

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

Facultad de Ciencias de la Educación, Enfermería y Fisioterapia
División de Enfermería y Fisioterapia



GRADO EN ENFERMERÍA

Curso Académico: 2012/13

- Riesgos de la contaminación atmosférica en la salud -

- Jesús Martínez Rodríguez -

- Isabel María Beltrán Rodríguez -

INDICE

1. Resumen.....	3
2. Introducción.....	3
3. Objetivos.....	5
4. Metodología.....	6
5. Desarrollo.....	6
5.1 Partículas en suspensión.....	7
5.2 Ozono.....	11
5.3 Dióxido de Nitrógeno.....	12
5.4 Dióxido de Azufre.....	14
6. Conclusiones.....	16
7. Bibliografía.....	18
8. Anexos.....	21

1. RESUMEN

En esta revisión narrativa, se presentan los llamados “contaminantes clásicos”. El grupo lo conforman las partículas en suspensión, el ozono troposférico, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.

El objetivo es analizar los riesgos para la salud pública que la exposición a estos contaminantes genera según el tiempo y sus niveles de concentración en el ambiente. Además, se trata de justificar unos niveles de contaminación seguros para la población, por debajo de los cuales hay una reducción significativa de los índices epidemiológicos de morbi-mortalidad.

Para ello, se ha realizado una búsqueda bibliográfica en bases de datos de Ciencias de la Salud.

Como conclusión, A partir de ello, se presentan y justifican los niveles de concentración atmosférica recomendados con los cuales el estado de la salud pública se encuentra fuera de riesgo.

2. INTRODUCCIÓN

Se entiende por contaminación atmosférica, la presencia en el aire de materias o formas de energía que impliquen riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza. Siempre se ha coexistido con contaminación atmosférica de origen natural, ya sea por erupciones volcánicas, incendios o descomposición de materia orgánica. Pero, es a partir del descubrimiento del fuego por el hombre, cuando aparece la contaminación atmosférica antropogénica o contaminación atmosférica en el más estricto de los sentidos; la cual cobra importancia, sobre todo, a partir de la revolución industrial y el uso masivo de combustibles fósiles como fuente de energía. Hoy en día, la vida moderna es inconcebible sin grandes industrias o sin medios de transporte, y es por ello que nuestro propio desarrollo y estilo de vida nos ha conducido a vivir inmersos en una atmósfera que constituye un riesgo medioambiental real para la salud, y se estima que causa alrededor de dos millones de muertes prematuras al año en todo el mundo.

Sin embargo, el conocimiento de los contaminantes y de las fuentes de emisión no abarca el complejo proceso de la contaminación atmosférica¹. Las características estructurales y dinámicas de la atmósfera y las características morfológicas del terreno determinan la dispersión de los contaminantes en el espacio y su evolución temporal. La dispersión determina la inmisión de contaminación, es decir, la diferente concentración de contaminantes en la atmósfera en la zona de influencia de la fuente emisora. La evolución de los contaminantes conlleva la aparición de otros nuevos no emitidos por la fuente directamente, éstos son los contaminantes secundarios, como el ozono formado a partir de los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles en presencia de la luz solar. Aunque la determinación de la exposición individual depende de múltiples factores (ritmos de actividad, relación entre exposición en ambientes exteriores y ambientes interiores, laborales y no laborales), se puede afirmar que el conocimiento de los valores de inmisión en el aire ambiente nos acerca al de la dosis a la que está expuesta la población posibilitando el estudio de sus efectos en salud.

La exposición a los contaminantes atmosféricos está en gran medida fuera del control personal y requiere medidas de las autoridades públicas a nivel nacional, regional e internacional. Se considera que el aire limpio es un requisito básico de la salud y el bienestar humanos. Sin embargo, su contaminación sigue representando una amenaza

importante para la salud en todo el mundo. Según una evaluación de la Organización Mundial de la Salud² (OMS) de la carga de enfermedad debida a la contaminación del aire, son más de dos millones las muertes prematuras que se pueden atribuir cada año a los efectos de la contaminación del aire. Este hecho ha justificado históricamente el control y la vigilancia de los niveles de inmisión de contaminación atmosférica.

La contaminación, tanto en espacios interiores como al aire libre, constituye un grave problema de salud medioambiental que afecta por igual a los países desarrollados y en desarrollo. Las Directrices sobre Calidad del Aire elaboradas por la OMS están concebidas para ofrecer una orientación mundial a la hora de reducir las repercusiones sanitarias de la contaminación del aire. Las primeras directrices, publicadas en 1987 y actualizadas en 2000, se circunscribían al ámbito europeo. Las nuevas de 2005³, sin embargo, son aplicables a todo el mundo y se basan en una evaluación de pruebas científicas actuales llevada a cabo por expertos. En ellas se recomiendan nuevos límites de concentración para los llamados contaminantes clásicos atmosféricos, compuestos por las partículas en suspensión, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre, de aplicación en todas las regiones de la OMS.

Desde un punto de vista sanitario, nuestro interés se centra en mostrar los riesgos de la salud pública según el tiempo y el nivel de exposición a los distintos contaminantes atmosféricos.

3. OBJETIVOS

- Analizar las consecuencias epidemiológicas relacionadas con la morbi-mortalidad en base al nivel de concentración de los contaminantes y al tiempo de exposición a los mismos.
- Justificar y evidenciar las concentraciones atmosféricas recomendadas para cada contaminante con las cuales el estado de la salud pública se encuentra fuera de riesgo.
- Aumentar el nivel de conocimientos en materia de Educación para la Salud relacionados con la contaminación atmosférica, presentando conceptos básicos sobre los

contaminantes clásicos, así como evidenciando los riesgos y consecuencias que producen sobre la salud.

4. METODOLOGÍA

Para la realización de esta revisión narrativa se llevó a cabo una revisión bibliográfica en Bases de Datos de Ciencias de la Salud: Cinahl, Corchrane Plus, Pubmed, Elsevier, Cuiden, Lilacs, Global Health y Highwire press; en base a las términos claves y sus respectivas combinaciones con el operador booleano “AND”: contaminación ambiental; contaminación atmosférica; salud; salud pública; enfermedad; enfermedad cardiovascular; enfermedad respiratoria; cáncer; epidemiología; mortalidad; exposición; corto plazo y largo plazo.

5. DESARROLLO

CONTAMINANTES CLÁSICOS ATMOSFÉRICOS:

Antes de profundizar sobre las consecuencias epidemiológicas de la contaminación atmosférica, se presentan algunos conceptos básicos relativos a los diferentes contaminantes. Es importante conocer cuáles son sus principales problemas de salud asociados, sus características fisicoquímicas y sus fuentes emisoras.

5.1.- Partículas en suspensión (PM):

Las PM afectan a más personas que cualquier otro contaminante y sus principales componentes son los sulfatos, nitratos, amoníaco, cloruro sódico, carbón, polvo de minerales y el agua. Consisten en una compleja mezcla de partículas líquidas y sólidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire. Se clasifican en función de su diámetro aerodinámico, de forma que encontramos las PM₁₀ (partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 10 µm) y las PM_{2.5} (diámetro aerodinámico inferior a 2,5 µm). Estas últimas suponen mayor peligro porque, al inhalarlas, pueden alcanzar las zonas periféricas de los bronquiolos y alterar el intercambio pulmonar de gases.

Los efectos de las PM sobre la salud se producen en relación a los niveles de exposición a los que está sometida la población. La exposición crónica a las partículas aumenta el riesgo de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como de cáncer de pulmón. La mortalidad en ciudades con niveles elevados de contaminación supera entre un 15% y un 20% a la registrada en ciudades más limpias.

Las Directrices de la OMS en su Guía de Calidad del Aire de 2005³ fijan por primera vez un valor de referencia para las partículas en suspensión PM_{2.5}, las cuales no habían sido limitadas en guías precedentes. Para ellas se establece un límite de 10 µg/m³ de media anual y a 25 µg/m³ de media en 24h, mientras que para las PM₁₀ a 20 µg/m³ de media anual y a 50 µg/m³ de media en 24h. El objetivo consiste en reducir al máximo las concentraciones. Como no se conoce un umbral de PM por debajo del cual desaparezcan los efectos nocivos para la salud, el valor recomendado debe representar un objetivo aceptable y alcanzable a fin de minimizar dichos efectos en función de las limitaciones, las capacidades y las prioridades locales en materia de salud pública.

Las pruebas relativas a las partículas en suspensión y sus efectos en la salud pública ponen de manifiesto efectos adversos para la salud con las exposiciones que experimentan actualmente las poblaciones urbanas. El abanico de los efectos en la salud es amplio, pero se producen en particular en los sistemas respiratorio y cardiovascular. Se ve afectada toda la población, pero la susceptibilidad a la contaminación puede variar con la salud o la edad. Se ha demostrado que el riesgo de diversos efectos aumenta con la exposición, y hay pocas pruebas que indiquen un umbral por debajo del cual no quepa prever efectos adversos en la salud. En realidad, el nivel más bajo de

concentraciones para las cuales se han demostrado efectos adversos no es muy superior a la concentración de fondo, que para las $PM_{2,5}$ se ha estimado en $3-5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tanto en los Estados Unidos como en Europa occidental. Las pruebas epidemiológicas ponen de manifiesto efectos adversos de las PM tras exposiciones tanto breves como prolongadas. Puesto que no se han identificado umbrales y dado que hay una variabilidad interespecífica sustancial en la exposición y en la respuesta a una exposición determinada, es poco probable que una norma o un valor estándar ofrezca una protección completa a todas las personas frente a todos los posibles efectos adversos del material particulado en la salud. El proceso de fijación de normas está orientado más bien a alcanzar las concentraciones más bajas posibles teniendo en cuenta las limitaciones, la capacidad y las prioridades en materia de salud pública.

Epidemiología de las PM:

·Exposiciones prolongadas:

La Organización Mundial de la Salud, en su Guía de Calidad del Aire en 2005, estableció una concentración anual media de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como valor guía para las $MP_{2,5}$ en las exposiciones prolongadas. Para la Sociedad Americana del Cáncer (ACS)⁴, este valor representa el extremo inferior en el que se observaron efectos significativos en la supervivencia. En dicho estudio y en otros de seis ciudades de EE.UU.^{5,6,7} se notificaron asociaciones estrechas entre las exposiciones prolongada a las $MP_{2,5}$ y la mortalidad. La concentración media histórica de $MP_{2,5}$ en el estudio de las seis ciudades americanas fue de $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (intervalo de $11,0$ a $29,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y en el estudio de la ACS de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (intervalo de $9,0$ a $33,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). No se observaron umbrales en ninguno de estos estudios, aunque no se pudieron determinar con precisión los periodos y las pautas de la exposición. En el estudio de la ACS hay cierta incertidumbre estadística de las estimaciones del riesgo de las concentraciones de unos $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$, por debajo de este valor aumentan de manera significativa los intervalos de confianza. Según los resultados del estudio de Dockery DW, los riesgos son semejantes en las ciudades con las concentraciones prolongadas más bajas de $MP_{2,5}$ (de 11 a $12,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Se manifiesta un mayor riesgo en la ciudad con la segunda concentración media prolongada más baja de $MP_{2,5}$ (de $14,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), lo que indica que cabe esperar efectos en la salud cuando las concentraciones medias anuales son del orden de 11 a $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por consiguiente, se

puede considerar que una concentración media anual de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor establecido por las recomendaciones de la OMS, estaría por debajo de la media para los efectos más probables.

La adopción de este nivel para las recomendaciones de la OMS concede un valor importante a los estudios de exposición prolongada que utilizan los datos de la ACS y los de Harvard de seis ciudades. Aunque no se pueden descartar del todo los efectos adversos en la salud por debajo de dichos niveles, el promedio anual del valor de las Guías de Calidad del Aire de la OMS representa la concentración de $\text{PM}_{2.5}$ que se ha demostrado que se puede alcanzar en zonas urbanas extensas de los países desarrollados, y que también cabe suponer que reducirá de manera significativa los riesgos para la salud.

La OMS, en su guía de calidad del aire, además de definir unos límites en las concentraciones para las PM, establece tres objetivos intermedios. Se ha demostrado que éstos se pueden alcanzar con medidas sucesivas y sostenidas de reducción. Los países pueden encontrar estos valores intermedios particularmente útiles para calcular los progresos con el paso del tiempo en el difícil proceso de reducir constantemente la exposición de la población a las PM.

Como primer nivel de objetivo intermedio (OI-1) se eligió una concentración media anual de $\text{PM}_{2.5}$ de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y de PM_{10} de $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (véase Tabla 1). Este nivel corresponde a las concentraciones medias más elevadas notificadas en estudios sobre los efectos prolongados en la salud que pueden haber contribuido a los efectos observados en la salud. Se ha demostrado que en el mundo desarrollado este nivel está asociado con una mortalidad elevada.

El segundo nivel de protección (OI-2) establece las $\text{PM}_{2.5}$ en $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y las PM_{10} en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y se basa en los estudios de exposición prolongada y mortalidad. Este valor es superior a la concentración media con la cual se han observado efectos en tales estudios, y probablemente esté asociado con efectos significativos en la salud derivados de exposiciones tanto prolongadas como diarias a $\text{PM}_{2.5}$. El logro de este valor del OI-2 reduciría los riesgos de la exposición prolongada para la salud en alrededor de un 6% en relación con el valor del OI-1.

El nivel recomendado del OI-3 es de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para las $\text{PM}_{2.5}$ y $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para las PM_{10} , estos valores están próximos a las concentraciones medias que se notifican en los

estudios de exposición prolongada y determina una reducción adicional en el riesgo de mortalidad del 6% con respecto al valor del OI-2.

·Exposiciones de corta duración:

La Guía de Calidad del Aire de la OMS establece como valor recomendado para las PM_{10} $50 \mu\text{g}/\text{m}^3/24\text{h}$ y de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3/24\text{h}$ para las $PM_{2,5}$. Suele haber diferencias de opinión entre los países sobre si el valor más restrictivo de la OMS es el de 24 horas o el anual, dependiendo fundamentalmente de las características específicas de las fuentes de contaminación y de su localización. Al evaluar la Guía de Calidad del Aire de la OMS y los objetivos intermedios, se suele recomendar que se dé preferencia al promedio anual sobre el de 24 horas, ya que con niveles bajos despiertan menos preocupación las desviaciones esporádicas. Sin embargo, el logro de los valores guía para la media de 24 horas protegerá frente a niveles máximos de contaminación que de otra manera determinarían un exceso sustancial de morbilidad o mortalidad.

La OMS recomienda a los países con zonas en las que no se cumplen los valores guía de 24 horas que adopten medidas inmediatas para alcanzar estos niveles lo más pronto posible. En un estudio realizado en Europa⁸ (29 ciudades) y otro en los Estados Unidos⁹ (20 ciudades) se notificaron efectos del incremento de la mortalidad a corto plazo por PM_{10} del 0,62% y el 0,46% por $10 \mu\text{g}/\text{m}^3/24\text{h}$ respectivamente. En dos metaanálisis, uno de ellos con datos de 29 ciudades situadas fuera de Europa occidental y de América del Norte¹⁰ se observó un efecto de mortalidad del 0,5% por $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, muy parecido al otro metaanálisis para las ciudades asiáticas¹¹ con un incremento del 0,49% por $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos resultados parecen indicar que los riesgos para la salud asociados con exposiciones breves al MP_{10} probablemente son semejantes en las ciudades de los países desarrollados y en desarrollo, con un aumento de la mortalidad de alrededor del 0,5% por cada incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración diaria.

Por consiguiente, cabe suponer que una concentración de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, como establece el primer objetivo intermedio de la OMS, dará lugar a un incremento aproximado de la mortalidad diaria del 5%, efecto que sería motivo de gran preocupación y para el cual se recomendarían medidas correctoras inmediatas (véase Tabla 2).

El segundo nivel de los objetivos intermedios es de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y estaría asociado a un incremento aproximado de la mortalidad diaria del 2,5% y el último nivel intermedio con un aumento del 1,2%.

5.2.-Ozono (O₃):

El ozono a nivel del suelo, que no debe confundirse con la capa de ozono en la atmósfera superior, es uno de los principales componentes de la niebla tóxica. Éste se forma por la reacción fotoquímica entre la luz solar y contaminantes como los óxidos de nitrógeno procedentes de las emisiones de vehículos o la industria y los compuestos orgánicos volátiles emitidos por los vehículos, los disolventes y la industria. Los niveles de ozono más elevados se registran durante los períodos de tiempo soleado.

Puede causar problemas respiratorios, provocar asma, reducir la función pulmonar y originar enfermedades pulmonares. Actualmente se trata de uno de los contaminantes atmosféricos que más preocupan en Europa.

El límite fijado por la OMS, es de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media en 8h.

Epidemiología del ozono:

Desde la publicación en el 2000 de la segunda edición de las Guías de Calidad del Aire de la OMS para Europa¹², se estableció el valor guía de los niveles de ozono en 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para un promedio diario de ocho horas. Sin embargo, en esta guía se habla de unos estudios epidemiológicos de series cronológicas que consiguieron nuevas pruebas sobre los efectos en la salud. Pusieron de manifiesto diferentes asociaciones, entre la mortalidad diaria y los niveles de ozono, que son independientes de los efectos del material particulado. Por otro lado, en las nuevas directrices de 2005³, se demostró que se producen efectos en la salud con concentraciones de ozono por debajo del valor guía anterior de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, pero no se dispone de pruebas claras de un umbral. Estos resultados, junto con otras pruebas obtenidas en estudios de laboratorio como de campo, indican que hay una variación individual considerable en la respuesta al ozono. De ahí la reducción de los niveles de la OMS para el ozono, pasando del nivel del año 2000 de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (media máxima diaria de ocho horas) a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en las recomendaciones de 2005.

Las concentraciones de fondo de ozono troposférico presentan variaciones en el tiempo y en el espacio, pero pueden alcanzar niveles medios de alrededor de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en ocho

horas. Proceden de emisiones tanto antropogénicas como biogénicas de precursores del ozono y de la intrusión descendente del ozono estratosférico hacia la troposfera. Por ello, el valor guía propuesto por la OMS se puede superar en ocasiones debido a causas naturales.

A medida que aumentan las concentraciones de ozono por encima del valor guía, los efectos en la salud de la población son cada vez más numerosos y graves. Dichos efectos se pueden presentar en lugares en los que las concentraciones ya son elevadas debido a actividades humanas o suben durante episodios de clima muy caluroso. El nivel del objetivo intermedio (OI-1) de ocho horas para el ozono lo ha establecido la OMS en $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (véase Tabla 3). Con esta concentración se registraron cambios mensurables, aunque transitorios, en la función pulmonar y la inflamación de los pulmones en pruebas controladas de laboratorio con adultos jóvenes sanos que realizaban ejercicio intermitente¹³. Se observaron efectos similares en estudios realizados en campamentos de verano con niños que hacían ejercicio¹⁴. De ahí que quepa la posibilidad de que haya un número sustancial de personas de la población general que podrían ser más susceptibles a los efectos del ozono que las personas relativamente jóvenes y sanas que participaron en los mismos. Las exposiciones al nivel del OI-1 están asociadas con un aumento de la mortalidad de un 3-5%.

Se considera que cuando las concentraciones durante ocho horas son superiores a $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ existe la probabilidad de efectos significativos en la salud. Esta conclusión se basa en los resultados de Morrow PE (1989) en casos de inhalación clínica¹⁵. Cabe suponer que tanto los adultos sanos como los asmáticos experimentan una reducción considerable de la función pulmonar, así como inflamación de las vías respiratorias, que provocaría síntomas y alteraría el rendimiento. La exposición a concentraciones de ozono de esta magnitud daría lugar a un aumento del número de muertes de un 5-9% con respecto a la exposición al nivel de fondo estimado.

5.3.-Nitratos – Dióxido de nitrógeno (NO₂):

Como contaminante atmosférico, el NO₂ puede correlacionarse con varias actividades. Por un lado, en concentraciones de corta duración superiores a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, es un gas tóxico que causa una importante inflamación de las vías respiratorias. Y por el otro, en

presencia de hidrocarburos y luz ultravioleta, es la fuente principal de ozono troposférico y de aerosoles de nitrato, los cuales constituyen una parte importante de las $PM_{2.5}$.

Las principales fuentes de emisiones antropogénicas de NO_2 son los procesos de combustión como la calefacción, la generación de electricidad y los motores de vehículos y barcos. La mayor parte del NO_2 atmosférico se emite en forma de NO , que se oxida rápidamente a NO_2 por acción del ozono.

En base a las directrices de la OMS, el valor actual de media de NO_2 anual está fijado en $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Epidemiología del Dióxido de Nitrógeno:

El NO_2 se ha utilizado en numerosos estudios epidemiológicos¹⁶ como marcador de la mezcla de contaminantes relacionados con la combustión. En ellos, los efectos observados en la salud se podrían haber asociado también con otros productos de la combustión como el óxido nitroso (NO) o las partículas en suspensión. Aunque Monn C, en sus trabajos realizados tanto en espacios abiertos como cerrados, se ha tratado de concentrar la atención en los riesgos del NO_2 para la salud, a menudo es difícil descartar la contribución de los efectos de estos otros contaminantes, muy relacionados con él.

Los estudios experimentales¹⁸ realizados con animales y con personas indican que el NO_2 , en concentraciones de corta duración superiores a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, es un gas tóxico con efectos importantes en la salud. Los estudios toxicológicos con animales también parecen indicar que la exposición prolongada al NO_2 en concentraciones por encima de las de ahora presentes en el medio ambiente tiene efectos adversos.

·Exposición prolongada

Según la bibliografía existente, la OMS todavía no cuenta con una base sólida que permita establecer un valor guía medio anual para el NO_2 mediante cualquier efecto tóxico directo. Sin embargo, se han obtenido pruebas que hacen aumentar la preocupación por los efectos en la salud del NO_2 asociado con mezclas de contaminación del aire en espacios abiertos. Por un lado, en Europa y EE.UU., se ha comprobado en unos estudios epidemiológicos¹⁹ que los síntomas de bronquitis de los

niños asmáticos aumentan en relación a la concentración anual de NO_2 , y que el menor aumento de la función pulmonar en los niños está vinculado a concentraciones elevadas. Según las aportaciones de Roger LJ en 1990 en su trabajo realizado en espacios cerrados¹⁶, se han obtenido pruebas de efectos en los síntomas respiratorios de los lactantes con concentraciones de NO_2 por debajo de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Estas asociaciones no se pueden explicar completamente por la exposición simultánea a las PM. Considerados en conjunto, los resultados expuestos respaldan en cierta medida establecer un valor guía anual reducido para el NO_2 . Sin embargo, no está claro hasta qué punto los efectos observados en los estudios se pueden atribuir al propio NO_2 o a otros contaminantes relacionados con la combustión. Así pues, se puede alegar que la OMS no ha acumulado pruebas suficientes para justificar el nivel recomendado correspondiente a las concentraciones anuales de NO_2 en su Guía de Calidad del Aire. Sin embargo, mantener el valor guía anual puede ayudar a controlar las mezclas complejas de productos contaminantes relacionados con la combustión.

·Exposiciones de corta duración

En varios estudios experimentales de corta duración²⁰ se han notificado efectos agudos en la salud tras la exposición a concentraciones de más de $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_2 durante una hora. El nivel más bajo de exposición al NO_2 que ha mostrado un efecto directo en la función pulmonar de los asmáticos es de $560 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Dado que el valor recomendado en la Guía de Calidad del Aire de la OMS desde el año 2000 para la exposición breve al NO_2 es de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$, desde entonces no ha habido cambios en las concentraciones guía.

5.4.- Sulfatos – Dióxido de azufre (SO_2):

Es un gas incoloro con un olor penetrante cuya principal fuente antropogénica es la combustión de fósiles que contienen azufre usados para la calefacción doméstica, la generación de electricidad y los vehículos a motor.

El SO_2 puede afectar al sistema respiratorio y las funciones pulmonares, y causa irritación ocular. La inflamación del sistema respiratorio provoca tos, secreción mucosa y agravamiento del asma y la bronquitis crónica; asimismo, aumenta la propensión de

las personas a contraer infecciones del sistema respiratorio. Los ingresos hospitalarios por cardiopatías y la mortalidad aumentan en los días en que los niveles de SO₂ son más elevados. Por otro lado, en combinación con el agua, el SO₂ se convierte en ácido sulfúrico, que es el principal componente de la lluvia ácida que causa la deforestación.

La revisión de las directrices de la OMS establecida en 2005 referente a la concentración de SO₂ en 24 horas, ha hecho descender de 125 a 20 µg/m³, según las siguientes consideraciones: los efectos nocivos sobre la salud están asociados a niveles de SO₂ muy inferiores a los aceptados hasta entonces; se requiere un mayor grado de protección; y, pese a las dudas que plantean todavía los efectos a bajas concentraciones de SO₂, es probable que la reducción de las concentraciones disminuya la exposición a otros contaminantes.

Epidemiología del Dióxido de Azufre:

·Exposiciones prolongadas (más de 24 horas)

Durante años, desde la primera Guía de Calidad del Aire de la OMS en 1987, las repercusiones del SO₂ en 24 horas sobre la mortalidad, morbilidad o la función pulmonar se basaban en estudios epidemiológicos en los que la población estaba expuesta a una mezcla de contaminantes. Puesto que había poco fundamento para crear una recomendación específica para el SO₂, su valor recomendado estaba vinculado al de las PM₁₀.

Entre las últimas pruebas de que se disponen, figura un estudio realizado en Hong Kong²¹, en el que se consiguió una reducción importante del contenido de azufre de los combustibles durante un periodo muy breve de tiempo. Esto fue vinculado con una reducción sustancial de los efectos en la salud como enfermedades respiratorias en la infancia y mortalidad en todas las edades. En la investigación de Burnett RT en 2004²² los niveles de SO₂ durante 24 horas estaban significativamente asociados con las tasas de mortalidad diaria en 12 ciudades canadienses en las que la concentración media era de sólo 5 µg/m³, y donde el nivel más alto de SO₂ fue inferior a 10 µg/m³, muy por debajo del valor recomendado actualmente por la OMS (20 µg/m³). La Sociedad Americana del Cáncer en uno de sus trabajos⁶, observó una asociación significativa entre el SO₂ y la mortalidad en 126 zonas metropolitanas de los Estados Unidos en las

que la concentración media registrada de SO₂ era de 18 µg/m³ y la media más alta de 85 µg/m³.

Tanto en Alemania²³ como en los Países Bajos²⁴ hubo una fuerte reducción de las concentraciones de SO₂ durante una década, pero, aunque la mortalidad también se redujo con el paso del tiempo, no se consideró que hubiera una asociación causal entre el SO₂ y la mortalidad. En cambio la disminución de la mortalidad fue atribuida a otro contaminante como las PM que también descendió durante el mismo periodo.

Sigue siendo considerable la incertidumbre acerca de si el SO₂ es el contaminante responsable de los efectos adversos observados o si se toma en cambio alguna otra sustancia que guarda correlación con él.

La OMS, teniendo en cuenta la dificultad de la separación de los efectos en salud del SO₂ de otros contaminantes, la dificultad práctica para obtener niveles que estén ciertamente asociados con la ausencia de efectos y la necesidad de conseguir un grado de protección, ha establecido 20 µg/m³ como valor precautorio.

·Exposiciones de corta duración

El trabajo de Horstman DH con asmáticos que hacían ejercicio²⁵ indica que algunos de ellos experimentaron cambios en la función pulmonar y los síntomas respiratorios tras periodos de exposición al SO₂ de apenas 10 minutos. La OMS, tomando como base estas pruebas, recomienda que no se supere una concentración de SO₂ de 500 µg/m³ durante periodos de 10 minutos. Debido a que la exposición breve al SO₂ depende en gran medida de la naturaleza de las fuentes locales y las condiciones meteorológicas predominantes, no es posible aplicar unas medidas sencillas a este valor.

6. CONCLUSIONES

Para la Salud Pública, en concreto para la Sanidad Ambiental, la contaminación atmosférica representa una necesidad constante de acometer acciones en un doble sentido. Por un lado, es necesario plantear nuevas líneas de investigación de contaminantes, así como continuar con las líneas de investigación abiertas en orden a

mejorar las mediciones de exposición y de efectos de los contaminantes atmosféricos sobre la salud.

La calidad en la evaluación de la exposición, el principal problema de los estudios de epidemiología ambiental, es un elemento imprescindible para poder estudiar los efectos de los contaminantes en la salud. Esto es un aspecto que se espera todavía desarrollar en análisis de las consecuencias del NO₂ y del SO₂, en los que la población está expuesta a una mezcla de contaminantes. Por ello, no está claro hasta qué punto los efectos observados en los estudios se pueden atribuir a ellos mismos o a otros contaminantes relacionados con la combustión.

Además, cuando los niveles de contaminación son altos, la epidemiología ha conseguido demostrar sus efectos en la salud. Sin embargo, cuando los niveles de exposición son bajos, aparecerían dificultades en la detección de dichos efectos, adoptando recomendaciones precautorias como en el caso del SO₂.

A pesar de las dificultades que presentan los estudios de contaminación atmosférica, en años recientes numerosos estudios han puesto de manifiesto la relación entre niveles bajos de contaminación atmosférica y la morbi-mortalidad de las poblaciones expuestas.

Por otro lado, la Salud Pública ha de establecer líneas de intervención en su legislación ambiental, de modo que traduzcan los resultados de estas investigaciones y recomendaciones en políticas ambientales, ya que ello concierne a las administraciones estatales. Las recomendaciones deberían referirse fundamentalmente a la revisión de los niveles establecidos en la legislación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aránguez E, Ordóñez JM, Serrano J, Aragonés N, Fernández-Patier R, Gandarillas A e Galán I. Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. *Rev. Española Salud Pública* 1999; 73: 123-132
2. Organización Mundial de la Salud. Calidad del aire y salud, Sep. 2011; Report No. 313.
3. Organización Mundial de la Salud. Guía de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre, 2005.
4. Pope CA, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K y Thurston GD. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Journal of de American Medical Association*, 2002; 287:1132-1141.
5. Dockery DW, Pope CA, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay ME, Ferris BG and Speizer FE. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *New England Journal of Medicine*, 1993; 329: 1753-1759.
6. Pope CA, Thun MJ, Namboodiri MM, Dockery DW, Evans JS, Speizer FE and Health CW. Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 1995; 151: 669-674.
7. Jerrett M. Spatial analysis of air pollution and mortality in Los Angeles. *Epidemiology*, 2005; 16: 727-736.
8. Katsouyanni K, Touloumi G, Samoli E, Gryparis A, Le Tertre A, Monopolis Y, Rossi G, Zmirou D, Ballester F, Boumghar A, Anderson HR, Wojtyniak B, Paldy A, Braunstein R, Pekkanen J, Schindler C and Schwartz J. Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the the APHEA2 project. *Epidemiology*, 2001; 12: 521-531.
9. Samet JM, Zeger SL, Dominici F, Curriero F, Coursac I, Dockery DW, Schwartz J and Zanobetti A. The National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study in the United States. *Research Reports of the Health Effects Institute*, 2000; 94: 5-70.

10. Cohen A. Mortality impacts of urban air pollution. Comparative quantification of health risks: global and regional burden of disease attributable to selected major risk factors. World Health Organization, Génova 2004; 1353- 1434.
11. HEI International Oversight Committee. Health effects of outdoor air pollution in developing countries of Asia: a literature review. Health Effects Institute of Boston, 2004; Report n°15.
12. World Health Organization Regional Office for Europe. Air quality guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series, Copenhagen 2000; No. 91, 2nd ed.
13. Horstman DH, Folinsbee LJ, Ives PJ, Salaam SA and McDonnell WF. Ozone concentration and pulmonary response relationships for 6.6-hour exposures with five hours of moderate exercise to 0.08, 0.10 and 0.12 ppm. American review of respiratory disease, 1990; 142: 1158-1163.
14. McDonnell WF, Horstman DH, Hazucha MJ, Seal E Jr, Haak ED, Salaam SA and House DE. Pulmonary effects of ozone exposure during exercise: dose-response characteristics. Journal of applied physiology: respiratory and environmental exercise physiology, 1983; 54: 1345-1352.
15. Morrow PE and Utell MJ. Responses of susceptible subpopulations to nitrogen dioxide. Health Effects Institute, Cambridge 1989; Research Report No. 23.
16. Mann BA, O'Leary SV, Astill AG and Greenhalgh DA. Degenerate four-wave mixing in nitrogen dioxide: Application to combustion diagnostics. Applied Physics B, 1992; 54: 271-277.
17. Monn C. Exposure assessment of air pollutants: a review on spatial heterogeneity and indoor/outdoor/personal exposure to suspended particulate matter, nitrogen dioxide and ozone. Atmospheric Environment, 2001; 35: 1-32.
18. Menzel DB. The toxicity of air pollution in experimental animals and humans: the role of oxidative stress. Toxicology Letters, 1994; 72: 269-277.
19. Roger LJ, Horstman DH, McDonnell W, Kehrl H, Ives PJ, Seal E, Chapman R and Massaro E. Pulmonary function, airway responsiveness, and respiratory symptoms in asthmatics following exercise in NO₂. Toxicology and industrial health, 1990; 6: 155-171.
20. Linn WS and Hackney JD. Short-term human respiratory effects of nitrogen dioxide: determination of quantitative dose-response profiles, phase II.

- Exposure of asthmatic volunteers to 4 ppm NO₂. Coordinating Research Council, Atlanta 1984; Report No. 48.
21. Hedley AJ, Wong C, Thack TQ, Ma S, Lam T and Anderson HR. Cardiorespiratory and all-cause mortality after restrictions on sulfur content of fuel in Hong Kong: an intervention study. *Lancet*, 2002; 360: 1646 – 1652.
 22. Burnett RT, Stieb D, Brook JR, Cakmak S, Dales R, Raizenne M, Vincent R and Dann T. Associations between short-term changes in nitrogen dioxide and mortality in Canadian cities. *Archives of Environmental Health*, 2004; 59: 228-236.
 23. Wichmann HE, Spix C, Tuch T, Wölke G, Cyrys J, Stölzel M, Peters A and Heinrich J. Daily mortality and fine and ultrafine particles in Erfurt, Germany. Health Effects Institute, Cambridge 2000; Research Report No. 98.
 24. Buringh E, Fischer P, Hoek G. Is SO₂ a causative factor for the PM-associated mortality risks in the Netherlands? *Inhalation Toxicology*, 2000; 12: S55-S60.
 25. Horstman DH, Seal E Jr, Folinsbee LJ, Ives P and Roger LJ. The relationship between exposure duration and sulphur dioxide induced bronchoconstriction in asthmatic subjects. *American Industrial Hygiene Association journal*, 1988; 49: 38-47.

ANEXOS

Tabla 1

Guías de calidad del aire de la OMS y objetivos intermedios para el material particulado: concentraciones medias anuales^a

	MP ₁₀ (µg/m ³)	MP _{2,5} (µg/m ³)	Fundamento del nivel elegido
Objetivo inter-medio-1 (OI-1)	70	35	Estos niveles están asociados con un riesgo de mortalidad a largo plazo alrededor de un 15% mayor que con el nivel de las GCA.
Objetivo inter-medio-2 (OI-2)	50	25	Además de otros beneficios para la salud, estos niveles reducen el riesgo de mortalidad prematura en un 6% aproximadamente [2-11%] en comparación con el nivel del OI-1.
Objetivo inter-medio-3 (OI-3)	30	15	Además de otros beneficios para la salud, estos niveles reducen el riesgo de mortalidad en un 6% [2-11%] aproximadamente en comparación con el nivel del OI-2.
Guía de calidad del aire (GCA)	20	10	Estos son los niveles más bajos con los cuales se ha demostrado, con más del 95% de confianza, que la mortalidad total, cardiopulmonar y por cáncer de pulmón, aumenta en respuesta a la exposición prolongada al MP _{2,5} .

Tabla 2

Guías de calidad del aire y objetivos intermedios para el material particulado: concentraciones de 24 horas^a

	MP ₁₀ (µg/m ³)	MP _{2,5} (µg/m ³)	Fundamento del nivel elegido
Objetivo inter-medio-1 (OI-1)	150	75	Basado en coeficientes de riesgo publicados en estudios multicéntricos y metaanálisis (incremento de alrededor del 5% de la mortalidad a corto plazo sobre el valor de las GCA).
Objetivo inter-medio-2 (OI-2)	100	50	Basado en coeficientes de riesgo publicados en estudios multicéntricos y metaanálisis (incremento de alrededor del 2,5% de la mortalidad a corto plazo sobre el valor de las GCA).
Objetivo inter-medio-3 (OI-3)*	75	37,5	Basado en coeficientes de riesgo publicados en estudios multicéntricos y metaanálisis (incremento de alrededor del 1,2% de la mortalidad a corto plazo sobre el valor de las GCA).
Guía de calidad del aire (GCA)	50	25	Basado en la relación entre los niveles de MP de 24 horas y anuales.

Tabla 3

Guía de calidad del aire de la OMS y objetivo intermedio para el ozono: concentraciones de ocho horas		
	Media máxima diaria de ocho horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fundamento del nivel elegido
Niveles altos	240	Efectos significativos en la salud; proporción sustancial de la población vulnerable afectada.
Objetivo intermedio-1 (OI-1)	160	Efectos importantes en la salud; no proporciona una protección adecuada de la salud pública. La exposición a este nivel está asociada con: <ul style="list-style-type: none"> • efectos fisiológicos e inflamatorios en los pulmones de adultos jóvenes sanos que hacen ejercicio expuestos durante periodos de 6,6 horas; • efectos en la salud de los niños (basados en diversos estudios de campamentos de verano en los que los niños estuvieron expuestos a niveles ambientales de ozono); • aumento estimado de un 3-5% de la mortalidad diaria* (basado en los resultados de estudios de series cronológicas diarias).
Guía de calidad del aire (GCA)	100	Proporciona una protección adecuada de la salud pública, aunque pueden producirse algunos efectos en la salud por debajo de este nivel. La exposición a este nivel de ozono está asociada con: <ul style="list-style-type: none"> • un aumento estimado de un 1-2% de la mortalidad diaria* (basado en los resultados de estudios de series cronológicas diarias); • la extrapolación a partir de estudios de laboratorio y de campo, basada en la probabilidad de que la exposición en la vida real tienda a ser repetitiva y en que se excluyen de los estudios de laboratorio las personas muy sensibles o con problemas clínicos, así como los niños; • la probabilidad de que el ozono ambiental sea un marcador para los oxidantes relacionados con él.