

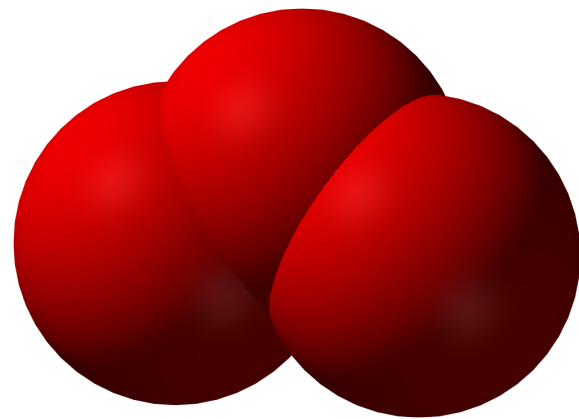
¿Qué es el ozono?

El ozono es una de las formas químicas en las que el oxígeno se encuentra en la naturaleza, además del oxígeno molecular. Juega dos roles importantes en la atmósfera dependiendo de la región en la que se encuentre.

El ozono (O₃) es una molécula triatómica formada por átomos de oxígeno. Es un alótropo del oxígeno mucho más reactivo que el oxígeno diatómico (O₂). Es un poderoso oxidante que reacciona rápidamente con otros compuestos químicos, es inestable cuando se encuentra en altas concentraciones. Bajo condiciones atmosféricas normales, el ozono decae a oxígeno diatómico en un lapso de aproximadamente 30 minutos. En 1840, el químico alemán Christian Friedrich Schönbein le dio el nombre de ozono, de la raíz griega ozein (olor), debido a su olor característico.

El ozono es un componente natural de la atmósfera que se encuentra en bajas concentraciones y es vital para la vida. La mayor parte del ozono se encuentra en la parte superior de la atmósfera en una región de la estratosfera, a más de 20 km de la superficie, llamada ozonósfera en donde se concentra más del 90% del ozono atmosférico y forma una capa que limita el ingreso de radiación ultravioleta proveniente del Sol.

Al nivel de la superficie, el ozono en altas concentraciones es un contaminante del aire que provoca efectos nocivos en la salud humana, las plantas y los animales. Tiene además una contribución al calentamiento global.



La capa de ozono

Alrededor del 90% de todas las moléculas del ozono residen en la estratosfera en una región definida conocida como ozonósfera, a una altitud entre 20 y 30 km. Esta región también se conoce como capa de ozono.

La capa de ozono evita que los peligrosos rayos ultravioleta lleguen a la superficie de la Tierra. El ozono absorbe longitudes de onda menores a 345 nanómetros (nm), también absorbe débilmente longitudes de onda entre 450 y 750 nm.

En 1974 Molina y Rowland demostraron que los compuestos antropogénicos clorados pueden destruir la capa de ozono. Desde finales de los 70 la reducción de la capa de ozono se relaciona directamente con el incremento en la concentración de cloro y bromo en la atmósfera.

El ozono estratosférico

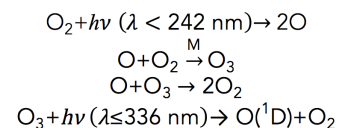
La estratosfera es la capa de la atmósfera que se encuentra sobre la tropósfera a una altitud entre 10-50 km. En esta región ocurre la absorción de la mayor parte de la radiación solar ultravioleta.

El ozono desempeña un papel central en la química atmosférica, además de ser un gas altamente reactivo, es capaz de absorber luz infrarroja y ultravioleta, contribuyendo al efecto invernadero y proporcionando protección contra la luz ultravioleta del Sol.

La fotoquímica de la producción del ozono en la estratosfera es similar a la que ocurre en la tropósfera, excepto que el ozono estratosférico se produce después de la fotólisis del oxígeno molecular, mientras que en la tropósfera se produce después de la fotólisis del dióxido de nitrógeno.

En 1930 el físico inglés Sydney Chapman sugirió que la fotólisis del oxígeno molecular era la responsable de la formación del ozono en la estratosfera y propuso las reacciones fundamentales

de formación-destrucción de ozono, estas reacciones se conocen como el ciclo de Chapman:



De manera general, la formación del ozono en la estratosfera ocurre en un proceso de dos pasos. En el primero, la luz ultravioleta rompe fotolíticamente una molécula de oxígeno (O₂), separándola en dos átomos de oxígeno (O). En el segundo, cada átomo de oxígeno colisiona con otra molécula de oxígeno para formar una molécula de ozono. El ozono formado puede separarse fotolíticamente por acción de la luz ultravioleta para generar una molécula de oxígeno y un átomo de oxígeno en estado excitado.

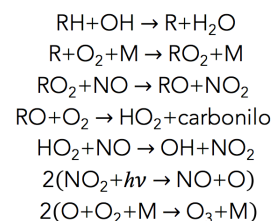
Las mayores concentraciones de ozono ocurren en donde la radiación solar ultravioleta encuentra la cantidad suficiente de oxígeno, generalmente a una altitud de 25 a 32 km. La concentración de ozono disminuye gradualmente al descender en la tropósfera.

El ozono como contaminante del aire

El ozono es un componente natural en la atmósfera cuya concentración se incrementa con la altitud hasta alcanzar un máximo en la capa de ozono. A la altitud de la Ciudad de México la concentración natural se encuentra entre 20 y 40 ppb.

La presencia de radicales hidroxilo y de compuestos orgánicos volátiles (COV) en la atmósfera, ya sea de origen natural o antropogénico, provoca cambios en los equilibrios químicos hacia concentraciones más altas. La mayor parte del ozono en la tropósfera se produce cuando los óxidos de nitrógeno (NO_x), el monóxido de carbono (CO) y los compuestos orgánicos volátiles (COV) reaccionan en la atmósfera, en presencia de luz solar. Las fuentes antropogénicas más importantes de precursores de ozono son las emisiones vehiculares, las emisiones industriales y los solventes químicos. A pesar de que estos precursores se originan en áreas urbanas, pueden ser arrastrados por los vientos a lo largo de varios kilómetros provocando incrementos en la concentración de ozono en regiones menos pobladas.

El nivel máximo de ozono que se puede alcanzar en una atmósfera contaminada depende, no solamente de las concentraciones absolutas de COV y de NO_x, sino también de su proporción. En áreas rurales la producción de ozono generalmente está limitada por la producción de NO_x. En la tropósfera contaminada la producción de ozono ocurre vía la oxidación de los COV y CO, iniciada por radicales libres en presencia de NO_x (NO + NO₂) y luz solar. La siguiente secuencia muestra de manera simple el proceso:



Donde RH representa un hidrocarburo genérico, R es una cadena de hidrocarburo y M puede ser N₂ u O₂. El carbonilo producido en la secuencia, puede continuar con la oxidación hasta producir ozono. En la secuencia se puede ver que existe un consumo de COV, mientras que los radicales OH/HO₂ y el NO_x actúan como catalizadores. El ciclo concluye cuando se remueven los catalizadores, lo cual puede ocurrir por la combinación del radical peroxilo y formar peróxidos o de la reacción del radical hidroxilo con NO₂ y formar ácido nítrico (HNO₃).

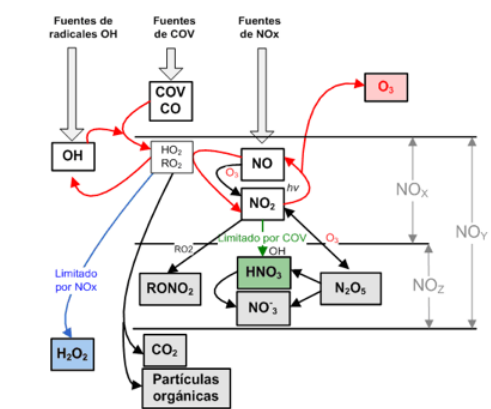
En términos generales la formación de ozono puede estar limitada por los COV o los NO_x. La existencia de estos dos

regímenes puede entenderse mecánicamente en términos de las fuentes relativas de OH y NO_x.

Cuando la fuente de OH es mayor que la fuente de NO_x la terminación está dominada por la formación de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) (línea azul en el diagrama). Bajo estas condiciones la formación de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) es mucho mayor que la formación de HNO₃, la concentración de NO_x es baja y como resultado la velocidad de producción está limitada por NO_x.

Lo anterior significa que la concentración de O₃ se reduce de manera efectiva disminuyendo la emisión/concentración de NO_x en lugar de los COV.

Cuando la fuente de OH es menor que la fuente de NO_x, la terminación procede predominantemente vía la formación de HNO₃ (línea verde en el diagrama), la formación de este compuesto es mayor que la de H₂O₂. El NO_x es relativamente abundante y la producción de O₃ está limitada por COV. Entre estos extremos existe una región en donde la producción de O₃ es igualmente sensible a los COV y los NO_x.



Durante el diseño de las acciones para el control de la contaminación por ozono, es necesario tomar en consideración la sensibilidad de la producción de ozono a los COV o los NO_x, de otra manera durante la aplicación de las medidas se podría realizar una inversión importante de recursos, con un impacto mínimo en la concentración del ozono. Cuando la producción de ozono está limitada por COV, una reducción en la concentración de NO_x podría producir un incremento en la formación de ozono, al aumentar la disponibilidad del radical OH.

Efectos en la salud

En el organismo el ozono ejerce su acción a través de varios mecanismos. Las reacciones con algunas moléculas biológicas pueden llevar a la formación de radicales libres.

El ozono no puede penetrar a través de las membranas celulares o las capas surfactantes de las células, por lo que sus efectos biológicos pueden ser provocados por intermediarios tales como radicales libres, aldehídos, peróxido de hidrógeno, entre otros. Cuando el tracto respiratorio es expuesto al ozono se produce daño en el mismo, el alcance dependerá de la concentración de ozono, la duración de la exposición, los patrones de exposición y la ventilación. La limpieza mucociliar decrece por la exposición aguda. Los macrófagos alveolares, responsables de la limpieza en la región pulmonar y participantes en la respuesta inmune, pueden disminuir su fagocitosis y su actividad metabólica antimicrobial, incrementar la liberación de prostaglandinas y alterar su cantidad. Estos efectos aumentan la susceptibilidad a las infecciones respiratorias.

En asmáticos expuestos diariamente al ozono, se ha reportado un incremento en la incidencia de ataques asmáticos y síntomas respiratorios. El ozono reduce la función pulmonar y hace más difícil la respiración profunda y vigorosa. Cuando esto sucede, la respiración comienza a sentirse incómoda. Si se realiza ejercicio o trabajo al aire libre, se puede notar una respiración más rápida y superficial de lo normal.

A concentraciones elevadas de ozono se puede agravar el asma, debido a que el ozono favorece la susceptibilidad del organismo a los alérgenos (agentes que provocan los ataques). Puede empeorar las enfermedades pulmonares crónicas tales como el enfisema y la bronquitis y reducir la capacidad del sistema inmunológico para defenderse de las infecciones bacterianas. El ozono puede causar daño permanente al pulmón. El daño en el corto plazo por causa del ozono en los pulmones de niños en desarrollo, puede resultar en una función pulmonar reducida en la edad adulta. En los adultos, la exposición al ozono puede acelerar la disminución natural de la función pulmonar que ocurre como parte del proceso normal de envejecimiento.

