



EL OZONO TROPOSFÉRICO Y SUS EFECTOS SOBRE LA SALUD

INTRODUCCION

El ozono es un gas incoloro e irritante, compuesto por tres átomos de oxígeno, más denso que el aire, siendo un oxidante fuerte y atacando por tanto la materia orgánica, muy poco soluble en agua (0,1 g/100ml).

El ozono presenta dos propiedades que marcan sus relaciones con la vida de nuestro planeta:

Su fuerte absorción de la radiación ultravioleta y su gran poder oxidante. La primera hace que su presencia en la estratosfera, sea imprescindible como filtro para evitar que llegue a la superficie, altos niveles de radiación ultravioleta.

La segunda propiedad, su alto poder oxidante, es la que hace indeseable la presencia de ozono en la troposfera, ya que puede producir daños en nuestra salud y en la vegetación. Produce un efecto irritante en los ojos y en el tracto respiratorio y puede desencadenar reacciones asmáticas. Igualmente puede causar efectos en el sistema nervioso central, dando lugar a dolor de cabeza y alteraciones de la vigilancia y la actuación.

El ozono de la troposfera es un contaminante secundario y es formado por reacciones fotoquímicas impulsadas por la acción de la luz ultravioleta en los contaminantes precursores de óxidos de nitrógeno (Nox) y los compuestos orgánicos volátiles.

La formación del ozono es diferente en la estratosfera y en la troposfera. Mientras el ozono en la estratosfera se forma como resultado de la disociación del oxígeno molecular, en la troposfera el ozono procede de dos fuentes: por una parte, transferencias desde la estratosfera a la troposfera, donde estos procesos contribuyen minimamente a la concentración de ozono; y por otra, la producción a partir de la emisión, antropogénica y biogénica, de compuestos primarios, principalmente óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles (COV s).

De esta forma, la contaminación por ozono es el resultado de un proceso complejo que involucra reacciones químicas entre los NOx, COV s y el oxígeno en presencia de luz solar. Por lo tanto, el ozono es considerado como un contaminante secundario, ya que no es emitido directamente a la atmósfera, al contrario de sus precursores. Las concentraciones más altas de ozono junto a la superficie, suceden



principalmente en las estaciones del año con mayor insolación y gran estabilidad atmosférica. Las condiciones Meteorológicas que favorecen esta situación, propician una menor dispersión de los contaminantes, aumentando la probabilidad de que reaccionen entre ellos. El ozono presente en la estratosfera es imprescindible para la vida en el planeta; su importancia reside en su propiedad de atenuar fuertemente las componentes de la radiación solar de longitud por debajo de los 295 nm, que son perjudiciales para los seres vivos. El ozono troposférico, y en concreto el ozono que se encuentra mas próximo a la superficie, es un gas toxico cuando los valores de concentración son elevados, con repercusiones importantes en la salud humana. Los primeros síntomas son: tos, dolor de cabeza, náuseas, dolores pectorales, y sensación de asfixia. Para concentraciones de ozono superiores a $360\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante una hora, pueden ocasionarse daños en las funciones pulmonares.

Procurando aminorar los efectos nocivos sobre la salud humana y el medio ambiente, en general, provocados por el ozono, el Parlamento Europeo y el Consejo aprobó el 12 de febrero de 2002 la Directiva 2002/3/CE, que se encuentra debidamente transpuesta en España a través del Real Decreto 1796/2003. La Organización Mundial de la Salud (OMS) publicó unos valores guía para la calidad de aire en Europa, estableciendo el umbral de protección a la salud en $110\mu\text{g}/\text{m}^3$ (8h). La causa principal de la contaminación es la combustión, y resulta difícil imaginar nuestra sociedad sin la misma.

En la combustión, el hidrógeno y el carbono del combustible se combinan con el oxígeno del aire para producir calor, luz, dióxido de azufre y vapor de agua. Sin embargo, se forman, además, productos secundarios, tales como el monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, cenizas e hidrocarburos no quemados. El aire es uno de los elementos básicos de todo ser vivo. Nuestros pulmones filtran unos 15 kg de aire diariamente, mientras que sólo absorbemos unos 2.5 kg de agua y menos de 1.5 kg de alimentos.

Esta realidad sirve para tomar conciencia sobre el peligro que representa una atmósfera contaminada. Hoy por hoy, la contaminación atmosférica constituye un motivo de inquietud creciente no solo en las zonas urbanas e industriales, si no también en zonas más alejadas, donde resultan importantes las concentraciones de contaminantes secundarios, que se forman durante el transporte de la masa aérea contaminada desde zonas industriales.



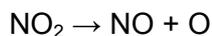
FORMACION FOTOQUIMICA DEL OZONO

La troposfera es la región de la atmósfera terrestre en la que vivimos y en la que los compuestos químicos son emitidos, generalmente como resultado de las actividades humanas. Las emisiones de óxidos de nitrógeno ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$), compuestos orgánicos volátiles (COV s) y compuestos de azufre (incluyendo el SO_2 y los compuestos reducidos) dan lugar a complejas series de reacciones químicas, con el resultado de la formación de ozono, tanto en las áreas urbanas e industriales (zona de emisión de precursores), como a nivel regional (por transporte de la masa aérea), e incluso en lo que podríamos denominar como troposfera global (por inyección de contaminantes en la troposfera libre).

El ozono que se mide en la superficie puede tener dos orígenes diferentes: origen estratosférico (debido al intercambio estratosfera-troposfera), y formación fotoquímica a partir de precursores naturales y antropogénicos. El transporte o intercambio estratosférico representa sólo una pequeña fracción del observado a nivel del suelo. La formación fotoquímica cerca del suelo, junto con el transporte regional, representan la contribución mas importante al ozono troposférico medido en una Red de Vigilancia. Las reacciones químicas que aquí se describen se sitúan en una atmósfera urbana, ya que es en este tipo de atmósfera en la que son emitidos los contaminantes primarios necesarios para la formación fotoquímica del ozono.

El ozono troposférico se forma y destruye en una serie de reacciones que involucran a los óxidos de nitrógeno. Blacet (1952) fue uno de los primeros en constatar que en la fotodisociación del NO_2 se produce ozono:

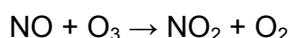
El ozono se forma y desaparece como consecuencia de un ciclo que se inicia al disociarse el NO_2 en presencia de la radiación solar:



Este oxígeno procedente de la fotodisociación del NO_2 es muy reactivo, y se combina con el oxígeno molecular de aire:



Pero el ozono es muy inestable y, en presencia de NO , se reduce con facilidad y rapidez para producir de nuevo NO_2 y oxígeno molecular:



En las regiones industrializadas y densamente pobladas, el tráfico y todas las actividades asociadas al hombre, originan grandes cantidades de óxidos de nitrógeno



e hidrocarburos. Si a estas sustancias denominados precursores de ozono, le acompañan ausencia de viento y una fuerte radiación solar, se refuerza considerablemente la formación del mismo en la superficie.

Cuando como consecuencia de la actividad del hombre, los niveles de NO₂ en la atmósfera son altos y además coexisten con compuestos orgánicos volátiles y una alta radiación solar, la generación de ozono se ve muy aumentada.

Por otra parte los compuestos orgánicos volátiles consumen el NO existente mediante reacciones que producen NO₂.

Al reaccionar el NO formado con los compuestos orgánicos volátiles, el ozono no se descompone y se acumula.

Por otra parte las masas de aire de la atmósfera se desplazan, no coincidiendo el lugar de la emisión del NO₂ y su fotodisociación con el de generación del NO, acumulándose el ozono al no descomponerse.

UMBRALES REFERIDOS A LA SALUD

Para evaluar los niveles de inmisión de ozono en la troposfera, no solo es importante su concentración en un momento dado, también lo es el tiempo que dura esa concentración. Un pico alto pero breve puede no ser tan perjudicial como unos niveles medios de ozono pero constantes.

Los valores umbrales se han de interpretar como el límite superior de los valores deseables de concentración desde el punto de vista de la medicina preventiva. Estos valores orientativos son valores que no han de ser interpretados como fronteras entre una zona sin peligro y la aparición de efectos perjudiciales.

Los anexos I y II del R.D. 1796/ 2003, que adapta a la legislación española la Directiva 2002/3/CE, fija los siguientes valores: objetivo, de información y alerta relativos al ozono.

- **Valor objetivo para la protección de la salud humana:** 120 µg/m³

Como máximo de las medias octohorarias de día. Valor que no deberá superarse más de 25 días por cada año civil de promedio en un periodo de 3 años.

- **Umbral de información a la población:** 180 µg/m³

Como valor medio en una hora.

- **Umbral de alerta a la población:** 240 µg/m³



Como valor medio en una hora.

El umbral de protección a la salud humana para OMS es de 110 µg/m³ como promedio octohorario,

GRUPOS DE RIESGO

Existen ciertos grupos de población potencialmente más sensibles a la acción del ozono. Esta especial sensibilidad puede venir dada por diversos factores: edad, sexo, nutrición, ejercicio y por la diferente sensibilidad entre individuos. Una sensibilidad mayor de lo normal al ozono puede ser debida a numerosas causas. Las más frecuentes son: preexistencia de enfermedad respiratoria, realización frecuente de ejercicio físico y factores genéticos.

Aunque los altos niveles de ozono pueden afectar a cualquier persona, algunas son particularmente sensibles, representando aproximadamente un 10% de la población total y son:

1- **Niños:** Pasan la mayor parte del tiempo al aire libre, son más activos y sus vías respiratorias no se han desarrollado completamente.

2- **Adultos que hacen ejercicio al aire libre:** Las personas saludables que realizan actividades físicas respiran más rápido y profundo. Esto incrementa la cantidad de ozono que llega hasta los alvéolos. Lo que implica un aumento considerable de la exposición con el consiguiente aumento de la afección.

3- **Personas con enfermedades respiratorias:** El ozono puede irritar aún más las vías respiratorias de personas que ya sufren de enfermedades pulmonares o de las vías respiratorias. Así pues personas con enfermedades crónicas como el asma y la bronquitis, con la capacidad pulmonar reducida, pueden experimentar un agravamiento de los síntomas habituales.

4- **Ancianos**

5- **Personas sensibles:** Existen determinadas personas que, por causa aun desconocidas, experimentan una mayor sensibilidad al ozono, viéndose afectadas por el aumento de las concentraciones de este contaminante.

EFECTOS EN LA SALUD

Los contenidos de este apartado se han obtenido de las páginas web que se relacionan a continuación, en ellas se puede consultar los textos originales:



<http://www.airinfonow.org/html/o3profs.html>:

Guía de ozono para profesionales de la salud. EPA

<http://reports.es.eea.europa.eu/92-828-3351-8/es/page005.html>:

Capitulo 5. Ozono troposférico. El Medio Ambiente en Europa: segunda evaluación.

http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair_agq/en/index.html:

WHO Air quality guidelines for particulate mater, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide.Global update 2005

http://www.euro.who.int/air/activities/20050223_4:

WHO: Air Quality Guidelines-Second Edition. Chapter 7.2.

Guía de ozono para profesionales de la salud. EPA (1)

Bioreactividad

Varios procesos patofisiológicos del pulmón resultan de la exposición al ozono. Como un potente oxidante, el ozono es extremadamente irritante para el sistema respiratorio. Es capaz de reaccionar con una variedad de biomoléculas extracelulares e intracelulares y produce cambios perjudiciales que pueden ser medidos por alteraciones en función pulmonar. Además, el ozono es menos soluble que otros gases irritantes. Puede penetrar más eficazmente a través del árbol traqueobronquial a regiones pulmonares del sistema respiratorio, induciendo lesiones en células residentes del pulmón causando un flujo de células inflamatorias

Exposiciones a menos de 0,08 ppm son suficientes para inducir alteraciones en actividad enzimática e iniciar una reacción inflamatoria en el pulmón induciendo incrementos significantes en neutrofilos, proteína, prostaglandina E2, interleukina-6, dehidrogenasa lactosa y antitripsin. Estas enzimas y mediadores están usualmente asociados con edema celular y en suficientes concentraciones de ozono, muerte celular.

Efectos en la salud

Los efectos del ozono en la salud humana han sido estudiados durante más de 30 años. El sistema respiratorio es el principal blanco de este contaminante oxidante. Las respuestas del tracto respiratorio inducidas por el ozono incluyen reducción en la función pulmonar, empeoramiento de enfermedades respiratorias pre-existentes (como



asma), incremento en admisiones diarias al hospital y visitas al departamento de emergencias por causas respiratorias y mortalidad excesiva. El grado de empeoramiento de los efectos producidos por el ozono depende de varios factores incluyendo la concentración y la duración de la exposición, características del clima, sensibilidad individual, enfermedades respiratorias pre-existentes y estatus socioeconómicos.

La actividad física y la sensibilidad individual son factores para determinar los efectos adversos del ozono en la salud. Cuatro grupos de personas son particularmente sensibles al ozono cuando son activos al aire libre: niños, adultos sanos haciendo ejercicios al aire libre, gente con enfermedades respiratorias pre-existentes y los ancianos. Los niños y adultos sanos son más sensibles al ozono cuando realizan sus actividades al aire libre porque la actividad física causa que las personas respiren más rápido y más profundo, permitiendo una penetración más profunda del ozono en los pulmones y produciendo lesiones. Además, los niños tienen un alto riesgo de exposición al ozono porque pasan largos períodos de tiempo al aire libre envueltos en actividades energéticas.

Otro factor que incrementa los efectos adversos del ozono es el estatus socioeconómico. Es menos probable que gente de bajos ingresos cuenten con unidades de aire acondicionado y por lo tanto es más probable que mantengan las ventanas abiertas durante los meses de verano cuando los niveles de ozono son más altos. Las diferencias entre las áreas de residencias, también están relacionados a el estatus socioeconómicos, pueden afectar las probabilidades de ser expuesto a concentraciones de ciertos contaminantes en el aire, en sus niveles más altos.

El tiempo también juega un papel muy importante en la relación entre la contaminación con ozono y la salud. Las condiciones meteorológicas influyen en los procesos químicos y físicos envueltos en la formación de ozono. En un estudio realizado en Bélgica durante el verano, se asumió que la temperatura ambiente combinada con altas concentraciones de ozono fueron las causas en el importante exceso de mortandad. En otro estudio en Nueva Jersey se observó una relación marcada entre las concentraciones de ozono en el verano y las visitas al departamento de emergencia a causas del asma.

Dos de los factores más importantes son las concentraciones de ozono y la exposición. Numerosos estudios epidemiológicos muestran la relación entre efectos en la salud y niveles específicos de ozono. La EPA ha obtenido información sobre los



efectos en la salud a través de investigaciones, estudios comparando estadísticas de salud y niveles de ozono en las comunidades y estudios controlados de voluntarios humanos.

La EPA ha desarrollado el Índice de la Calidad del Aire (AQI por sus siglas en Inglés) para relacionar los niveles de ozono y otros contaminantes y sus efectos en salud humana. La escala AQI ha sido dividida en diferentes categorías las cuales fluctúan de 0 a 300. Cada categoría corresponde a un impacto diferente en la salud (Tabla 1). El NAAQS para ozono son de 0,12 ppm promediados en una hora y 0,08 ppm promediados en ocho horas.

VALORES $\mu\text{g}/\text{m}^3$	AQI	DESCRIPCIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE	PROBLEMAS PARA LA SALUD
0 – 125	0 a 50	BUENA	Probablemente ninguno
126 – 165	51 a 100	MODERADA	Usualmente los individuos sensibles pueden experimentar efectos respiratorios debido al prolongado esfuerzo al aire libre especialmente cuando es extraordinariamente sensible al ozono
166 – 204	101 a 150	NO SALUDABLE PARA GRUPOS SENSIBLES	Miembros de grupos sensibles pueden experimentar síntomas respiratorios (tos, dolor al respirar profundamente)
205 – 243	151 a 200	INSALUBRE	Miembros de grupos sensibles tienen más posibilidades de experimentar síntomas respiratorios (tos y dolor agravados), reducción de la función de los pulmones.
244 - 793	201 a 300	MUY INSALUBRE	Miembros de grupos sensibles experimentan síntomas respiratorios severos y respiración débil.

245 a 793 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (MUY INSALUBRE)

En concentraciones de 245 a 793 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, la gente sensible experimenta severos síntomas respiratorios y dificultad para respirar.

Estudios recientes en humanos expuestos a estas concentraciones de ozono han demostrado que la función pulmonar es debilitada al hacer ejercicio pesado. Otro estudio conducido en la Ciudad de México muestra que exposiciones de 333 a 491 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 1-h, incrementa la aparición de síntomas respiratorios tales como tos, flemas, dificultad para respirar y reduce PEFRS entre los niños con asma leve. Además, la exposición a ozono de 589 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 1-h induce inflamación en las vías respiratorias inferiores. Esto es manifestado por el flujo de PMN medido por el lavado



broncoalveolar. También, en esta concentración con ejercicio continuo, FEV1 disminuye.

206 a 243 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (INSALUBRE)

EXPOSICION DE UNA HORA. En un estudio conducido en Atlanta se encontró que cuando el nivel máximo de ozono 1-h era igual o excedía $215 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el número de visitas de emergencia al hospital por asma o enfermedad reactiva de las vías respiratorias incrementó en niños. Durante esta exposición, muchos niños y adultos desarrollaron progresivamente dolor interno al respirar profundo, tos, y reducción vital de capacidad y FEV1.

EXPOSICION DE 8 HORAS. Se observa reducción en la función del pulmón con exposiciones de $235 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de 6-8 horas con ejercicio moderado, manifestado por disminución en FEV1.

167 a 204 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (INSALUBRE PARA GRUPOS SENSIBLES)

EXPOSICION DE UNA HORA. Gente sensible, niños y adultos activos y gente con enfermedades respiratorias bajo un gran esfuerzo al aire libre, pueden experimentar síntomas respiratorios tales como tos o dolor cuando se respira profundamente, y reducción de función del pulmón. Otros estudios han asociado concentraciones de ozono de $196 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con el incremento de admisiones al hospital por problemas respiratorios en los ancianos.

EXPOSICION DE OCHO HORAS. De acuerdo con AQI, gente sensible, niños y adultos activos, y gente con enfermedades respiratorias bajo un gran esfuerzo prolongado al aire libre, pueden experimentar síntomas respiratorios tales como tos o dolor cuando se respira profundamente, función del pulmón reducida, la cual puede causar malestar al respirar.

En una serie de estudios conducidos en los Estados Unidos, se demostró que con una concentración de ozono de $176 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el número de visitas al hospital por causa de asma incrementó y la sensibilidad al ozono de gente que realizaba ejercicios moderados incrementó. También, concentraciones de ozono de $176 \mu\text{g}/\text{m}^3$ induce el flujo neutrofílico en las vías respiratorias resultando en inflamación y disminución en el volumen forzado expiratorio (FEV1) y PEFr en gente asmática (niños y adultos).

127 a 165 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (MODERADA)

EXPOSICION DE UNA HORA. En esta escala específica, basado en los estándares AQI, no se espera que haya efectos en la salud. Sin embargo, en un



estudio de 154 niños en las edades de 10-12 años en Tennessee, el ozono en concentraciones de $153 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fue asociado con disminución en FEV1 y FEF25-75, y con 0.082 ppm se observó un incremento en visitas al hospital relacionadas con asma.

EXPOSICION DE OCHO HORAS. Personas sensibles pueden experimentar efectos respiratorios debido a exposiciones prolongadas a ozono al hacer esfuerzos al aire libre. Además, tres estudios, han demostrado que concentraciones de $161 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono producen efectos adversos en salud humana como disminución de PEFR en niños asmáticos, disminución en FEV1 en hombres saludables que hacen ejercicio intermitentemente, e incremento en las visitas al hospital por asma.

0 a $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (BUENA)

De acuerdo con NAAQS y AQI, a niveles de 0 a 125 no se esperan efectos a la salud y la calidad del aire es considerada "BUENA". Sin embargo, estudios recientes han demostrado que en estas concentraciones el ozono puede ejercer efectos adversos en la salud.

EXPOSICION DE UNA HORA. En un estudio conducido en Birsbane, Australia por Simpson et al. se demostró una asociación entre concentraciones de ozono de $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y mortalidad diaria en los ancianos. En un estudio en México, la relación entre exposición a ozono y niños asmáticos (5-13 años de edad) y asma leve fue evaluada. La exposición a $98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ incrementó la existencia de síntomas respiratorios como tos, flemas y dificultad al respirar y PEFRs reducidos. Un estudio diferente sugiere que en concentraciones de $127 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el ozono incrementa los síntomas respiratorios en niños asmáticos.

EXPOSICION DE OCHO HORAS. No hay información disponible.

EXPOSICION DE 24 HORAS. Sartor y co-autores (1994) analizaron bajos niveles de ozono y mortandad en Bélgica. Este estudio demostró una relación entre ozono a $98 \mu\text{g}/\text{m}^3$, altas temperaturas, y el número diario de muertes. Se observó un incremento en la muerte de ancianos en concentraciones de ozono de $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por 24-h, Schwartz utilizó registros de Medicare de los años 1986-1989 para estudiar la asociación entre concentraciones de ozono y las admisiones al hospital entre los ancianos. En este estudio, se observó un relación significativa entre concentración de $98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono y admisiones al hospital por neumonía.



Conclusiones

Respuestas serias en el aparato respiratorio son inducidas por el ozono, tal como reducción en la función de pulmón, provocación de la enfermedad respiratoria de preexistencia (tal como asma), aumentos en las visitas diarias al departamento de admisión y de emergencias del hospital por causas respiratorias, y exceso de mortalidad. Los efectos nocivos producidos por el ozono en el sistema respiratorio dependen de factores tales como sensibilidad individual (niños, adultos sanos que hacen ejercicio al aire libre, gente con enfermedad respiratoria preexistente y ancianos), las características del clima, y concentración, duración y estatus socioeconómico de la exposición

La EPA ha establecido unos estándares de calidad ambiental nacionales del aire (NAAQS) de 235 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono en promedio de 1 hora (no ser excedido más de tres veces en un período de tres años), y 157 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en promedio de 8 horas. El índice de la calidad del aire (AQI) señala los niveles del ozono y de otros agentes contaminadores, y sus efectos sobre salud humana. Según el AQI, el NAAQS y los estudios epidemiológicos recientes, la concentración del ozono a partir de la 157 a 793 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1-h o la exposición 8-h, en grupos sensibles produce efectos de salud adversos incluyendo disminuciones de la función pulmonar, la provocación de la enfermedad respiratoria de preexistente, aumentos en admisiones de hospital diarias y mortalidad prematura. Estas personas pueden experimentar síntomas respiratorios tales como tos, dolor al realizar una respiración profunda, y reducción en la función pulmonar, que puede causar malestar al respirar. Estos síntomas se empeoran cuando la concentración del ozono aumenta. Otros efectos menos severos tales como la función de pulmón disminuida y rendimiento atlético disminuido se han observado en este rango del ozono en individuos sanos.

Según el AQI, efectos adversos en salud no se esperan en exposiciones a 0,0 a 127 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono 1-h y 8-h. Sin embargo, estudios epidemiológicos han proporcionado información de que el efecto nocivo del ozono se puede observar con exposiciones a bajas concentraciones del ozono durante una hora, 8-horas y 24-horas. Estos efectos nocivos influyen más en los grupos sensibles. Además, un número de estudios han mostrado que la existencia de otros agentes contaminantes y condiciones atmosféricas pueden empeorar los efectos adversos de salud considerados en la baja exposición al ozono.



El medio ambiente en Europa: segunda evaluación. Capítulo 5. Ozono troposférico (2)

Las principales consecuencias de la exposición al ozono son las dificultades respiratorias en personas especialmente sensibles y los daños en la vegetación y los ecosistemas (OMS, 1996a; CEPE, 1996).

Entre los efectos en seres humanos figuran una reducción de la función pulmonar y una mayor incidencia de síntomas respiratorios y reacciones inflamatorias en el pulmón. La frecuencia de visitas a las salas de urgencia de los hospitales y los ingresos por asma y otros problemas respiratorios aumentan los días en que se registran concentraciones elevadas de ozono (OMS, 1987; OMS, 1995). Con todo, las urgencias médicas no son más que la punta de un iceberg. Los días de mucha contaminación es considerable la pérdida de productividad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, que ocasionan bajas laborales y un menor rendimiento.

Los efectos que tiene el ozono sobre la salud humana a las concentraciones que se observan en Europa son bastante inespecíficos y, en muchos casos, pueden tener causas distintas a la contaminación atmosférica. Por tanto, no se puede determinar de forma directa la magnitud del impacto de la contaminación, si bien la proporción de casos atribuibles a ella puede calcularse mediante los datos relativos a la exposición de la población y los datos de estudios epidemiológicos sobre la relación entre exposición y efectos.

En ocasiones, los síntomas de exposición al ozono pueden necesitar medicación o incluso hospitalización. En numerosos estudios se ha observado relación entre las oscilaciones en el número de ingresos hospitalarios y las concentraciones de ozono. En el estudio APHEA (Efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica sobre la salud - Enfoque europeo) relativo a cinco grandes ciudades de la UE (Anderson y *co/s.*, 1997), se analizaron los datos sobre las admisiones en urgencias por bronquitis, enfisema y obstrucción crónica de las vías respiratorias. Los resultados de este estudio, junto con el cálculo de la distribución de las exposiciones al ozono en la UE, sugieren que, de todos los casos en que se acudió a urgencias por enfermedades respiratorias, un 0,3 por ciento puede atribuirse a la exposición a concentraciones de ozono que superan el umbral de protección de la salud establecido por la CE [110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (55 ppm) como promedio de 8 horas]. Más del 80 por ciento de estos casos puede atribuirse a concentraciones de ozono del orden de 110-170 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



(55-85 ppm). En Bélgica, Francia y Grecia, la proporción de ingresos atribuidos a una exposición a niveles de ozono elevados fue superior al 0,5 por ciento.

Para calcular la cifra absoluta de otros ingresos hospitalarios atribuibles a la exposición al ozono es necesario conocer la frecuencia media de hospitalización en la población y elaborar hipótesis sobre las soluciones médicas para tratar los síntomas respiratorios agudos. Éstos pueden variar entre poblaciones y, lógicamente, también entre países. El número de ingresos en Londres es la mitad del observado en cinco ciudades del estudio APHEA.

Basándose en estas observaciones de Londres (20 admisiones de urgencia al día por enfermedad respiratoria en una población de 7,3 millones), se calcula que algo más de 80 ingresos hospitalarios en la UE, en el período de marzo a octubre de 1995, podrían atribuirse a la exposición a concentraciones de ozono que exceden de 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (55 ppm, promedio de 8 horas) en áreas donde se controlan las concentraciones de ozono (es decir, la población que vive a menos de 10 km de los lugares de control).

Si la situación respecto a la exposición alrededor de los puntos de control representa la distribución global de las concentraciones de ozono en cada país, un total de casi 700 ingresos en la UE en el período de marzo a octubre de 1995 podría atribuirse a concentraciones de ozono que exceden de 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (55 ppm) como promedio de 8 horas. Del número total, más de 500 casos se habrían producido en tres países: Francia, Italia y Alemania. Esto se debe, en parte, al tamaño de las poblaciones de estos países.

Las cifras de los párrafos anteriores se refieren únicamente a los efectos de la exposición a concentraciones de ozono superiores a 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (55 ppm, promedio de 8 horas). No obstante, algunos estudios epidemiológicos parecen indicar que las hospitalizaciones aumentan también cuando las concentraciones son menores (Ponce de Leon, 1996). Un cálculo prudente, suponiendo que las concentraciones de ozono se sitúan como promedio en el intervalo de 60-110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (30-55 ppm, promedio de 8 horas) para el 20-40 por ciento de personas-día, sugiere que la proporción de ingresos hospitalarios atribuibles a concentraciones de ozono por encima de 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (30 ppm, promedio de 8 horas) podría alcanzar un 1,5 por ciento de todas los ingresos por afección respiratoria. Así, serían 400 los ingresos correspondientes a las áreas bajo control, extrapolándose a más de 3.000 ingresos en la totalidad de la UE en el período de marzo a octubre de 1995. Estos cálculos están sujetos a varias incertidumbres.



Las verdaderas cifras de los ingresos hospitalarios por efectos de concentraciones elevadas de ozono podrían llegar incluso al doble de las antes mencionadas. Con todo, como ya se ha dicho, los ingresos son únicamente el signo más grave de la incidencia de enfermedades respiratorias. En realidad, el número de personas que las padecen es mucho mayor.

En un estudio reciente del Programa ERPURS francés (Evaluación de los riesgos de la contaminación urbana sobre la salud pública) se describe un ejemplo de pérdida de productividad atribuida a una contaminación excesiva, empleando personal y datos médicos recogidos del servicio nacional de energía.

Durante los meses de verano, los días de contaminación elevada corresponden a un aumento del 22-27 por ciento de días laborables perdidos por enfermedad respiratoria y un aumento del 19-78 por ciento de días de baja por enfermedad cardiovascular (Medina y cols., 1997).

WHO Air quality guidelines for particulate mater, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide.Global update 2005 (3)

Desde la publicación de la segunda edición de las pautas de calidad del aire de la OMS para Europa, la cual fija el valor de la pauta para el ozono en el nivel de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de promedio en ocho horas diarias, poca nueva información se ha obtenido de los efectos del ozono en la salud de los estudios de campo y de cámara. Se han encontrado pruebas significativas para la evidencia de base de los efectos en la salud, sin embargo, viene de los estudios epidemiológicos de series temporales. En su conjunto estos estudios dan una positiva y pequeña, aunque convincente, asociación entre mortalidad diaria y los niveles de ozono, que son independientes de los efectos de la materia particulada. Similar asociación ha sido encontrada en Norte América y Europa. Estos últimos estudios de series temporales nos muestran efectos en la salud a concentraciones de ozono por debajo de la pauta anterior de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pero sin evidencia clara de un umbral. Esta conclusión, junto con la evidencia de estudios de campo y de cámara que indican que es considerable la variación individual de respuesta al ozono, proporciona un buen argumento para reducir la AQG WHO del ozono del nivel existente de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (valor máximo medio diario durante 8 horas). Es posible que aparezcan efectos en la salud por debajo del nuevo valor de referencia en algunos individuos sensibles. De acuerdo con los estudios de serie temporales, el aumento de muertes atribuibles se estima es de 1-2% en los días en los que la media de la concentración de ozono en 8 horas alcanza los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en



relación a los niveles de ozono cuando estos son el nivel base de $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hay evidencias de que exposiciones de larga duración a ozono pueden tener efectos pero esto no es suficiente para recomendar un valor de referencia anual. El ozono es formado en la atmósfera por reacciones fotoquímicas en presencia de la luz y precursores contaminantes. Tales como los óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (VOCs). Es destruido por reacciones con el NO_2 y es depositado en el suelo. Varios estudios muestran que las concentraciones de ozono correlacionan con oxidantes fotoquímicos tóxicos que se producen de forma similar, incluyendo el nitrato de peroxiacilo, ácido nítrico y peróxido de hidrógeno. Las medidas para controlar el ozono troposférico actúan sobre el foco de emisión de los gases precursores, pero es posible también controlar los niveles y el impacto de estos otros contaminantes. Las concentraciones de fondo del ozono troposférico varían en el tiempo y en el espacio pero pueden alcanzar el valor de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de media en 8 horas. Este se genera de emisiones antropogénicas y biogénicas de los precursores del ozono y de la intrusión del ozono estratosférico en la troposfera. De hecho, el valor de referencia propuesto puede ser ocasionalmente superado por causas naturales. Como las concentraciones de ozono aumentan por encima del valor de referencia, los efectos en la salud de la población aumentan en número y gravedad. Tales efectos se presentan en lugares en donde las concentraciones son normalmente altas debido a las actividades humanas o se eleva la concentración en episodios de altas temperaturas. El valor de referencia para 8 horas IT-1 ha sido puesto en $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$, aunque es provisional, cambios en la función pulmonar y inflamación del pulmón se han manifestado en pruebas de cámara controladas en adultos jóvenes y sanos que realizan ejercicio intermitentemente. Similares efectos se han observado en verano en estudios de campo, en niños que realizan ejercicio. Aunque algunos afirmarían que estas respuestas pueden no ser necesariamente adversas, y que estas se manifestaron solamente con los que realizan un ejercicio fuerte, estas opiniones son contrapuestas por la posibilidad que hay de que un sustancial número de personas en la población en general pueden ser más susceptibles a los efectos del ozono que los relativamente jóvenes y generalmente sanos que participan en los estudios de cámara. Además, los estudios de cámara proporcionan poca información sobre exposiciones repetidas. De acuerdo con evidencias de series temporales, las exposiciones en el nivel IT-1 se asocian a un aumento en el número de muertes de un 3-5%.

En las concentraciones de 8 horas que exceden el nivel de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, probablemente se producirán efectos significativos en la salud. Esta conclusión esta



basada en los resultados de una gran cantidad de estudios clínicos de inhalación y de campo. Se esperaba que adultos sanos y asmáticos experimentaran reducciones significativas en la función pulmonar, así como inflamación de las vías respiratorias que causarían síntomas y alterarían el funcionamiento. Hay una preocupación especial por la creciente morbilidad respiratoria en niños. Según las evidencias de las series temporales, las exposiciones a las concentraciones de ozono de esta magnitud, daría lugar a un aumento en el número de muertes atribuibles hasta un 5-9%, en relación a la explosión con el estimado nivel base.

TABLA: WHO pautas de la calidad del aire y valor provisional para el ozono: concentración en 8 horas

	Concentración diaria media en 8 horas $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bases para seleccionar el nivel
Niveles altos	240	Efectos significativos en la salud; importante proporción de población vulnerable afectada.
Valor provisional-1 (IT-1)	160	Importantes efectos en la salud; no proporciona la protección adecuada a la salud pública. La exposición a estos niveles de ozono esta asociada con: -Efectos fisiológicos e inflamación del pulmón, en jóvenes sanos haciendo ejercicio y expuestos durante un periodo de 6,6 horas. -Efectos en la salud de los niños(basado en estudios de campo realizados en verano con niños expuestos a niveles de ozono) -Se estima en un 3-5% el aumento de la mortalidad diaria(basado en estudios diarios de series temporales)
Guía de calidad del aire (AQG)	100	Proporciona adecuada protección a la salud pública, aunque algunos efectos en la salud pueden aparecer en este nivel. La exposición a este nivel de ozono esta asociada con: -Un aumento estimado de 1-2% en la mortalidad diaria(basado en estudios diarios de series temporales) -La extrapolación de estudios de laboratorio y de campo se basa en la probabilidad de que en la vida real se repita la exposición, y que en los estudios de laboratorio se excluyen a los altamente sensibles o enfermos clínicos o niños. -La posibilidad de que el ozono ambiental es un indicador de los oxidantes relacionados.

Los estudios de series temporales indican un aumento de la mortalidad diaria del orden de un 0,3-0,5% de aumento por cada $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración de ozono durante 8 horas con referencia a un nivel base estimado de $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

WHO: Air Quality Guidelines-Second Edition. Chapter 7.2. (4)

Estudios clínicos en humanos

En una gran cantidad de estudios control en humanos, se ha encontrado una disminución significativa de la función pulmonar, generalmente acompañada por otros



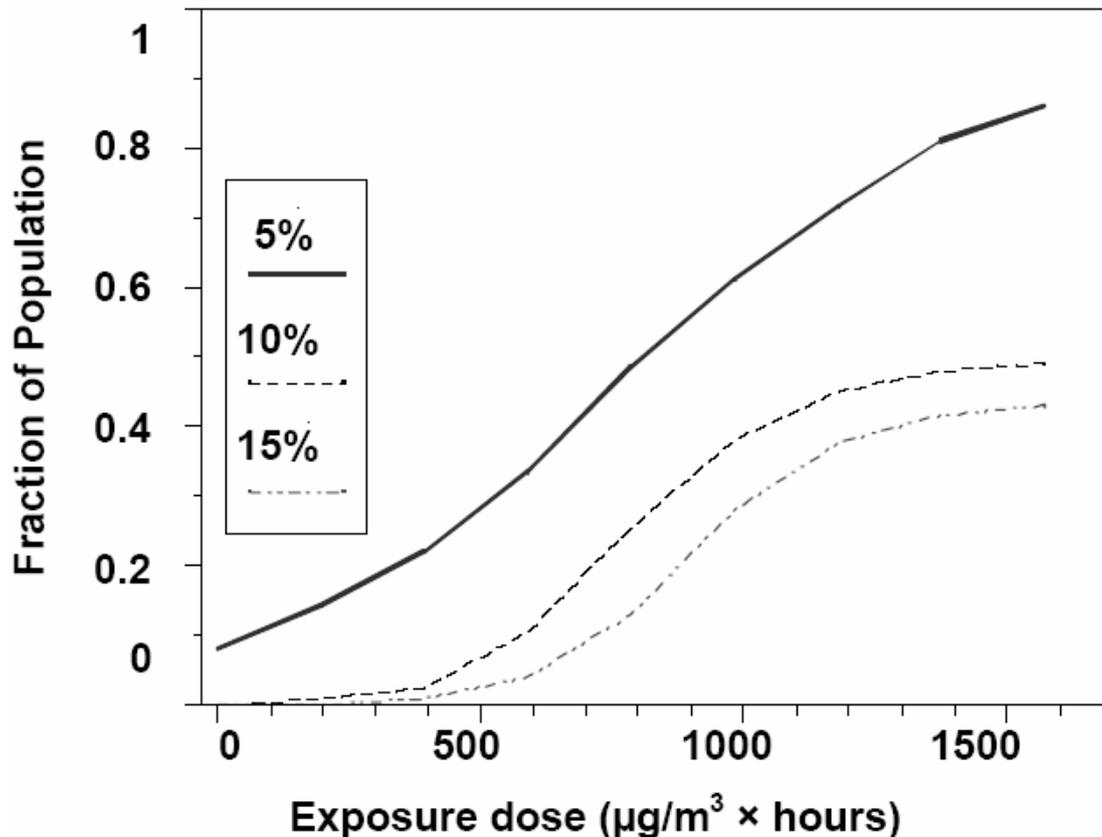
síntomas respiratorios. Estudios de exposición aguda al ozono durante 1 a 8 horas con exposiciones del rango de 160 a 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (algunos de los mas antiguos estudios la exposición es a altas concentraciones, pero los estudios recientes utilizan niveles de ozono de 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Además de jóvenes sanos blancos (la mayoría de los grupos estudiados), hombres y mujeres de varias razas, adultos ancianos y niños, y personas con asma, enfermos con obstrucción crónica del pulmón y enfermos cardiovasculares han sido expuestos. En muchos de los estudios iniciales, se utilizo un patrón de 15 minutos de ejercicio intermitente alternando con 15 minutos de descanso como duración de la exposición, la intención era asemejarse a la actividad al aire libre durante una breve exposición al ozono. Muchos otros patrones de exposición han sido utilizados, incluyendo el ejercicio continuo en periodos de hasta 90 minutos y actividad intermitente desde 15 a 50 minutos por hora y durante hasta 8 horas. El nivel de ventilación tiene una influencia importante en el inicio y en la magnitud de la respuesta a la exposición al ozono. Un incremento en el nivel de ejercicio conduce a un incremento en el nivel del ozono inhalado y a un incremento del transporte del ozono a las vías periféricas de los pulmones. Los datos de la función pulmonar se han obtenido antes, durante, y después de la exposición, así como varios días después de la exposición. Los estudios se resumen brevemente a continuación.

Con 1-3 horas de exposición al ozono de personas normales realizando ejercicio de moderado a pesado (ventilaron mayor de 45 l/min.), se han encontrado cambios en la función pulmonar en las siguientes pruebas (nivel de efecto mas bajo observado, bajo condiciones de ejercicio extenuante).

- 1.-Volumen de expiración forzada en 1 segundo (FEV1) (240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- 2.-Resistencia de la vías respiratorias (360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
- 3.-Capacidad vital forzada (FVC)(240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- 4.-Aumento de la frecuencia respiratoria (400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Con 4-8 horas de exposición al ozono de jóvenes sanos realizando un ejercicio moderado, se han encontrado los siguientes cambios en la función pulmonar:

- 1.-FEV1, 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- 2.-Resistencia de las vías respiratorias, 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- 3.-FVC, 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- 4.-Aumento de la sensibilidad de las vías respiratorias, 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



La figura presenta un modelo basado en el estudio de Horstman que dice la fracción de la población expuesta en la que se prevé que experimentara disminuciones del 5%, 10% y 15% en FEV1 con varias combinaciones de la concentración de ozono y duración expresadas como la dosis de exposición CT (concentración de ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)X horas de exposición). De esta figura se puede estimar que el 10% de los sujetos mas sensibles mientras realizan una actividad de moderada a vigorosa durante la exposición a ozono experimenta una disminución del 10% de FEV1 con una dosis de exposición de de aproximadamente 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{hora}$ (ejemplo 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante 3 horas).

El factor determinante de la respuesta al ozono incluye no solo el producto CT sino también la dosis-ventilación (el producto concentración-ventilación, CVE). Esto es puesto de manifiesto en el estudio de Hazucha que encontraron mayores respuestas al ozono en una mayor dosis-ventilación, aun cuando una la exposición total CT era la misma. Este estudio también demostró que una exposición prolongada (8 horas) a una concentración baja (240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) dio lugar a una estabilización de la respuesta de la función pulmonar después de 5 o 6 horas, indicando que esta respuesta no continua disminuyendo con el aumento de la duración de la exposición. Sin embargo debe ser



reconocido que exposiciones con actividad al aire libre de una hora aproximadamente es experimentado por no más de un 2-3% de la población en general.

La gravedad de los efectos respiratorios y otros síntomas paralelos afectan a la función pulmonar en magnitud y duración. Sin embargo, la función pulmonar y las respuestas de los síntomas no tienen una alta correlación individualmente. Los síntomas que han sido descritos incluyen tos, irritación de garganta, dolor al respirar hondo, opresión de pecho, dolor debajo del esternón y raramente, dolor de cabeza y náuseas. Además de causar cambios funcionales y síntomas, el ozono es capaz de inducir sensibilidad no específica creciente de las vías aéreas a la acetilcolina, metilcolina e histamina. El ozono ha estado implicado más recientemente en el aumento de la reactividad de las vías respiratorias al antígeno "challenge", aunque estos datos son iniciales y la relaciones dosis-respuesta no han sido establecidas.

El ozono causa una ligera respuesta inflamatoria aguda en los pulmones, como podemos ver en varios estudios recientes que utilizan BAL. El ozono induce daños de tipo I en las células del epitelio alveolar y células ciliadas epiteliales de las vías respiratorias con la liberación de mediadores proinflamadores tales como interleuquinas 6 y 8 y prostaglandina E2. La liberación de estos y otros mediadores conduce a una afluencia de leucocitos polimorfonucleados, activación de los macrófagos alveolares, inflamación, y aumento de la permeabilidad epitelial. La inflamación esta caracterizada por eritema de las vías respiratorias, acumulación de leucocitos polimorfonucleados, y aumento de los niveles de proteínas y varios mediadores inflamatorios. Algunas medidas de la capacidad fagocitaria de los macrófagos alveolares también disminuyen con la exposición al ozono. La elaboración de los mecanismos de respuesta y el significado de los cambios en todos los mediadores no se conoce completamente. Con exposiciones de 1-3 horas realizando ejercicio pesado, se han observado respuestas a los niveles de ozono de hasta 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, pero resultados a niveles inferiores no se han encontrado. Con exposiciones de 6-8 horas realizando ejercicio moderado se han observado pequeñas respuestas a 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Respuestas inflamatorias también se han observado en las vías aéreas nasales, la concentración más baja en la cual se observa esta respuesta es 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en sujetos en reposo. A niveles de ozono en el exterior de $>180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (nivel máximo de 263 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), existen evidencias de alumnos en Alemania que experimentan inflamación de las vías nasales, indicando que personas que realicen una actividad recreativa en el exterior puede mostrar respuestas al ozono.



La respuesta inflamatoria aparece al cabo de una hora después de la exposición y persiste por lo menos durante 20 horas, aunque el patrón de la respuesta cambia con el tiempo. Elevados niveles de mediadores proinflamatorios agudos (tales como prostaglandina E2 y interleuquina-6) son más elevados inmediatamente después de la exposición, mientras que el máximo de los niveles de los leucocitos polimorfonucleados se alcanza 6-12 horas después, los mediadores que se crean están comprometidos en un proceso de reparación (ejemplo fibronectin) están más elevados después de 18-20 horas. La duración y el tiempo transcurrido de la respuesta inflamatoria aguda probablemente varía de una persona a otra y bajo diferentes condiciones de exposición, y no ha sido estudiada con suficiente detalle.

La recuperación funcional de una sola exposición no es lineal con respecto al tiempo. Inicialmente, hay una mejora rápida de la función pulmonar y los síntomas; normalmente una mejora del 50% dentro de 1-3 horas y una recuperación de los valores de preexposición en el plazo de 24-48 horas. La recuperación de otros sistemas reguladores no es necesariamente paralela a la recuperación funcional y sintomática y los efectos pueden persistir durante más de 48 horas.

Las exposiciones repetidas diarias de laboratorio, a corto plazo dan lugar a un patrón de respuesta al ozono alterado. Con exposiciones repetidas a concentraciones relativamente altas de ozono las disminuciones de la función pulmonar son mayores después del segundo día de exposición que después del primero. Esta sensibilidad aumentada puede persistir durante más de 48 horas, dependiendo del nivel de exposición. Con una exposición continua después del segundo día, la sensibilidad al ozono es atenuada eventualmente y cambios mínimos se observan normalmente después de cuatro o cinco días de exposición. Con exposiciones a bajas concentraciones de ozono o regímenes de exposición menores producen una menor respuesta funcional, la primera respuesta es máxima y la atenuación de la respuesta comienza con la segunda exposición. La atenuación de los síntomas respiratorios sigue un tiempo transcurrido similar a los de las respuestas en la función pulmonar. Tal atenuación como resultado de la repetidas exposiciones de laboratorio aparentemente solo aparecen cuando la exposición inicial es suficiente para producir cambios funcionales, y persiste solo durante 4-7 días. Algunos elementos de la respuesta inflamatoria siguen siendo perceptibles después de 5 días de la exposición, pero el patrón de células y mediadores es considerablemente modificado inmediatamente después de una exposición aguda. Estudios con animales indican que los daños celulares no se atenúan, se ha encontrado respaldo en los elevados niveles de lactato



deshidrogenada observados en humanos después de 5 días de exposición en el laboratorio.

Un número de estudios recientes de pacientes con enfermedad obstructiva crónica de pulmón y asma sugieren que estas personas son semejantes a las personas sanas en su respuesta espirométrica al ozono. Mas recientemente se ha encontrado que los asmáticos tiene una similar y restrictiva respuesta (ejemplo disminución de FVC) pero una mayor respuesta broncoconstrictiva (ejemplo aumento de la resistencia en las vías respiratorias) que los no asmáticos. El ozono puede también aumentar la respuesta máxima a la broncoconstricción 12 horas después de la exposición al ozono de personas sanas y asmáticas, el efecto es mayor en las personas sanas. En otro estudio, Scannell estudia la respuesta de un grupo de personas asmáticas expuestas al ozono utilizando el mismo protocolo previamente utilizado por personas sanas, no encontrando diferencias significativas en la respuesta de la función pulmonar y una tendencia no significativa de la resistencia en las vías respiratorias altas. Las personas asmáticas tenían un significativo mayor incremento inducido por el ozono en la inflamación de los puntos finales del fluido BAL (porcentaje de neutrofilos+proteína total).

Las respuestas de los pacientes enfermos de obstrucción pulmonar crónica, que eran de mediana edad y mayores adultos, no se compararon a controles de la misma edad y sanos, de este modo su sensibilidad relativa es desconocida. Sin embargo, se encuentra que los adultos mayores son menos sensibles que los adultos jóvenes. Los fumadores son aparentemente menos sensibles al ozono que los no fumadores, y su sensibilidad puede volver después de un tiempo de dejar de fumar.

Se cree que los pacientes con enfermedad pulmonar y los fumadores se les incrementa el riesgo inducido por el ozono, disminuyendo la función pulmonar, porque cualquier disminución puede tener un efecto grave sobre la salud, pues está ya la tienen comprometida. No existen datos suficientes para determinar si los varones o las hembras son más sensibles al ozono, aunque las diferencias serán pequeñas, si existen. La posibilidad de diferencias raciales en la sensibilidad no ha sido ampliamente investigada, pero no hay evidencia de diferencias claras en la respuesta entre descendientes de americanos y europeos y africanos. Dentro de una aparente población normal, hay una amplia gama de sensibilidad al ozono entre adultos jóvenes y sanos. Las respuestas entre individuos parecen ser reproducibles durante un periodo de varios meses (ejemplo un individuo que es altamente sensible permanecerá altamente sensible). La reproductibilidad de las respuestas entre niños y personas con



enfermedad respiratoria no está establecida, pero las respuestas de los más viejos, que son generalmente menores, pueden ser menos reproductivas que las de adultos jóvenes.

Estudios epidemiológicos y de campo

Los estudios epidemiológicos y de campo han mostrado numerosos efectos agudos de salud que se asocian a los niveles ambientales de ozono o de oxidantes. Las asociaciones han sido demostradas entre los niveles diarios de ozono y mortalidad, las admisiones de hospitalarias por enfermedad respiratoria, y las visitas a emergencias. Kinney y Ozkaynak (92.93) encontraron un aumento de 0.4-0.8 muertes por día por millón de habitantes estaba asociado a un aumento de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración del ozono, aunque esta relación no se presenta muy grande cuando el nivel total de partículas suspendidas eran consecuentemente justificadas Anderson et al. (94) encontró un incremento del 3.5% en la mortalidad por todas las causas asociada con un aumento de 57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración del ozono.

Esta asociación era más fuerte en el verano que en el invierno. El número limitado y los resultados contradictorios de los estudios no proporcionan un gran consenso para que el ozono este relacionado con la mortalidad. La asociación más fuerte y consistente es con las admisiones hospitalarias por causas respiratorias en varias localidades norteamericanas (e.g. Ontario meridional, Canadá; Nueva York, Nuevo-Yérsey y Atlanta, GA, los EE.UU.) y en algunas ciudades en Europa (e.g. Londres, Helsinki). El ozono es significativamente asociado con el tratamiento médico para el asma (admisiones hospitalarias, visitas a emergencias) especialmente en el este de Norteamérica pero también en Helsinki y Róterdam, asociado positivamente pero no significativamente en Ámsterdam y no significativamente en París y Seattle.

Se ha estimado que el ozono ambiental produce de una a tres admisiones hospitalarias por problemas respiratorios por millón de habitantes por cada incremento de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración (1).

Una serie de estudios de campo, designados comúnmente como "camp studies", utilizando niños y adolescentes expuestos al aire ambiente mientras que están en campamentos de verano, proporciona una base de datos extensa de la cual estimar respuestas espirométricas al ozono ambiental. Una explicación preferente es la pendiente de la relación entre FEV1 y la concentración del ozono durante la hora anterior (aunque las exposiciones han ocurrido durante varias horas). La disminución media de seis estudios era de 0,32ml por 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.64 ml/ppb) dentro de una gama



de concentración del ozono de 20- 320 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Para una exposición de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, corresponde a una disminución de FEV1 de 64 ml de un nivel base de aproximadamente 2000-2500 ml, una disminución de 2.5-3.5%.

Esto es comparable a los resultados de McDonnell et del al. para niños de 8-11 años expuestos a 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante 2 horas; se encontraron un 3.4 % de disminución de FEV1. Sin embargo, los últimos niños realizaron un ejercicio pesado intermitentemente durante 60 minutos de su exposición. Así las exposiciones no son similares en nivel de actividad y la duración total de la exposición. Los estudios recientes han demostrado una asociación entre la disminución espirométrica en adultos que realizaban ejercicio al aire libre y los aumentos de los niveles de ozono ambiental. En uno de éstos estudios las disminuciones medias de FEV1 son del orden de 1 ml por $1\mu\text{g}/\text{m}^3$, correspondiendo a la media de los cambios hasta un 3.5%. Tales respuestas son similares a los cambios que se han observado en las personas expuestas a niveles comparables de ozono (en términos de concentración, duración y intensidad del ejercicio) en cámaras de atmósfera controlada.

Los niveles de oxidantes en el ambiente se han asociado a síntomas respiratorios, especialmente tos, comenzando en exposiciones de cerca de 300-400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En los asmáticos expuestos al ozono en sus vidas diarias, una incidencia creciente de ataques asmáticos y síntomas respiratorios han sido asociados a los aumentos de los niveles de ozono aunque este efecto es a menudo difícil de separar de otros cofactores (temperatura, biocontaminantes, otros agentes contaminadores).

Un nuevo descubrimiento, todavía no corroborado, encontró relación entre un aumento medio anual en la concentración de ozono de 10 ppb y el desarrollo del asma en hombres, pero no en mujeres. Al parecer, los hombres están afectados porque pasan más tiempo al aire libre.

En contraste con todos los estudios previamente citados en personas sanas, Thurston et el al. estudiaron las respuestas de un grupo de niños con asma de moderado a grave a la contaminación veraniega en un campamento de verano en Connecticut rural. Las respuestas medidas eran cambios en el máximo del índice de flujo expiratorio (PEFR), la frecuencia de síntomas y el uso no programado de medicación recetada por un médico como una función de los niveles diarios de agentes contaminantes, del polen y de la temperatura ambiente. Se encontraron cambios significativos en la concentración para el ozono y para el ion hidrogeno y oxido de azufre contenidos en las partículas finas en relación con el PEFR, bajos



síntomas respiratorios y el uso de medicación no programada (con y sin el ajuste para los efectos de la temperatura).

Estudios comparables en niños sanos del mismo grupo de investigadores no encontraron ninguna respuesta de síntomas o uso de medicación. Las respuestas PEFr a las concentraciones de ozono eran similares en magnitud, pero los niños sanos eran mucho más físicamente activos y por lo tanto tenían dosis más altas en la superficie de las vías respiratorias. Así, los niños asmáticos tenían mayores cambios en la función en relación con la dosis que, cuando se considera en relación a la reducción de su capacidad funcional, produciendo un mayor estrés en la salud. Además, estas respuestas aparecían a concentraciones ambientales relativamente bajas de ozono. La concentración máxima diaria de ozono era $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pero las respuestas seguían siendo estadísticamente significativas cuando los días con concentraciones máximas menores de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fueron excluidos.

La mayor sensibilidad de los niños asmáticos al ozono ambiental sugiere que los sujetos con asma pueden requerir buscar servicios de cuidados intensivos de médicos privados, clínicas y hospitales. Esta hipótesis es apoyada por los resultados encontrados para las visitas clínicas asociadas al ozono, las visitas a emergencias hospitalarias y las admisiones hospitalarias por asma y otras enfermedades respiratorias.

Una observación temprana con respecto a la exposición ambiental a oxidantes era que el rendimiento de los corredores expuestos a oxidantes se deterioraba cuando la concentración del oxidante estaba entre $240\text{-}740 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las exposiciones en cámara también han demostrado un efecto del ozono en el rendimiento del deporte. Una reducción del 16% del consumo máximo de oxígeno se ha observado en exposiciones de una hora realizando un ejercicio pesado a niveles de ozono de $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El rendimiento en el ejercicio se deteriora claramente a niveles de exposición de $320\text{-}480 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y posiblemente a tan solo $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Utilizando una cámara móvil en un área altamente contaminada, mostraba que el efecto del aire ambiental que contenía ozono era similar al del mismo nivel de ozono generado en aire purificado. Los estudios clínicos en humanos han demostrado pocas y variables interacciones con otros agentes contaminantes (e.g. dióxido del nitrógeno, dióxido de sulfuro, ácido sulfúrico, los etc.) pero normalmente respuestas aditivas con síntomas respiratorios o espirométricos. En un estudio, la exposición al ozono aumentó la sensibilidad de las vías aéreas al dióxido de sulfuro en los asmáticos.



Hay información limitada que ligue la exposición a largo plazo al ozono a los efectos de crónicos de salud. En comparaciones entre residentes de comunidades con niveles altos" y "bajos" de ozono/oxidantes, se han observado diferencias en la sensibilidad de las vías respiratorias y, posiblemente, lesiones pulmonares. Las últimas observaciones se basan en datos limitados de la autopsia y no incluyen la valoración por exposición a ozono, fumar o puesto de trabajo. Aunque hay indicios de que las exposiciones acumuladas al ozono se pueden relacionar con el aumento de gravedad del asma y la posibilidad de aumento del riesgo de nuevo asma, esta asociación no está claramente establecida. Un problema persistente en los análisis de las asociaciones entre los índices agudos y crónicos de la salud y los niveles ambientales de ozono es la fuerte asociación con los niveles de partículas en muchos estudios, haciendo difícil de determinar el papel del ozono por sí mismo. Sin embargo, la evidencia proporcionada por estudios de los efectos en salud que se relacionan con exposición ambiental crónica al ozono son consistentes indicando efectos crónicos en el pulmón.

La contaminación atmosférica fotoquímica es un factor causante de la irritación de los ojos. Esto es debido a los componentes del no-ozono (e.g. nitrato de peroxiacetilo) de la mezcla fotoquímica y aparece cuando los niveles de ozono están sobre 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

CONCLUSIONES

Al aumentar los niveles de ozono, los efectos adversos que se producen sobre la salud dependen más de la duración de la exposición que de las concentraciones máximas. El grado de empeoramiento de los efectos depende de varios factores incluyendo concentración y duración de la exposición, características del clima, sensibilidad individual, enfermedades respiratorias pre-existentes y estatus socioeconómico.

Los efectos que se pueden producir son:

- Deterioro de la función pulmonar, envejecimiento prematuro de los pulmones.
- Mayor incidencia de ataques asmáticos y síntomas de disfunción respiratoria en asmáticos.



- Malestar en las vías respiratorias y tos.
- Irritación ocular, de nariz y garganta.
- Cefaleas.
- Nauseas.
- Aumenta el nivel en las vías respiratorias de acetilcolina, metilcolina y histamina.
- Alteraciones del sistema inmunológico.
- Empeoramiento de las enfermedades respiratorias pre-existentes
- Reduce la capacidad del sistema inmunitario frente a las infecciones bacterianas en el sistema respiratorio.
- Daños permanentes en el pulmón.
- En niños daños repetidos en el pulmón puede conducir a una reducción de la función pulmonar en la edad adulta.

BIBLIOGRAFIA:

- (1) <http://www.airinfnow.org/html/o3profs.html>
- (2) <http://reports.es.eea.europa.eu/92-828-3351-8/es/page005.html>
- (3) http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair_agg/en/index.html
- (4) http://www.euro.who.int/air/activities/20050223_4