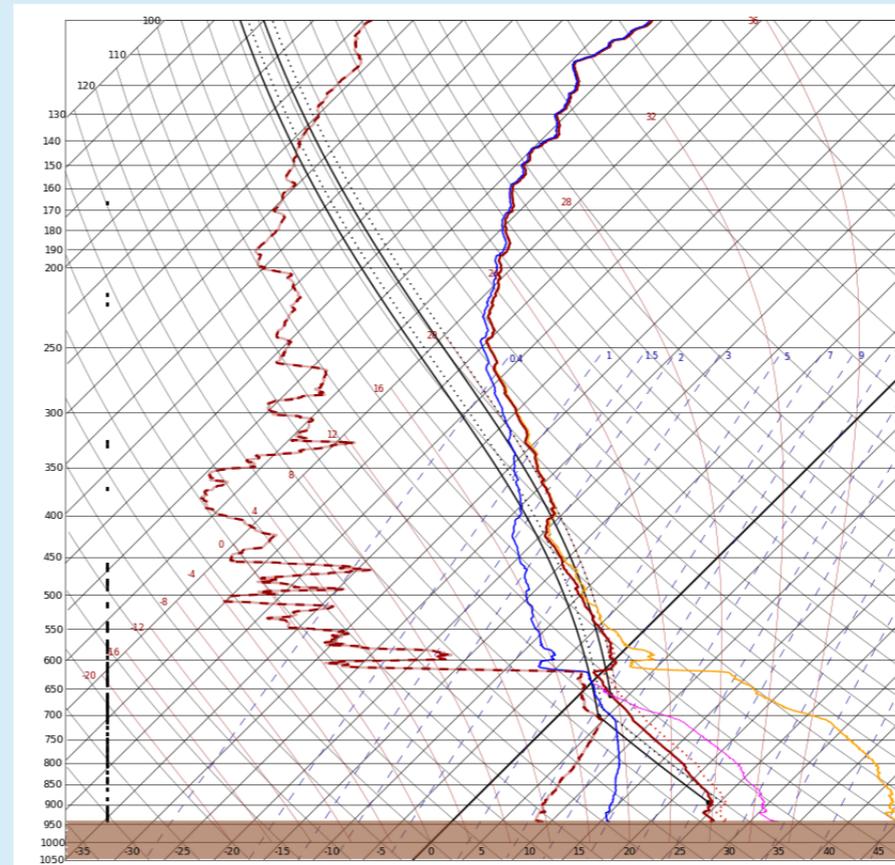


08221 Madrid / Barajas
40°27' -3°34' Alt 609 m
10/07/2018 12 UTC - BUFR

Indices de estabilidad	
K	32.3
LIFT	1.8
LIFT7	0.3
SHOW	1.9
TT	44.9
ISOC	4683
ISOH	3484
COTANIE	3411
PW sfc-300	21.5
PW 700-500	2.3
PW 850-700	10.7
PW sfc-850	8.3
Temperatura virtual	
LIFT _v	1.1
LIFT7 _v	0.7

Análisis de burbuja 100 hPa	
TD	9.7
TH	33.8
MIX	8.4
THE	55.7
TCC	6.2
TNCA	6.5
TDIS	30.5
NE	673.6
NCL	695.0
NCC	705.7
NCA	721.4
CAPE3	4.4
CAPE	4.4
CIN	45.7
SBCAPE	44.7
SBCIN	74.4
Temperatura virtual	
NE _v	472.0
NCL _v	687.5
NCA _v	705.8
TNCA _v	6.1
NCC _v	695.3
TCC _v	5.9
TDIS _v	31.5
CAPE3 _v	2.0
CAPE _v	2.0
CIN _v	37.3

Gráficos cortesía del Area de Técnicas de Aplicación a la Predicción de AEMET.
Intranet corporativo: <http://www0.aemet.es>

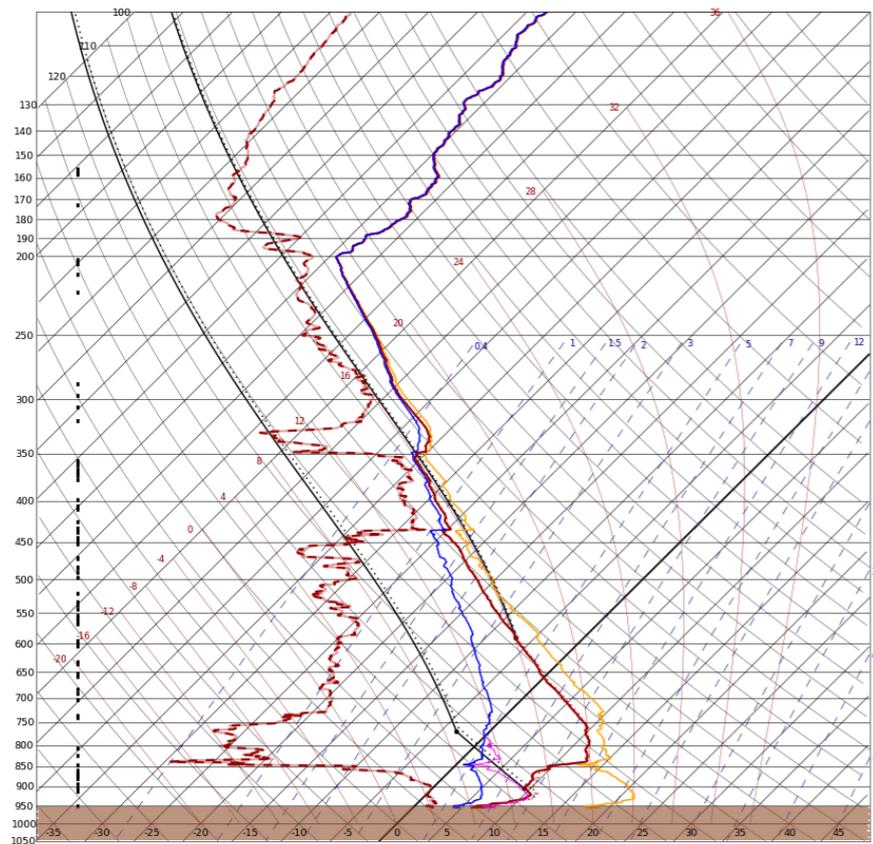


08221 Madrid / Barajas
40°27' -3°34' Alt 609 m
11/07/2018 00 UTC - BUFR

Indices de estabilidad	
K	34.6
LIFT	1.5
LIFT7	3.2
SHOW	0.6
TT	48.3
ISOC	4419
ISOH	3917
COTANIE	3748
PW sfc-300	24.8
PW 700-500	5.8
PW 850-700	11.7
PW sfc-850	7.0
Temperatura virtual	
LIFT _v	0.8
LIFT7 _v	3.3

Análisis de burbuja 100 hPa	
TD	7.6
TH	33.5
MIX	7.3
THE	52.5
TCC	3.3
TNCA	4.1
TDIS	32.6
NE	
NCL	
NCC	663.0
NCA	702.0
CAPE3	
CAPE	
CIN	
SBCAPE	
SBCIN	
Temperatura virtual	
NE _v	
NCL _v	
NCA _v	689.0
TNCA _v	3.8
NCC _v	649.0
TCC _v	3.0
TDIS _v	34.1
CAPE3 _v	
CAPE _v	
CIN _v	

¿VERANO VERSUS INVIERNO?



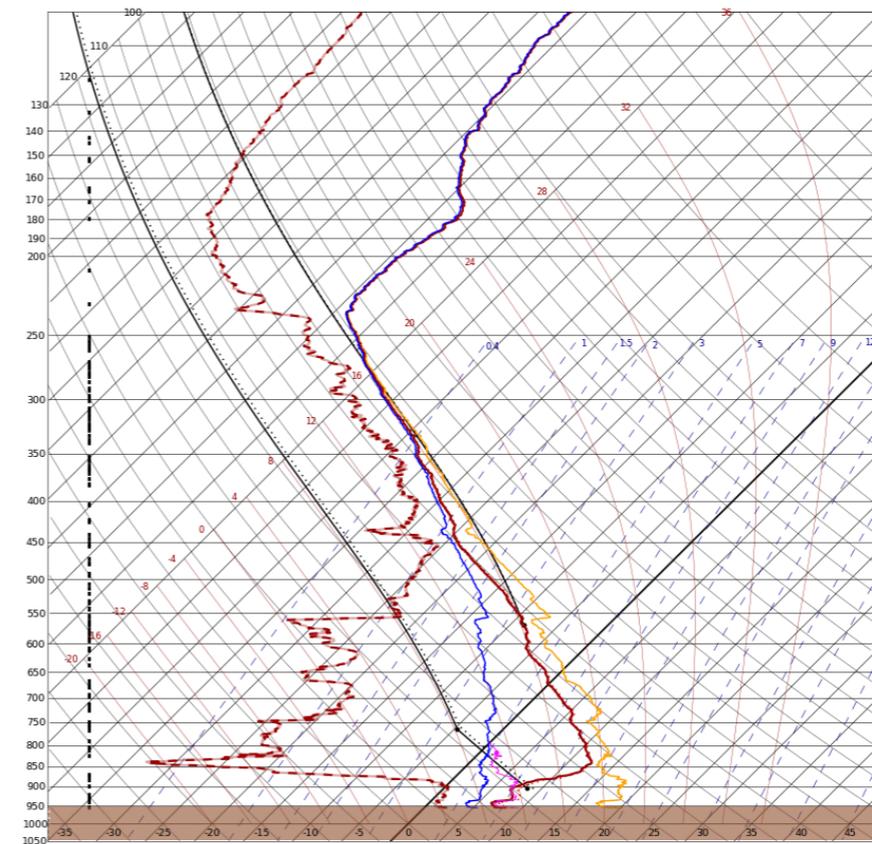
08221 Madrid / Barajas
40°27' -3°34' Alt 609 m
26/12/2018 00 UTC - BUFR

16242	4%
15886	5%
15529	4%
15177	4%
14818	5%
14460	4%
14098	4%
13735	6%
13367	5%
13000	7%
12635	9%
12268	28%
11905	62%
11536	53%
11166	53%
10787	50%
10403	47%
10015	68%
9622	68%
9226	59%
8817	15%
8410	60%
7998	85%
7580	70%
7155	76%
6729	37%
6295	28%
5850	34%
5402	23%
4951	27%
4493	22%
4030	19%
3556	18%
3080	15%
2596	7%
2106	6%
1611	23%
1121	51%
632	75%

Indices de estabilidad
K -7.0
LIFT 10.5
LIFT7 12.2
SHOW 10.2
TT 33.3
ISOC 3671
ISOH 2308
COTANIE 2098
PW sfc-300 8.1
PW 700-500 1.8
PW 850-700 1.3
PW sfc-850 4.1
Temperatura virtual
LIFT_v 10.1
LIFT7_v 12.0

Analisis de burbuja 100 hPa
TD -1.1
TH 17.5
MIX 3.9
THE 27.6
TCC -6.8
TNCA -3.3
TDIS 32.3
NE
NCL
NCC 591.1
NCA 770.3
CAPE3
CAPE
CIN
SBCAPE
SBCIN
Temperatura virtual
NE_v
NCL_v 762.6
NCA_v 4493.22
TNCA_v -3.5
NCC_v 589.1
TCC_v -6.9
TDIS_v 32.6

Te
Tv
T
Td
T_w
Td_w



08221 Madrid / Barajas
40°27' -3°34' Alt 609 m
26/12/2018 12 UTC - BUFR

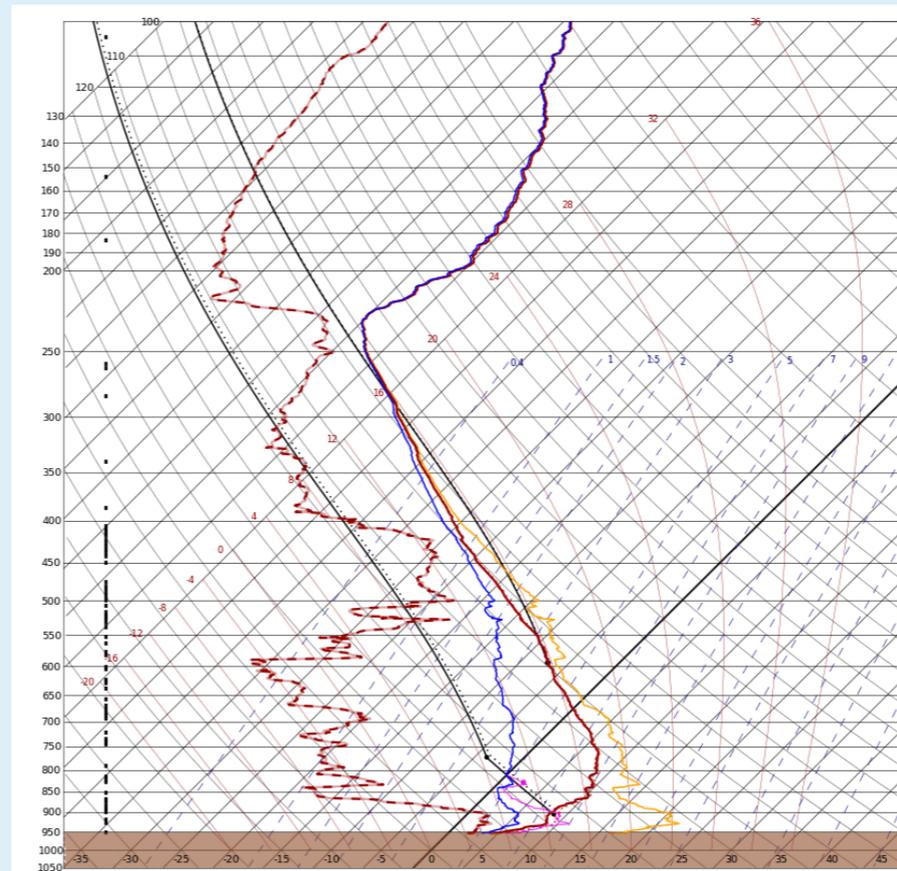
16227	4%
15866	4%
15506	4%
15146	4%
14785	4%
14428	4%
14066	4%
13701	3%
13337	3%
12967	3%
12594	3%
12223	6%
11851	10%
11480	16%
11109	21%
10735	57%
10354	51%
9974	74%
9588	55%
9194	61%
8790	66%
8386	77%
7974	73%
7554	73%
7136	70%
6707	67%
6276	64%
5838	50%
5389	36%
4935	13%
4477	19%
4014	21%
3546	19%
3069	17%
2585	10%
2099	8%
1608	5%
1119	62%
632	66%

Indices de estabilidad
K -18.3
LIFT 12.1
LIFT7 11.9
SHOW 11.3
TT 19.9
ISOC 3509
ISOH 2143
COTANIE 1935
PW sfc-300 8.0
PW 700-500 1.9
PW 850-700 1.3
PW sfc-850 3.7
Temperatura virtual
LIFT_v 11.8
LIFT7_v 11.8

Analisis de burbuja 100 hPa
TD -2.4
TH 16.7
MIX 3.5
THE 25.8
TCC -8.5
TNCA -4.7
TDIS 33.6
NE
NCL
NCC 570.2
NCA 764.9
CAPE3
CAPE
CIN
SBCAPE
SBCIN
Temperatura virtual
NE_v
NCL_v 758.2
NCA_v 4477.19
TNCA_v -4.8
NCC_v 569.6
TCC_v -8.5
TDIS_v 33.7

Te
Tv
T
Td
T_w
Td_w

Gráficos cortesía del Area de Técnicas de Aplicación a la Predicción de AEMET.
Intranet corporativo: <http://www0.aemet.es>



08221 Madrid / Barajas
40°27' -3°34' Alt 609 m
27/12/2018 00 UTC - BUFR

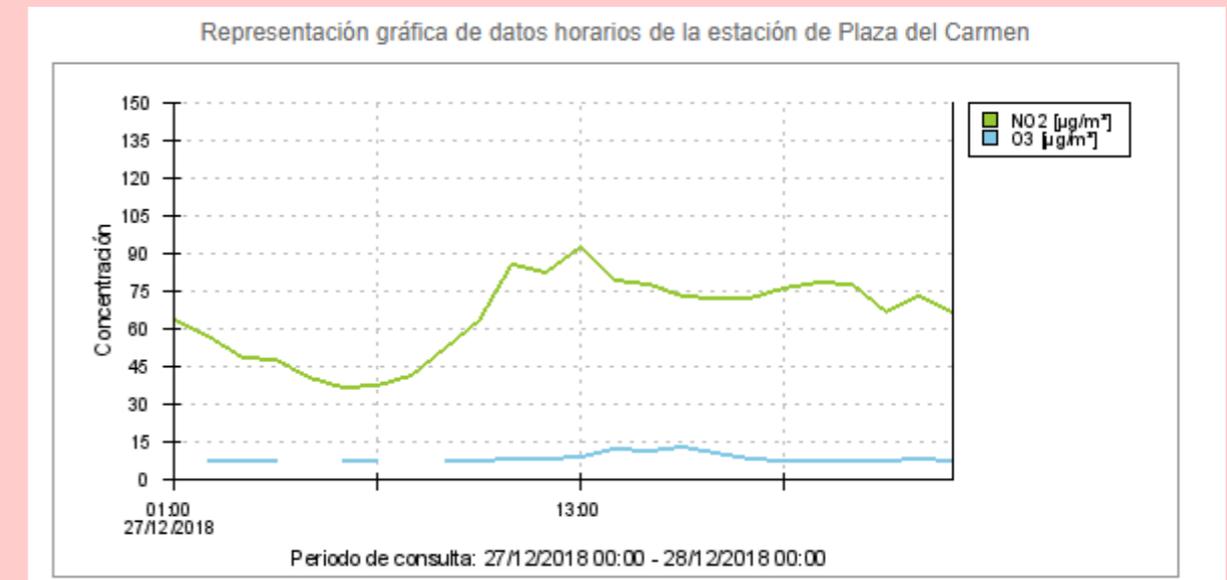
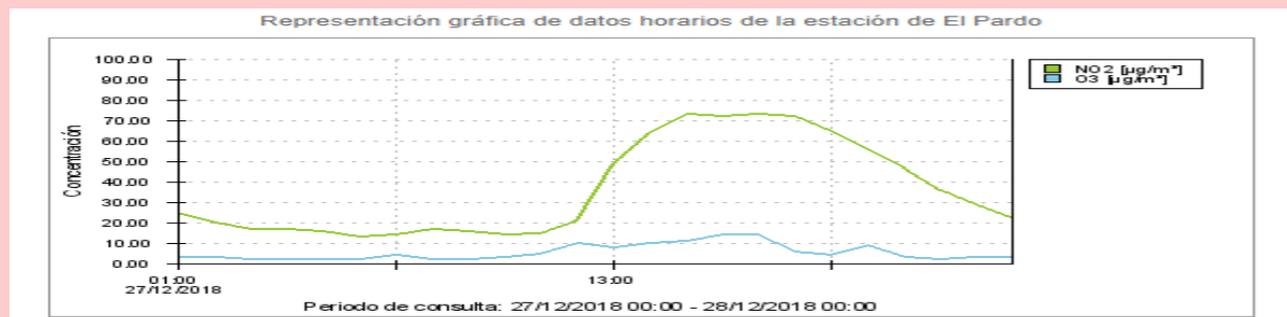
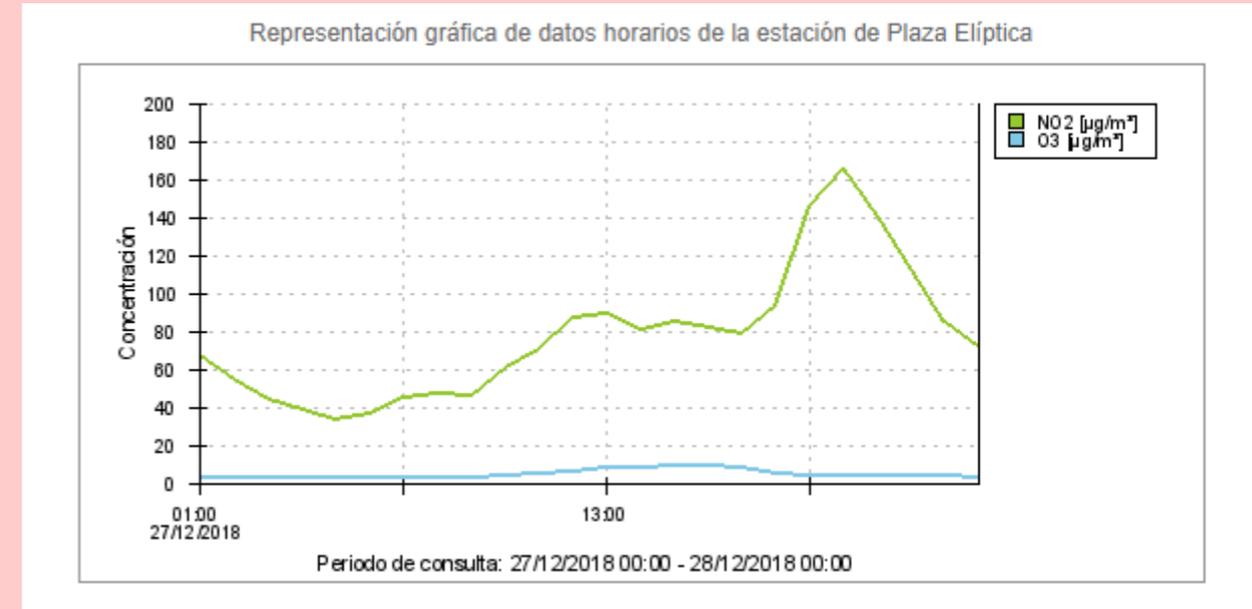
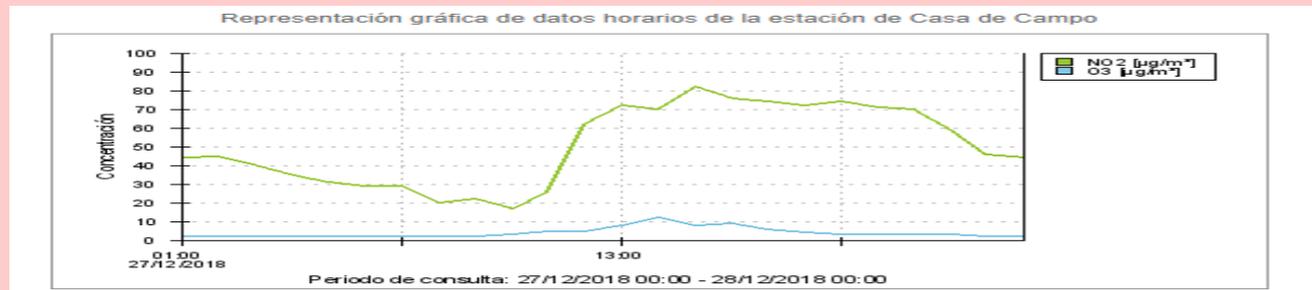
16245	5%
15886	5%
15532	3%
15173	3%
14813	3%
14448	2%
14082	2%
13710	2%
13337	2%
12964	2%
12587	2%
12207	3%
11832	6%
11462	8%
11092	63%
10720	53%
10341	48%
9958	37%
9571	26%
9176	22%
8779	23%
8375	26%
7967	25%
7552	27%
7130	60%
6701	71%
6268	51%
5827	59%
5383	47%
4933	17%
4476	8%
4013	12%
3543	10%
3066	15%
2586	12%
2101	13%
1610	13%
1119	56%
632	89%

Indices de estabilidad
K -13.6
LIFT 10.8
LIFT7 11.1
SHOW 11.6
TT 26.8
ISOC 3465
ISOH 1961
COTANIE 1801
PW sfc-300 7.8
PW 700-500 1.3
PW 850-700 1.7
PW sfc-850 3.9
Temperatura virtual
LIFT_v 10.5
LIFT7_v 10.9

Analisis de burbuja 100 hPa
TD 1.6
TH 16.8
MIX 3.8
THE 26.5
TCC -7.2
TNCA -3.7
TDIS 31.4
NE
NCL
NCC 593.7
NCA 774.0
CAPE3
CAPE
CIN
SBCAPE
SBCIN
Temperatura virtual
NE_v
NCL_v 766.3
NCA_v 4476.8
TNCA_v -3.8
NCC_v 593.1
TCC_v -7.2
TDIS_v 31.5

Te
Tv
T
Td
T_w
Td_w

¿VERANO VERSUS INVIERNO? CERCA O LEJOS DEL TRÁFICO



Fuente de datos Ayuntamiento de Madrid:
<http://www.mambiente.munimadrid.es/>

¿CÓMO ES EL APOYO DE AEMET PARA LA CAMPAÑA DE CONTAMINACIÓN DE NO₂? BOLETÍN AUTOMÁTICO

- Para el apoyo a la campaña de contaminación y basándose en que la situación sea o no anticiclónica y en el perfil del sondeo, se elabora un producto automático que califica la situación meteorológica para el día en cuestión, así como para los próximos dos días de favorable, desfavorable o muy desfavorable.
- Para el análisis y predicción de las condiciones de ventilación atmosférica, de forma automática, en Madrid se utiliza la pasada de las 12 del modelo ECMWF HRES 0.1° y ENS 0.25° en el punto de *grid* más cercano al aeropuerto de Madrid-Barajas. Se utilizan 8 alcances trihorarios cada día de pronóstico, de 00 a 21h, y se proporcionan datos de inversión, ventilación, precipitación y viento.
- Dicho producto automático, elaborado de acuerdo a lo comentado anteriormente, se envía de madrugada a un predictor del Centro Nacional de Predicción quien utilizando dicho producto, su valoración como experto y otras herramientas disponibles corrige la predicción automática y la manda a los responsables del ayuntamiento.

¿CÓMO ES EL APOYO DE AEMET PARA LA CAMPAÑA DE CONTAMINACIÓN DE NO₂? : BOLETÍN AUTOMÁTICO



ANÁLISIS Y PREDICCIÓN DE CONDICIONES DE VENTILACIÓN ATMOSFÉRICA EN MADRID

Día de elaboración: 6-1-2019

Situación ayer	
Situación sinóptica	Inversión de niveles bajos persistente e intensa
Anticiclónica	Sí

Predicción				
Situación sinóptica	Inversión de niveles bajos persistente e intensa	Probabilidad de precipitación %	Viento	Ventilación
6-1-2019				
Anticiclónica	Sí	0	Flojo N	Desfavorable
7-1-2019				
Anticiclónica	No	0	Flojo N	Favorable
8-1-2019				
Anticiclónica	Sí	0	Flojo NE	Desfavorable

Esta información se actualiza diariamente a primera hora de la mañana.

© AEMET. Autorizado el uso de la información y su reproducción citando AEMET como autora de la misma.

Modelo de boletín que se envía al Ayuntamiento de Madrid. Esta elaborado diariamente, de madrugada, por un predictor del Centro Nacional De Predicción.

EL BOLETIN AUTOMÁTICO: COMO FUNCIONA

- Se considera que hay inversión intensa y profunda si:
 - *Espesor > 200m*
 - *Gradiente vertical > 2°C*
 - *Base inversión < 1000m*
 - *Gradiente vertical > 2°C*
- Además para escenario no favorable:
 - *Viento medio en la capa de inversión inferior a 15 km/h.*
- Considerando el número de alcances sin ventilación en un día:
 - *Ventilación favorable si no hay ventilación en menos de 4 alcances*
 - *Desfavorable entre 4 y 6 alcances*
 - *Muy desfavorable en más de 6 (persistente)*

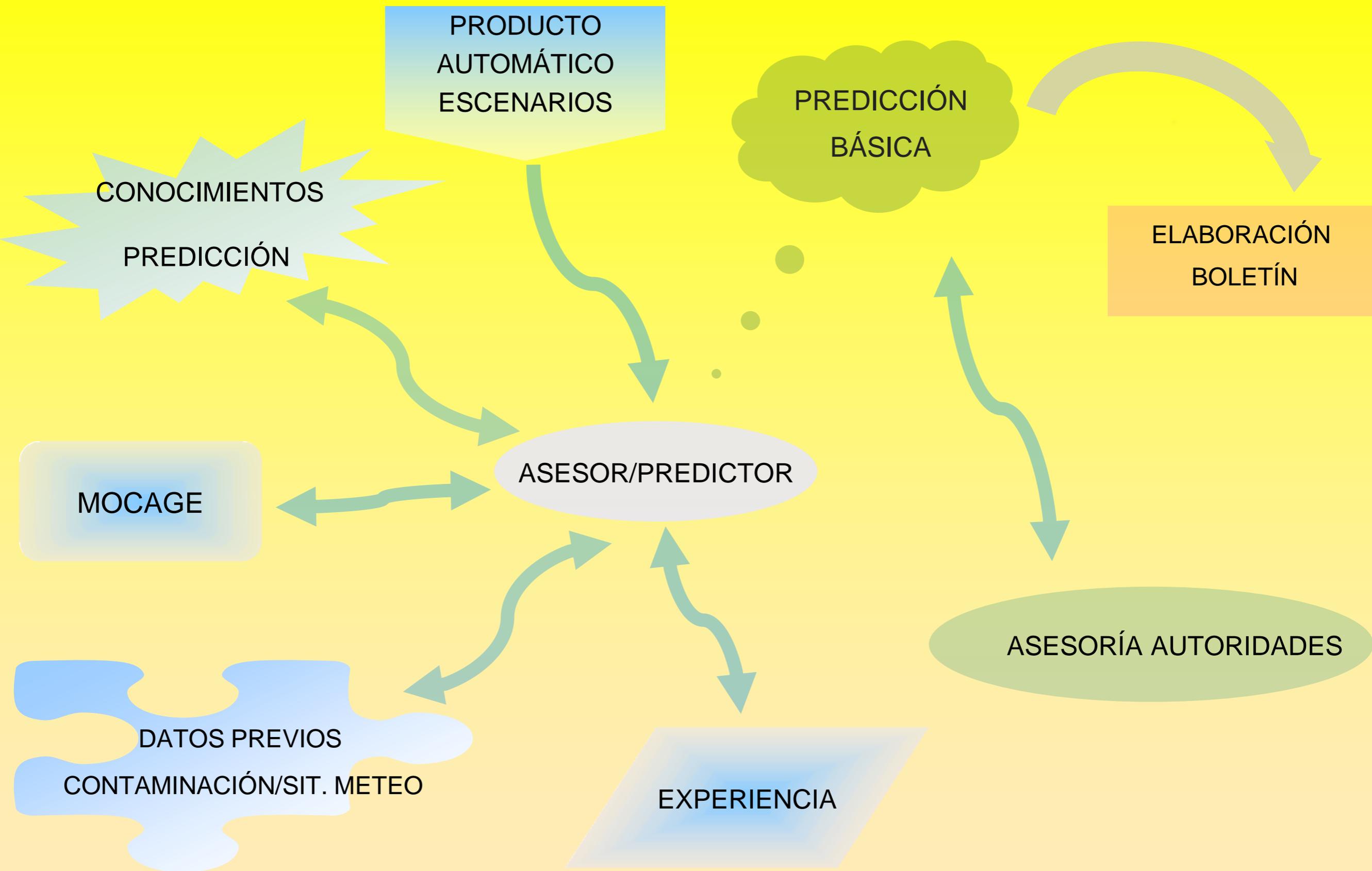
HERRAMIENTAS DE APOYO

*A la hora de hacer la asesoría se cuenta entre las herramientas adicionales de apoyo está el modelo MOCAGE (*Modélisation De La Chimie Atmosphérique Grande Echelle*) es un modelo de transporte químico atmosférico tridimensional desarrollado por Météo-France, cuyo uso ha sido cedido AEMET. MOCAGE hace una previsión de concentración de contaminantes, entre ellos de NO₂, NO, SO₂, CO, O₃, PM₁₀ y PM_{2,5}. Aunque MOCAGE es un modelo de una enorme complejidad y lleva detrás muchas horas de investigación por parte de expertos de primera línea, todavía no es posible realizar predicciones a nivel local (tiene un resolución de 10 km) y mucho menos con la precisión requerida por la legislación (AEMET, 2019). Sin embargo, es una herramienta útil para valorar las tendencias. En cualquier caso, se mantiene una constante labor de investigación, labor que, a buen seguro, traerá una mejora de la resolución espacial y de la precisión de las predicciones, incluyendo también el desarrollo un postproceso estadístico de los resultados para adecuarlos a las mediciones reales.

HERRAMIENTAS DE APOYO

***Además de ello desde el Ayuntamiento de Madrid, a través de la UNED, con el apoyo de la Delegación de AEMET en Madrid, está desarrollando un sistema basado en redes neuronales para la predicción de episodios de contaminación, que se espera pueda aportar valor añadido y servir como una herramienta más en la toma de decisiones, en un problema tan complejo.**

***Aun contando con todo lo anterior, desgraciadamente el estado actual de las herramientas de predicción disponibles no permite hacer estimaciones cuantitativas estación por estación, algo que se complica más teniendo en cuenta la complejidad de hacer predicciones para la legislación actual.**



EVALUACIÓN DEL APOYO METEOROLÓGICO

- Los análisis realizados demuestran que el producto de predicción que envía AEMET tiene una capacidad predictiva que es estadísticamente significativa
- La capacidad predictiva del producto que realiza el predictor es mejor que la del producto automático
- La persistencia de cuatro días de una situación de escenario desfavorable a la contaminación es mucho mejor predictor que la predicción del día anterior.

EVALUACIÓN DEL APOYO METEOROLÓGICO

- Cuando se hacen predicciones para el mismo día. La persistencia de altos valores de concentración de contaminantes es un excelente predictor de lo que puede ocurrir al día siguiente, con una capacidad predictiva similar a la predicción. La combinación de la predicción de escenario y persistencia lo mejora pero sólo ligeramente.
- Cuando se hace la predicción con varios días de antelación, el valor añadido que aporta la predicción no es sustituible por ningún otro predictor., Ya que la persistencia no esta disponible

EVALUACIÓN DEL APOYO METEOROLÓGICO

*Aparte de la información contenida en los boletines periódicos, el apoyo y asesoría de profesionales de la meteorología es fundamental en la toma de decisiones, cuando la situación es adversa. La constreñida y limitada información que contiene un boletín puede ser mu amplida por el consejo de un profesional, que es capaz de transmitir informaciones adicionales como la incertidumbre o la confianza en el pronóstico, la existencia de una configuración a caballo entre dos tipos diferentes por estar poco definida, la llegada de una situación de inestabilidad o viento que acabará con seguridad con la posibilidad de escenarios de contaminación o todo lo contrario, la asesoría en la evolución a medio plazo, la consistencia de las predicciones a varios días, etc.

EVALUACIÓN DEL APOYO METEOROLÓGICO

*Tras el análisis realizado se observa como posible mejora del boletín en el futuro habría que estudiar también la introducción de un cuarto escenario que se añadiría a los ya existentes de favorable, desfavorable y muy desfavorable, el escenario de muy favorable. Si se dispusiera de dicho escenario se podría jugar con eliminar en la posibilidad de desarrollo de condiciones de contaminación en un día muy favorable, eliminado así la incertidumbre que supone que en algunos escenarios favorables poco definidos, en los que la predicción además puede ser incierta, se produzcan marcados picos de contaminación. Evidentemente que cuando hay una asesoría personalizada en las circunstancias más adversas para la polución estas informaciones se dan, pero no estaría de más incluirlas en el boletín que se emite periódicamente.

EVALUACIÓN DEL APOYO METEOROLÓGICO

*Otra posible mejora a estudiar sería incorporar en los boletines los comentarios que el predictor estiém oportunos, así como los escenarios recogidos por el EPS de corto plazo en los cálculos. De esta manera se podría incluir las incertidumbres en la predicción, algo que en la asesoría personalizada se suele aportar por su gran interés.

*Por supuesto que la mejoras que se vayan intoduciendo en MOCAGE y la posibilisdad de disponer de un sistema de predicción basado en resdes neuronales serán también unas excelentes herramientas de apoyo a la toma de decisiones, aunque, como siempre, el ciriterio de un comité de expertos deberá ser quein las valore y aplique

¡MUCHAS GRACIAS POR LA
ATENCIÓN!

IMÁGENES

Imagen hombres primitivos haciendo fuego tomada por McCord, Natham en el National Museum of Mongolian History en Ulán Bator., <http://www.defenseimagery.mil> VIRIN: 090812-M-7376M-073

(consultado en marzo de 2019) . Imagen obtenida via Wikipedia:
https://es.wikipedia.org/wiki/dominio_del_fuego_por_los_primeros_humanos)

Imagen de Séneca:

https://es.wikipedia.org/wiki/s%C3%A9neca#/media/file:0_portrait_de_s%C3%A9n%C3%A8que_d%27apr%C3%A8s_l%27antique_-_lucas_vorsterman.jpg (consultado en marzo de 2019)

Imagen del quijote y los cabreros:

https://es.wikipedia.org/wiki/don_quijote_de_la_mancha#/media/file:202_063_quijote_cap_24.jpg (consultado en marzo de 2019)

Imagen de la Placa de la Fuente de San Isidro con la cita de Ciceron:

<http://www.archimadrid.es/sanisidro/santos.htm> (consultado en marzo de 2019)

Imágenes y citas tomadas del libro de Evelin (1661), tomadas de :

<https://en.Wikipedia.Org/wiki/fumifugium> (consultado en marzo de 2019)

Imagen de Oliver Twist:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CC_No_23_Oliver_Twist.jpg (consultado en marzo de 2019)

IMÁGENES

Imagen de cuadro de Monet del smog en Londres:
pintura de Claude Manet sobre el smog de Londres:

https://simple.wikipedia.org/wiki/smog#/media/file:claudes_monet_015.jpg

Imagen comparativa de la Materia Particulada: <https://www.epa.gov/pollution/particulate-matter-pm-basics>

Imagen de polvo sobre la península. cortesía de nasa, imagen del satélite Aqua con Modis (21/02/2016, 14:00utc): https://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/87000/87566/iberianpeninsula_amo_2016052_lrg.jpg

Imagen de protocolo de Contaminación del Ayuntamiento de Madrid (2018). Cortesía del Ayuntamiento de Madrid:
http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/export/sites/default/calibre/imagenes/protocolo_web_infografia.jpg (consultado en marzo de 2019)

IMÁGENES

Gráficos de estabilidad del aire tomados de: Traveria, M., Torrijo, R., Palomares, M. (2013). *Meteorología Aeronáutica. Una aproximación didáctica*.

<https://es.scribd.com/doc/175941230/Meteorologia-Aeronautica-Una-aproximacion-didactica>

Portada del libro de Juan Bautista Juanini disponible a través de la Universidad Complutense de Madrid:

http://alfama.sim.ucm.es/dioscorides/consulta_libro.asp?ref=x532657631&idioma=

REFERENCIAS

AEMET. Web interna. Gráficos de sondeos cortesía del area de técnicas de aplicación a la predicción de aemet. intranet corporativo: <http://www0.aemet.es> (consultada en marzo de 2019)

Ayuntamiento de Madrid (2019). Gráfico de concentraciones de contaminantes en diversas estaciones, tomadas de su web: <http://www.mambiente.munimadrid.es/> (consultada en marzo de 2019)

Baumbach, G. (1996), Air Quality Control, Springer, pp., 138, 355,356,141, 142, 113-116.

Bhagwan D. Garg, Steven H. Cadle. Patricia A. Mulawa. Peter J. Groblicki (2000). *Brake wear particulate matter emissions*. Environmental science and technology 34(21).

Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/231277179_Brake_Wear_Part particulate_Matter_Emissions

REFERENCIAS

AEMET, web externa: http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/calidad_del_aire/ayuda
(consultada en marzo de 2019)

Borsos, E., Makra, L., Bézci, R., Vtanyi, B., Szentpéteri, M. (2003). *Anthropogenic Air Pollution in Ancient Times*. Acta Climatológico en Chronologica, Universitatis Szegediensis, Tom, 36-37, 5-15.

Boldo, Elena (2016). La contaminación del aire. Ed. Catarata e Instituto de Salud Carlos III.

Cervantes, M. (1615). *Segunda parte del Ingenioso Don Quijote de la Mancha*, Cap. XI.

Gomez, C.A. (2007). *Las fiebres tercianas*.

<https://www.elmundo.com/portal/pagina.general.impresion.php?idx=45845> (consultada en marzo de 2019)

REFERENCIAS

Dora, c., Hosking, j., Mudu, p., Ruth, e. (2011) . *Transporte urbano y salud*. Deutsche gesellschaft für internationale zusammenarbeit (GIZ) gmbhp. Traducción realizada por Carlos A. Moreno, revisada por Carlos Felipe Pardo, p. 2, 4,

Degraeuwe, b., Thunis, P., Clappier, A., Weiss, M., Lefebvre, W., Janssen, S., Vranckx, S, (2016). *Impact of passenger car NO_x emissions and NO₂ fractions on urban NO₂ pollution scenario analysis for the city of Antwerp, Belgium*. Atmospheric Environment, Vol. 126, pp. 218-224, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.11.042>

difundir.org (2017): <https://difundir.org/2017/03/01/la-terrible-vida-de-los-ninos-deshollinadores-en-la-era-victoriana> (consultado en marzo de 2019)

REFERENCIAS

European Enviromental Agency (2019). Air Quality Standars.
<https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-standards> (consultado en marzo de 2019)

Querol, X. (2018)

Evelin (1661), imágenes y citas tomadas de: <https://en.Wikipedia.Org/wiki/fumifugium>
(consultado en marzo de 2019)

Instituto Nacional del Cáncer de EE.UU. <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/causas-prevencion/riesgo/sustancias/hollin> (consultado en marzo de 2019)

Jacobson, M.Z. (2002). “Atmospheric Pollution”. Cambridge University Press, p. 101, 202, 204, 205.

Jorquera González, H., Rizzi Campanella, L.I. (2015) , *Introducción a la Contaminación Atmosférica*, Santiago de Chile, Ediciones Universidad Católica de Chile, p. 143, 202.

REFERENCIAS

Hipócrates (S. V a.c.) . Sobre los aires, aguas y lugares.7, 24. Traducción de J. A. López Férez. UNED, 1992. Cita obtenida de Nájera, J.A., González, A., Baratas, A. (2009). *Guía didáctica de la exposición Malaria*. Biblioteca Nacional de España, p. 8.
<http://www.bne.es/es/Micrositios/Guias/MalariaGuiaDidactica/resources/docs/MalariaGuiaDidactica.pdf>

Juanini, J. B. (1675) *Discurso phisico, y polilico [sic], que demuestra los movimientos que produce la fermentación, y materias nitrosas en los cuerpos sublunares, y las causas que perturban las benignas, y saludables influencias ... desta villa de Madrid: en la segunda parte se pone un methodo preservativo de los malos vapores, y exhalaciones ... de las calles de madrid descrivese tambien la calidad, y modo de hacer del caphe, y del the ... y del modo que se prepara el vino de la China-China ... para las calenturas, tercianas, y quartanas*. Cervantes Virtual. <http://www.cervantesvirtual.com/obra/discurso-phisico-y-polilico-sic-que-demuestra-los-movimientos-que-produce-la-fermentacion-y-materias-nitrosas-en-los-cuerpos-sublunares-y-las-causas-que-perturban-las-benignas-y-saludables-influencias-desta-villa-de-madrid-en-la-segunda-parte-se-pone-un-m>

Keuken, M., Sanderson, E., Van Aalst, J., Borcken, J., Schneider, J. (2005). *Health effects of transported air pollution, Cap. 2. Contribution of traffic to levels of ambient air pollution in Europe*. Editores: Krzyanowsky, M., Kuna-Dibbert, B., Schneider, J., WHO, p. 53. Disponible en: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/74715/E86650.pdf

REFERENCIAS

- Lomas, A., Torrijo, R. (2014). *Estudio sobre la evolución de la temperatura en verano en varios observatorios españoles y su relación con cambios en las circulación general atmosférica.* XXXIII Jornadas Científicas de la AME. Disponible en: http://www.ame-web.org/images/stories/Congresos/33-Oviedo/TabajosCompletoJornadas/7.Variabilidad_y_CC/Oral_LomasGonzalez.pdf
- Mcdonald, B., De Gouw, J., Gilman, J., Jathar, S.H., Akherati, A., Christopher D. Cappa, C.D., Jimenez, J.L., Lee-taylor, J., Hayes, P.L., Mckeen, S.A., Cui, Y.Y., Kim, S., Gentner, D.R., Isaacman-vanwertz, G., Goldstein., A.H., Harley, R.A., . Frost, G.J., Roberts, J.M., Ryerson, T.B., Trainer, M. (2018), *Volatile Chemical Products Emerging As Largest Petrochemical Source Of Urban Organic Emissions.* *Science* 16 feb 2018: vol. 359, issue 6377, pp. 760-764. Disponible en: <http://science.sciencemag.org/content/359/6377/760>
- Metoffice: <https://www.metoffice.gov.uk/weather/learn-about/weather/case-studies/great-smog> (consultada en marzo de 2019)
- National Research Council. 2010. *Global Sources Of Local Pollution: An Assessment Of Long-range Transport Of Key Air Pollutants To And From The United States.* Washington, DC: The National Academies Press. Disponible en: <https://doi.org/10.17226/12743> p. 67.

REFERENCIAS

- Nesbit M., Ferguson, M., Colsa, A., Ohlendorf, J., Hayes, C., Paquel, K., Schweitzer, J. (2016). “Comparative study on the differences between the eu and us legislation on emissions in the automotive sector”. Study for the EMI requested by the European Parliament. European Union. P. 9, 58-68 Disponible en: <http://www.europarl.europa.eu/supporting-analyses>
- Perez., C. ¿Es saludable la calidad el aire en el Metro de Madrid? .Asociación Ciclista Kalapie (<https://conbici.org/noticias/noticias-nacionales/es-saludable-la-calidad-del-aire-en-el-metro-de-madrid> consultado en marzo de 2018)
- Querol, X. (2018). *Contaminación y calidad del aire urbano. Unas primeras cuestiones de partida. La calidad del aire en las ciudades. Xavier Querol Coordinador. Fundación Naturgy, p. 19.*
- Quiñones de Benavente, L.(1657), *Entremes, y baile, del Inuierno, y el verano / [de venaunte]*. Publicación original: Antonio Ribero. Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes, 2013. Edición digital a partir de *flor de entremeses y saynetes de diferentes autores*, Madrid, [antonio del ribero], 1657, 93v-96r. Disponible en <http://www.cervantesvirtual.com/nd/ark:/59851/bmcx07v8> (consultado en marzo de 2019), p. 96.

REFERENCIAS

Royal Society (2009), Ground-level ozone in the 21st century: future trends, impacts and policy implications, p. IX. Disponible en:
https://royalsociety.org/~media/Royal_Society_Content/policy/publications/2008/7925.pdf

Steven R. , J. (1989). Hominid Use of Fire in the Lower and Middle Pleistocene: A Review of the Evidence». *Current Anthropology*. (University of Chicago Press) 30 (1): 1-26.
[doi:10.1086/203705](https://doi.org/10.1086/203705) . Cita obtenida de wikipedia:
https://es.wikipedia.org/wiki/dominio_del_fuego_por_los_primeros_humanos)

Thunis P., Degraeuwe, B., Peduzzi, E., Pisoni, E., Vignati, E., Wilson, J., Belis, C., Pernigotti, D. (2017) *Urban PM2.5 atlas - air quality in european cities (2017)*. Publication Office at the European Union., p. 14. Disponible en
<https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/urban-pm25-atlas-air-quality-european-cities>

Velázquez de Castro, F. (1997). Modelización y Análisis de las Concentraciones de Ozono Troposférico. Memoria para el Grado de Doctor en Ciencias Químicas. Director López Mateos, F. Universidad Complutense de Madrid. Disponible en:
<https://eprints.ucm.es/3158/1/T22336.pdf>, pp. 13 y 38,

REFERENCIAS

WHO (consultado en marzo de 2019) . Centro de Prensa: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health> (consultado en marzo de 2019)

WHO (2016), Ambient air pollution “A global assesment of exposure and burden of disease”, p. 15, p.10. Disponible en:
<https://apps.who.int/iris/handle/10665/250141>

WHO (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 e riesgos, pp. 9, 10. Disponible en:
https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06_02_spa.pdf?sequence=1

WHO(2015). Reducing global health risks through mitigation of short-lived climate pollutants. Scoping report for policy-makers, pp, 1, 3, 35. (traducción propia). Disponible en:
https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/189524/9789241565080_eng.pdf?sequence=1

REFERENCIAS

WHO(2018). Mapa de Global Ambient Air Pollution de la actualización de 2018 tomado a partir de: <http://maps.who.int/airpollution/> (web consultada en marzo de 2019)

WHO(2018). Datos del gráfico de PM2.5 por ciudades tomados de: <https://www.who.int/airpollution/data/cities/en/> (web consultada en marzo de 2019)

WHO - Regional Office For Europe (2000) Air quality guidelines for Europe, 2nd edition. European Series, no. 91. Copenhagen. Disponible en: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf

WHO - Regional Office For Europe (2004) Health aspects of air pollution: results from the project “Systematic review of health aspects of air pollution in Europe”. Copenhagen. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/107571>

REFERENCIAS

Wikipedia (2015, actualizado en 2019). *El escándalo de las emisiones contaminantes de vehículos Volkswagen*

https://es.wikipedia.org/wiki/esc%C3%A1ndalo_de_emisiones_contaminantes_de_veh%C3%ADculos_volkswagen (consultado en marzo de 2019)

Wikipedia (2004, actualizado en 2019) <https://es.wikipedia.org/wiki/Malaria> (consultado en marzo de 2019)

Zhu, Y., Hinds, W. C., Kim, S., And sioutas, C. (2002A). Concentration and sizedistribution of ultrafine particles near a major highway. *Air waste manag.Assoc.*52:1032–1042. Disponible en:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10473289.2002.10470842#aHR0cHM6Ly93d3cudGFuZGZvbmxpbmUuY29tL2RvaS9wZGYvMTAuMTA4MC8xMDQ3MzI4OS4yMDAyLjEwNDcwODQyP25lZWRY2Nlc3M9dHJ1ZUBAQDA=>