

LAS MÚLTIPLES ARISTAS DEL OZONO

Bárbara Elena García Triana

INTRODUCCION:

El ozono (O₃) es un gas de color azul que constituye una forma inestable del oxígeno. Es muy común que se haga referencia a este compuesto indistintamente como un agente beneficioso o perjudicial. Al O₃ se le ha encontrado variada utilidad industrial. Sin embargo, derivado de este uso, son actualmente numerosos los estudios dedicados a esclarecer el efecto del O₃ como parte de los gases contaminantes atmosféricos en la inducción de afecciones pulmonares. Por otra parte, la protección de la capa de O₃ estratosférica se ha convertido en objetivo fundamental para la supervivencia de la vida en nuestro planeta. También se incrementa cada día el número de artículos científicos que reportan los beneficios del uso terapéutico del O₃.

Usos del ozono:

Se ha utilizado ampliamente en la desinfección, desodorización y purificación del aire y agua, en el blanqueado y encerado de aceites y en la síntesis inorgánica entre otros. Mención aparte merecen las potencialidades terapéuticas de este compuesto, que serán abordadas más adelante.

El ozono como contaminante atmosférico:

Algunos estudios revelan que el O₃ estratosférico funciona en la naturaleza como purificador natural y que bajos niveles en el aire entre 0,005-0,02 ppm (partes por millón), tienen efectos beneficiosos para la salud de animales y seres humanos; sin embargo, altos niveles de O₃ en la troposfera baja son tóxicos y representan una amenaza para el hombre. Es un constituyente natural de la atmósfera y sus niveles de base en la atmósfera inferior pueden variar desde 0,02 ppm en regiones no contaminadas, hasta 0,5 ppm o más en regiones con alta contaminación atmosférica [Spencer JPE et al., VIII Biennale Meeting International Society for Free Radical Research. Barcelona (1996)]. También influyen las elevaciones geográficas, las radiaciones solares y los cambios climáticos.

El O₃ se forma de manera natural por la acción de las radiaciones ultravioletas (UV) sobre el oxígeno atmosférico y por fotoactivación, fotodescomposición y reacciones por radicales libres entre contaminantes atmosféricos productos de la actividad humana, como son: los hidrocarburos aromáticos policíclicos y los óxidos de nitrógeno y oxígeno. Por lo tanto, se considera

un polutante secundario. También se genera en la vecindad de equipos eléctricos de alto voltaje en funcionamiento y en pequeñas concentraciones en el entorno de lámparas, fotocopiadoras, etc. Los aviones que vuelan a gran altura (a más de 18 Km), se exponen también a aumentos de concentraciones de O₃ en la cabina. [Maltoni C et al., Living in a Chemical World: Occupational and Environmental Significance of Industrial Carcinogens. The NY Academy of Sciences. New York (1988)].

Su toxicidad depende de sus propiedades oxidativas. Induce reacciones por radicales libres al atacar a los fosfolípidos de las membranas celulares o de la capa líquida de recubrimiento epitelial, con la generación de peróxidos lipídicos que pueden actuar de manera directa sobre los macrófagos alveolares pulmonares o por supresión indirecta de los mediadores farmacológicos o inflamatorios.

Se ha estimado que la exposición a 50 ppm durante 30 minutos probablemente sea fatal para los humanos. Las afecciones que produce son variadas y dependen del grado y tiempo de exposición. Se ha descrito en las vías respiratorias: edema pulmonar por exposición aguda severa (9 ppm más otros contaminantes atmosféricos), sequedad e irritación de las mucosas del tracto respiratorio, aumento de la susceptibilidad a las infecciones virales y bacterianas de las vías respiratorias, bronquiolitis y bronquitis (en animales), disminución en un 20% de la capacidad vital del pulmón, tos, dolor subesternal y esputo excesivo.

Otras posibles alteraciones incluyen: irritación de las mucosas oculares, reducción de la adaptación a la oscuridad, alteración del balance muscular extraocular, náuseas, cefalea y disminución en un 50% de la velocidad de desaturación de la oxihemoglobina.

En diversos modelos de carcinogénesis, se ha demostrado un aumento de cáncer del pulmón al exponerse al O₃. Exposiciones intermitentes provocan respuestas proliferativas de las células pulmonares. También se ha detectado que puede actuar como co-carcinógeno de otros contaminantes ambientales. Esto tiene gran implicación para la salud pública ya que se ha estimado que los factores ambientales participan en más del 70% de los cánceres humanos [Sasco AJ., *Bull Acad Natl Med* 179:987-1004(1995)]. El O₃ daña también a las plantas afectando los bosques y cultivos de alimentos. Además afecta los materiales textiles, gomas, tintes y pinturas.

Sus niveles en el ambiente están sujetos a regulación gubernamental. El nivel límite se situó a un promedio por hora de 0,12 ppm (235 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) que no debía ser excedido más de una vez al año. Sin embargo, recientemente se ha considerado más apropiado 0,08 ppm promedio en 8 horas que no debe ser excedido más de 4 veces al año.

La capa estratosférica de ozono.

Esta capa atmosférica se localiza entre 10-50Km por encima de la superficie terrestre y tiene un grosor de alrededor de 0,3 mm. Esto es suficiente para bloquear las diferentes longitudes de ondas de las radiaciones ultravioletas solares sobre todo las de tipo B (UV-B) que son las más peligrosas para la salud.

El O_3 es un gas inestable y muy vulnerable a ser destruido por diferentes compuestos que contienen nitrógeno, hidrógeno y cloro.

En la década del 70, los científicos descubrieron un agrietamiento en la capa de O_3 sobre la Antártida. Se señalaron como responsables diferentes contaminantes de naturaleza química que son emitidos a la atmósfera producto de actividades humanas y que eran considerados "ideales" por su utilidad industrial y para el consumo.

Dentro de ellos se encuentran los gases freones o clorofluorocarbonos (CFC) como el diclorofluorometano (FC12), el triclorofluorometano (FC11), y el clorodifluorometano (FC22). Esta es una familia de productos sintéticos ampliamente utilizados como refrigerantes, como expelentes de solventes desengrasantes, extintores de incendio, plaguicidas, cosméticos, intermediarios en la producción de polímeros, etc. Su contenido en cloro altamente reactivo y su estructura estable que les confiere larga vida media, les proporcionan tiempo suficiente para ascender a la estratosfera donde cada molécula destruye miles de moléculas de O_3 . [Dekant W., *Environ Health Perspect*, **104**:75-83(1996)].

También son dañinos para la capa de O_3 el tetracloruro de carbono y el metilcloroformo, entre otros. Por su tendencia a acumularse en los polos de la Tierra, es allí donde su efecto destructor es mayor.

La reducción del ozono estratosférico produce un aumento de las radiaciones UV solares que alcanzan la superficie de la Tierra.

Estas radiaciones, fundamentalmente las del tipo B (UV-B), provocan un aumento de la incidencia de cáncer de la piel, principalmente melanomas, uno de los tumores malignos más invasivos. La incidencia de esta enfermedad se ha duplicado en los últimos cuarenta años. También se encuentran implicadas en la aparición de carcinoma de células escamosas entre otros tipos de cáncer de piel. Se

calcula que el deterioro de la capa de O_3 en un 10% provocaría un aumento del 26% de la incidencia de cáncer de piel. Se cree que esto se debe tanto al daño al ADN que provocan estas radiaciones como a la afectación del sistema inmune [Kripke ML., *Cancer Res* **54**:6102-05 (1994)]. Dentro de las alteraciones en el ADN, son relevantes las mutaciones que inducen en el gen que codifica a la proteína p53, un supresor tumoral.

Otros efectos ambientales incluyen: la afectación de las plantas terrestres (disminución del rendimiento, alteración en la competencia entre las especies, disminución de la actividad fotosintética, susceptibilidad a la enfermedad y cambios en la estructura y pigmentación de las plantas) y los ecosistemas acuáticos en los que producen disminución de la movilidad y orientación del fitoplacton marino cambiando sus reacciones fotosintéticas y enzimáticas en general. La disminución en la productividad de estos organismos puede afectar especies superiores y provocar cambios en la biodiversidad. La disminución del crecimiento del fitoplacton también puede reducir la captación de CO_2 por los océanos conduciendo a un incremento de esta molécula en la atmósfera lo que puede tener implicaciones en el calentamiento global. Los microorganismos procariontes responsables de la fijación del nitrógeno son también susceptibles a estas radiaciones lo que puede resultar en cambios en el ciclo biogeoquímico del nitrógeno.

Por último, el incremento de la llegada de radiaciones UV-B a la superficie terrestre puede provocar cambios en la química troposférica que induzcan un aumento de la producción de "smog" fotoquímico en áreas urbanas, disminuyendo la calidad del aire.

En 1985 se adoptó el Convenio de Viena, que fue reforzado antes de su puesta en vigor, cuando se firmó el protocolo de Montreal, en el cual se establecieron restricciones para el uso, producción y consumo de las sustancias destructoras de la capa de O_3 . En 1990 en Londres, se estableció una enmienda al protocolo, donde se reducen los plazos para la eliminación de los gases dañinos. En esencia se plantea que entre 1990 y el 2005 deberán irse reduciendo gradualmente las sustancias contaminantes hasta su desaparición definitiva [Registro de Tratados y Otros Acuerdos Internacionales Relativos al Medio Ambiente. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Desarrollo. Nairobi (1991)]. A pesar de estos esfuerzos, el incremento en la producción de estos gases sólo ha disminuido. El agujero en la capa de O_3 crece sobre Europa a un ritmo del 6% cada decenio y las mediciones demuestran que el proceso se está acelerando [Conferencia de

Naciones Unidas Sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Conferencia 151/26 (Vol.2) Río de Janeiro(1992)]. Organizaciones de Naciones Unidas señalaron a fines de 1995 que la tendencia al adelgazamiento de la capa de ozono persiste no sólo en la Antártida, sino que también se manifiesta en latitudes medias de ambos hemisferios, en zonas densamente pobladas. Por lo tanto se hace necesario continuar las investigaciones en este campo y la adhesión de todos los estados a las regulaciones establecidas.

Uso terapéutico del ozono:

Por mecanismos no bien comprendidos, el O₃ manifiesta acciones bactericidas, fungicidas y virucidas, por lo que puede constituir el tratamiento de elección en algunas enfermedades y coadyuvante en otras.

Se han utilizado diferentes formas farmacéuticas y de administración como son: mezcla gaseosa u oleosa para uso externo, autohemoterapia, insuflación del gas, inyección intramuscular, agua ozonizada y balneoterapia con ozono.

Dentro de las afecciones tratadas se encuentran: heridas no cicatrizantes, quemaduras, úlceras de extremidades y de decúbito, infecciones virales, bacterianas y fúngicas, lesiones por radiación, asma, acné, hiperlipidemia, osteoporosis

menopáusicas, cirugía dental y enfermedad periodontal, gastritis, inflamación intestinal crónica, purificación sanguínea para transfusiones, etc. De gran importancia es el hecho de que las células cancerosas poseen menor capacidad de defensa antioxidante que las normales, lo que las hace más susceptibles a la acción oxidativa del O₃. No obstante, la mayoría de los estudios carecen de adecuado control, por lo que se requieren esfuerzos de la comunidad científica internacional en este sentido.

CONCLUSIONES

El tema del ozono debe ser tratado de manera detallada por la sociedad humana actual. Como muchas otras sustancias puede ser beneficioso o perjudicial para la vida en la Tierra. El mantenimiento de la integridad de la capa de ozono estratosférica por una parte y la disminución de las concentraciones de ozono en las capas bajas de la atmósfera hasta alcanzar niveles beneficiosos, debe continuar siendo objetivo de numerosos esfuerzos con el fin de lograr la supervivencia de la vida en la Tierra a largo plazo. Por otra parte, el ozono posee propiedades terapéuticas que deben ser exploradas en estudios adecuadamente controlados, de manera que se pueda convertir en una útil herramienta para la prevención y tratamiento de numerosas enfermedades.

TOXICIDAD DE BORO EN LAS PLANTAS

Eugenio Muñoz Camacho, M^a del Mar de La Fuente y M^a Jesús Rodríguez Guerreiro

Este tema se incluye como ejemplo dentro de las materias en el desarrollo de temas de la asignatura de Ingeniería Ambiental, para mostrar los efectos que pueden presentar distintos productos químicos sobre el medio. Dada la amplia experiencia del grupo de trabajo sobre la eliminación de boro por tratamiento de aguas contaminadas con este elemento, se dispone de gran cantidad de datos al respecto, que permiten definir con claridad y concreción los daños sobre el medio natural en el contexto de un aula.

Los micronutrientes esenciales que los organismos vegetales necesitan para su desarrollo son: Hierro, Manganeso, Cobre, Zinc, Boro, Molibdeno y Cloro.

El efecto favorable del boro sobre el crecimiento de las plantas fue observado por primera vez por Bertrand (1911) y Agulhon (1910), siendo muy conocidos los síntomas de deficiencia en un gran número de cultivos por lo que se ha convertido en

un micronutriente muy importante en la agricultura.

Sin embargo, el boro también puede causar síntomas de toxicidad en determinadas áreas provocando graves daños a las plantas debido, por ejemplo, al uso de agua de riego contaminada con una alta concentración de este elemento. Dicha contaminación puede ser provocada por: vertidos urbanos (ricos en detergentes y productos de limpieza); vertidos industriales y productos químicos utilizados en la agricultura. Las concentraciones de boro en agua de riego menores de 0,70 µg B/ml, suelen ser beneficiosas para la mayoría de las plantas y, sin embargo, los valores comprendidos entre 1,0 y 4,0 µg B/ml producen necrosis celular siendo inadecuadas para las plantas [Martínez J.L., de la Fuente M.M., Muñoz E. *El boro en los vertidos industriales*. Ingeniería Química **9**: 163-169 (1999)].

Los cultivos pueden clasificarse, atendiendo a