

Capítulo 1º: Qué es el ozono. Generalidades.

1. Visión General

El ozono es, hoy en día, de un gran interés general por su utilidad en Medicina así como en industria y tecnología.

En este primer tema conoceremos sus comienzos con su descubrimiento, así como la evolución y la trascendencia que tiene su uso en el campo médico.

Es obvio que dejaremos siempre vacíos incomprensibles hoy en día, pues la experiencia es limitada y que con el tiempo iremos llenando.

2. Objetivos

Comprender la utilización del ozono en medicina comenzando por comprender su historia, pues “quien ignora la historia esta condenado a repetir los mismos errores”.

Ampliar los conocimientos generales que tengan relación con ozono, tanto en su uso en Medicina, así como en otras áreas de la Tecnología.

Dejar claro la importancia de la capa de ozono en la conservación del Planeta.

3. Contenidos

- **Generalidades**
- **Del oxígeno a la formación de la capa de ozono**
- **La función de la capa de ozono**
- **La formación/destrucción (“turn over”) de la capa de ozono. Protocolo de Montreal (1987)**
- **Disposiciones legales en ambiente con ozono**
- **La contaminación atmosférica. Smog**

Generalidades

El ozono es un gas bien conocido por la función protectora que ejerce sobre nuestro planeta. Se ubica en la alta atmósfera (estratosfera) constituyendo lo que se ha venido llamando capa de ozono (a 25-30 Km).

El ozono, que apareció sobre nuestro planeta hace aproximadamente 1.500 millones de años, permitió que la vida evolucionara desde el agua hacia la tierra firme. Esto fue gracias a comportarse como un escudo frente a las fracciones más peligrosas de las radiaciones ultravioleta solar.

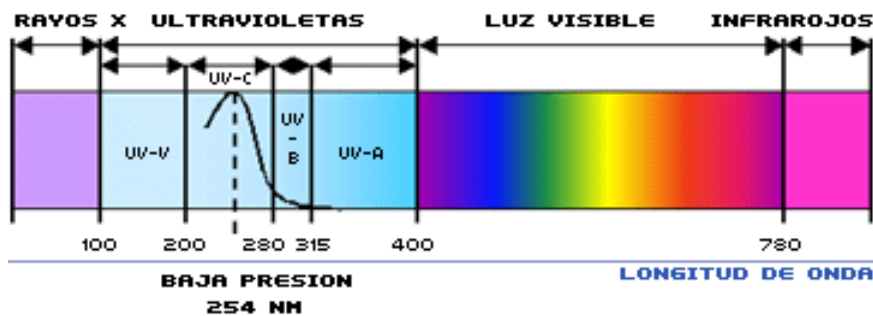
Llamamos radiaciones ultravioleta (UV) al conjunto de radiaciones del espectro electromagnético con longitudes de onda menores que la radiación visible (luz), desde los 400 hasta los 150 nm.

Se suelen diferenciar tres bandas de radiación UV: UV-A, UV-B y UV-C.

UV-A: Banda de los **320 a los 400 nm**. Es la más cercana al espectro visible y no es absorbida por el ozono. Es la responsable del “bronceado” de la piel.

UV-B: Banda de los **280 a los 320 nm**. Es absorbida casi totalmente por el ozono, aunque algunos rayos de este tipo llegan a la superficie de la Tierra. Es un tipo de radiación dañina, especialmente para el ADN. Provoca melanomas y otros tipos de cáncer de piel. También puede estar relacionada, aunque esto no es tan seguro, con daños en algunos materiales, cosechas y formas de vida marina.

UV-C: Banda de las radiaciones UV **menores de 280 nm**.. Este tipo de radiación es extremadamente peligroso, pero es absorbido completamente por el ozono y el oxígeno.



En resumen podemos afirmar que el oxígeno y el ozono estratosféricos absorben entre el 97 y el 99% de las radiaciones UV entre 150 y 300 nm, procedentes del sol.

Del oxígeno a la formación de la capa de ozono

En el Pleistoceno la concentración de O₂ en la atmósfera era de 38 %, en 1970 era de un 20% y hoy en día solo es 19,6 %.

Por debajo de 7% de O₂ no es posible la vida. El resto es Nitrogeno 70... y trazas de CO₂, Azufre ,,etc.

Sin oxígeno no hay vida. Estamos inmersos en un ambiente de oxígeno como peces en el agua.

Hace 2 billones de años se acumuló gran cantidad de O₂ en la atmósfera, gracias a la fotosíntesis de los primeros elementos vivos del reino vegetal (cyanobacterias). En un principio todo este oxígeno fue absorbido por el Fe⁺⁺ que existía en la corteza terrestre, hasta que se agotó. Con el tiempo el oxígeno que se formó llegó a “polucionar” la tierra y los organismos que sobrevivieron fueron los que desarrollaron un metabolismo aerobio.

Esta cantidad de oxígeno se complementó con otros componentes y así se conformó la atmósfera (nitrógeno 70%, hidrógeno..... y oxígeno un 21%)

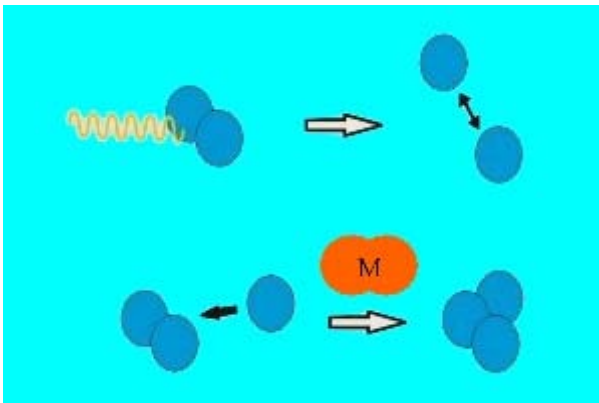
El oxígeno supone el 52% de la masa de la corteza terrestre. Asimismo, la mayor parte de los elementos de nuestro cuerpo (65%) son oxígeno, es decir.....somos oxígeno.

La molécula de oxígeno se forma por la unión tipo enlace covalente de dos átomos de oxígeno. Al átomo de oxígeno le faltan 2 electrones en su última

capa electrónica, por lo que dos átomos comparten su electrón desapareado por medio de un enlace doble (unión covalente) y así se conforma la molécula de oxígeno estable (O₂)

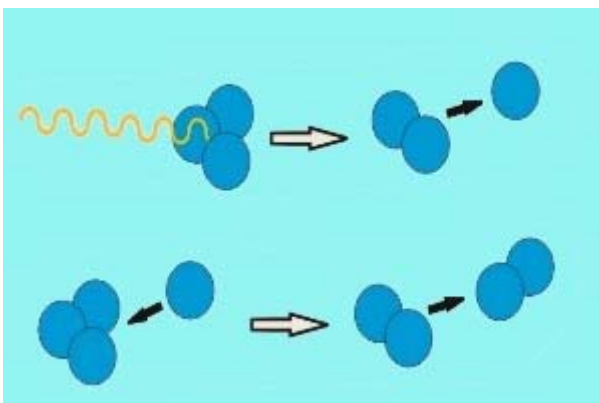
Entre 2.000 y 6.000 millones de años antes de nuestro tiempo, se formó el ozono. El ozono se ubica en la Estratosfera; se conoce vulgarmente como "capa de ozono" situada entre 20-50 Km. de altitud desde la superficie terrestre, donde la concentración es aproximadamente de 10 ppm= 200 microgramos /m³.

Para transformar el oxígeno en ozono se necesita luz UV intensa. El enlace O-O de una molécula de oxígeno se rompe y el átomo de oxígeno formado reacciona con oxígeno (y por razones energéticas un compañero de colisión M) y forma ozono. Esta luz UV (flecha amarilla) proviene del sol.

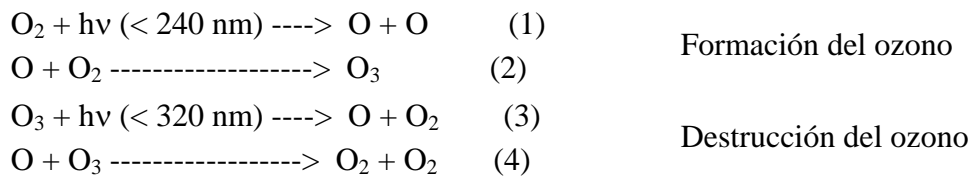


1. fotosíntesis del ozono - la luz rompe las moléculas de oxígeno y esto lleva a la formación de ozono

De manera análoga, el ozono se destruye por fotólisis, si el enlace O-O de una molécula de ozono se rompe por la luz del sol. En este caso el átomo de O formado reacciona con otra molécula de ozono y forma dos moléculas de oxígeno O₂.



2. fotólisis del ozono - degradación por la luz del sol



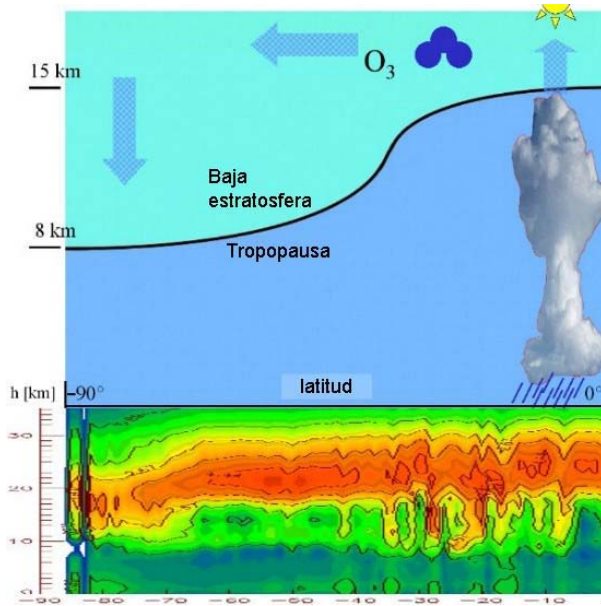
De la misma forma este ozono sufre la incidencia de la energía solar (absorbiéndola) descomponiéndose y convirtiéndose en O_2 otra vez. Estas reacciones están en equilibrio dinámico, aunque siendo mayor la formación que la destrucción

Como es lógico donde mas se va a producir ozono será en el ecuador (mayor incidencia de rayos solares). Desde aquí asciende y es transportado hacia los polos, donde se acumula en las frías regiones subpolares. En el propio ecuador, la formación de ozono así como las roturas fotoquímicas son altas, por lo que el ozono no puede acumularse, no ocurriendo lo mismo polos (de -50° a -80°). Los valores más altos de ozono se observan sobre las regiones polares, mientras que el sistema no sea perturbado (ver mas adelante). Además, aquí se forma poco ozono adicional, especialmente durante la noche polar particular en invierno (por no haber rayos del sol). Esa es la razón por la que su espesor será mayor en los trópicos y en ecuador que en los polos y la altura donde se forma no será concéntrica a la tierra (a 50 kilomtrs al Ecuador y a solo 18 en los Polos).

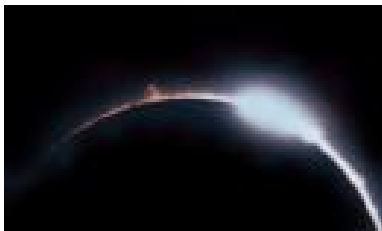
La formación de ozono no solo depende de los rayos solares; influyen diversos factores

1. vientos estratosféricos,
2. el ciclo solar, etc.;
3. los incendios
4. ciertas formas de vida marina producen compuestos con cloro que llegan a alcanzar la estratosfera.
5. grandes erupciones volcánicas que emiten sulfato estratosféricos
6. aerosoles introducen cantidades de cloro CFCs que ascienden a la estratosfera.

También influye la rotación terrestre, el ángulo de incidencia de los mismos rayos, las corrientes de aire, la temperatura.



Datos de GOME (DLR, IUP Bremen).



Texto: La corteza terrestre
www.sam.hi-ho.ne.jp

La función de la capa de ozono

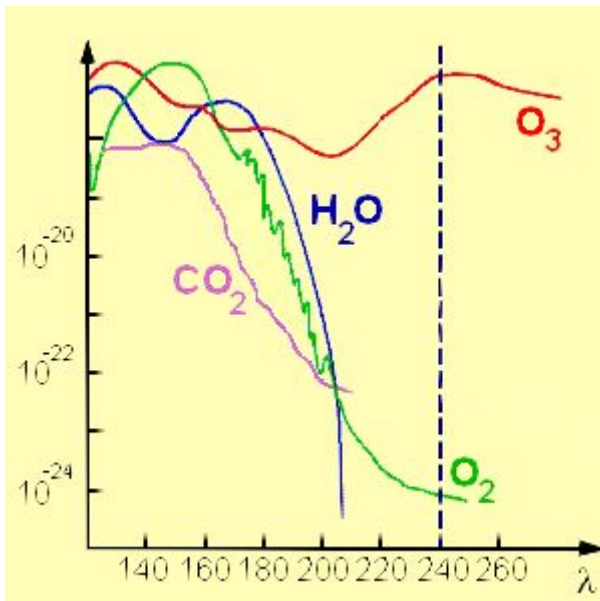
El ozono actúa como pantalla frente a las radiaciones ultravioleta de corta longitud de onda (260-280 nm) procedentes de la radiación solar. Asimismo absorbe las radiaciones infrarrojas procedentes de la tierra, y por ende protegiendo a la tierra del calentamiento global

La capa de ozono no supera 2-3 mm y la concentración de ozono encontrada es de 1mg/m³. Se sitúa a 20-30 km de la superficie de la tierra.

Hay que considerar al ozono un componente de la polución de la biosfera y que junto al los óxidos de nitrógeno produce un nefasto efecto en el epitelio de la mucosa respiratoria.....

La capa de ozono ayuda a conservar la vida de dos maneras:

- Absorbiendo las radiaciones ultravioleta patógenas (la B y I C) del sol, en especial los C (100-280 nm) y B (286-315), es decir los de baja frecuencia, minimizando así su poder mutágeno sobre el DNA.
- Manteniendo el equilibrio térmico de la atmósfera.



Absorción de ozono comparada con la absorción de otros compuestos atmosféricos en el rango ultravioleta de la luz del sol.

Fuente: adaptado de Chemie Didaktik Uni Duisburg

La misma energía UV que es necesaria para la formación del ozono, es absorbida por estas moléculas de la capa de ozono. Esto tiene tres consecuencias:

La radiación UV no alcanza las partes bajas de la atmósfera, y por lo tanto la superficie de la Tierra está protegida

La cantidad de ozono que se puede acumular es limitada. Cuando aumenta la concentración de ozono, la probabilidad de descomposición aumenta también. Esto lleva a un equilibrio.

Esta energía se transforma en radiación calorífica y produce el calentamiento de la estratosfera. Esta distribución de temperaturas origina una "inversión térmica" que dificulta el movimiento vertical de los gases manteniéndolos perfectamente estratificados (estratosfera).

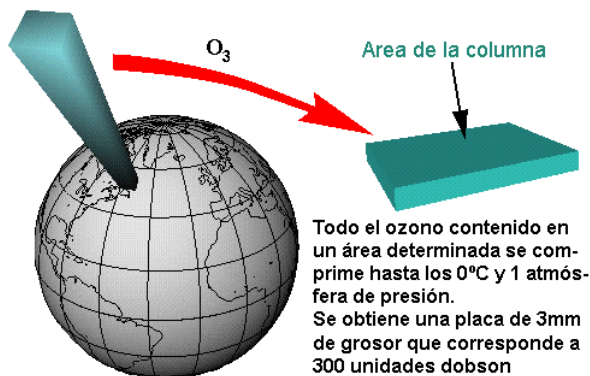
Al mismo tiempo que se forma el ozono, otro sistema lo destruye. Esta fuerza destructiva si predomina sobre la formadora, es la responsable del agujero de ozono (“ozono hole”).

Desde que se descubrió la capa de ozono, en 1985, se advirtió que alrededor del Polo Sur de nuestro planeta existía una carencia de dicha capa. Es, desde entonces, la Agencia Espacial de Estados Unidos (NASA) quien monitorea permanentemente los niveles de ozono sobre la Antártica.

En realidad no es que exista un agujero de ozono como tal, lo que sucede es que la cantidad de ozono, es decir la capa, en el llamado agujero es mucho menor que la cantidad promedio en la atmósfera: el tamaño promedio del espesor de la capa de ozono en la atmósfera, es igual a 1.4 milímetros. En contraste, en el agujero de ozono de la Antártica es de apenas alcanza un milímetro.

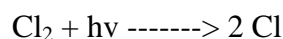
La formación/destrucción (“turn over”) de la capa de ozono

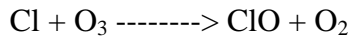
El ozono a menudo se mide en Unidades Dobson (DU). 300 DU es un valor típico. ¿Qué significa esto? Si suponemos que todas las moléculas de ozono no se reparten en la estratosfera y un 10% por la troposfera, sino que se concentran en una fina película en el suelo, es decir a la presión habitual de 1 atmósfera y 0°, el grosor de esta película sería más o menos de 3mm (= 300DU). 1 DU = 0,01mm de grosor de la película de ozono puro en el suelo.



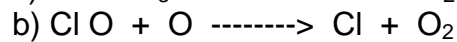
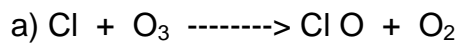
En 1974 Molina y Rowland describieron como llega la capa de ozono a desaparecer agrandando así el agujero de ozono. La gran culpa de ello se la llevan ciertas sustancias como los CFCs . Son sustancias insolubles en agua, no reactivas. Estas sustancias muy estables, se mantienen sin degradar 100 años. Se utilizan par material de embalaje (“foam-blowing”) pues no pesan y para fluidos refrigerantes en industria como refrigerantes, aire acondicionado, aerosoles etc. Anteriormente se utilizaban el amoniaco y los dióxidos de azufre, pero dejaron de utilizarse pues eran tóxicos e inflamables).

O sea las sustancias destructoras del ozono de origen humano son responsables de un **85%**, **mientras que las alteraciones naturales sólo son responsables del 15% restante**



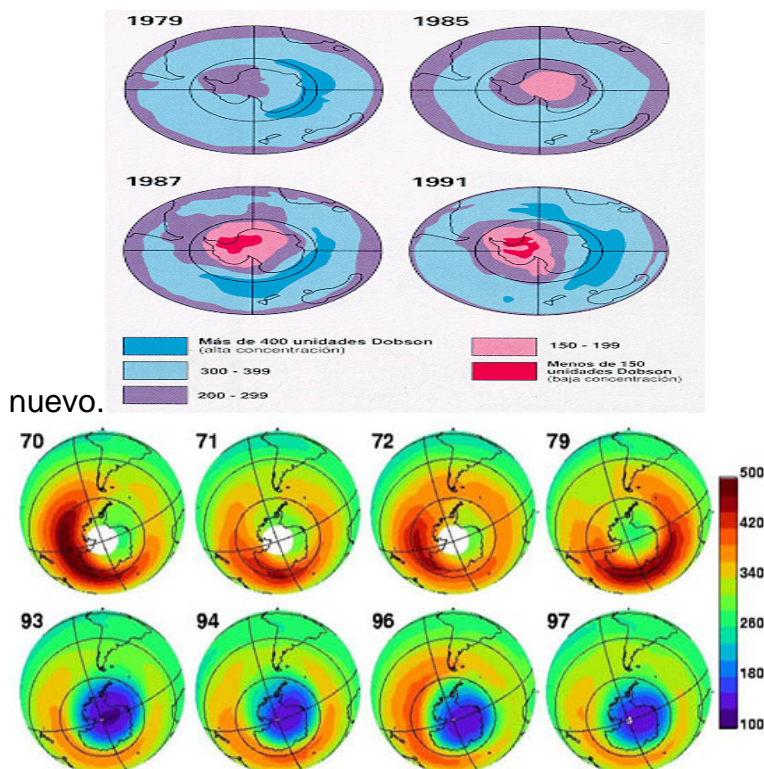


El conjunto de productos químicos denominados clorofluorocarbonos (CFC's) contienen cloro, flúor y carbono; Se creía que eran inertes químicamente, pero cuando se elevan en la atmósfera y son arrastradas a la parte superior de la Estratosfera en la Troposfera (hasta 10 Km o 20 Km.), donde la incidencia de la radiaciones UV de onda corta, "sacuden" el cloro de éstas CFC's y éstas átomos de Cl* es el que destruye el ozono. Al descomponerse los CFC's liberan cloro atómico que es muy reactivo (mas electronegativo que el oxígeno) y destruye a las moléculas de ozono. Se considera que un sólo átomo de cloro puede destruir hasta 100 mil moléculas de ozono. Las ecuaciones químicas que representan el proceso son:



El agujero de ozono es mayor en la Antártica, debido a sus bajas temperaturas (-80 °C) forman nubes de cristal que activan el cloro y lo hace más agresivo, catalizando así su destrucción (Molina 1999); por otra parte, allí hay menos luz solar (U.V.); energía necesaria para reciclar ozono a partir de moléculas y átomos de oxígeno.

La decisión de prohibir los CFCs como propulsores en los sprays ha contribuido a reducir la capa de ozono (Prater et al. 1996). Se espera que desaparezca allá en 2050.



nuevo.

Texto: Evolución de la capa de ozono en la Antártica, en unidades Dobson

<http://fisica.usach.cl/~uv/ozono.htm>

Espesor de la capa de ozono a través de los años (unidades Dobson)

1956	321	1971	299	1986	248
1957	330	1972	304	1987	163
1958	314	1973	289	1988	232
1959	311	1974	274	1989	164
1960	301	1975	308	1990	179
1961	317	1976	283	1991	155
1962	332	1977	251	1992	142
1963	309	1978	284	1993	111
1964	318	1979	261	1994	124
1965	281	1980	227	1995	129
1966	316	1981	237	1996	139
1967	323	1982	234	1997	139
1968	301	1983	210		
1969	282	1984	201		
1970	282	1985	196		

Datos de J. D. Shanklin, British Antarctic Survey

Protocolo de Montreal (1987)

El primer Protocolo de Montreal se planteaba la reducción a la mitad de los CFCs para el año 1998. Después de la firma de este primer protocolo nuevas mediciones mostraron que el daño en la capa de ozono era mayor que el previsto, y en 1992 la comunidad internacional firmante del Protocolo decidió acabar definitivamente con la fabricación de halones en 1994 y con la de CFCs en 1996, en los países desarrollados. Se calcula que para el 2040 o 2050 se habrán recuperado los niveles de ozono originales en la atmósfera.

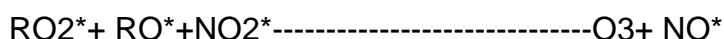
Disposiciones legales en ambiente con ozono

MWSC: Minimo concentración en lugares de trabajo: 0,15 ppm, es decir 0,2mg/m³. Respirada durante o horas 42 horas a la semana. A diez veces menor concentración ya se puede oler el ozono (0,01 ppm) y a 0,10 puede ser peligroso

La contaminación atmosférica. El Smog

Hemos hablado del ozono estratosférico, es el llamado ozono “bueno”; pero conforme nos acercamos a la corteza terrestre, a unos 2.000 metros , nos encontramos con la Troposfera-Biosfera, donde también encontramos ozono, a una concentración mucho menor: 0,03-0,04 ppm.; pero aquí lo encontramos mezclado con NOx y CO y otros ácidos químicos, derivados de la industria y que son muy peligrosos. Forma parte pues de la denominada “niebla tóxica” o “smog” derivada de la contaminación.

Para que se genera ozono hace falta energía y ésta, a nivel de la biosfera no solo es proveniente del sol, sino de otras fuentes como son los aparatos eléctricos, las tormentas etc....



También se puede generar ozono a partir de otros precursores que no son precisamente oxígeno tales como el dióxido de carbono, el metano, óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre que son contaminantes habituales en la atmósfera y son abundantes en las ambientes urbanos e industriales. Se calcula que éste ozono “malo” formado en nuestro ambiente biosférico es el responsable del 9% del efecto invernadero global, es pues importante subrayar que el ozono formado a partir de estos contaminantes es nefasto pues su capacidad oxidante lo hace dañino no solo para los organismos vivos (animales y plantas), sino que se le achaca el daño producido a algunos materiales, tanto naturales como sintéticos entre ellos el caucho, el algodón y la celulosa, pinturas y plásticos, obras arquitectónicas...etc.

Hay que decir que el smog es una mezcla de niebla con partículas de humo, formada cuando el grado de humedad en la atmósfera es alto y el aire está tan quieto que el humo se acumula cerca de su fuente.

El número de componentes indeseables del smog es considerable, y sus proporciones son muy variables. Incluyen ozono, dióxido de azufre, cianuro de hidrógeno, hidrocarburos y los productos derivados de estos últimos por oxidación parcial.

El combustible obtenido por fraccionado de carbón y petróleo produce dióxido de azufre, que se oxida con el oxígeno atmosférico formando trióxido de azufre (SO₃). Éste se hidrata, a su vez, con el vapor de agua de la atmósfera para formar ácido sulfúrico (H₂SO₄).

El llamado smog fotoquímico, que irrita las membranas sensibles y que daña las plantas, se forma cuando los óxidos de nitrógeno de la atmósfera experimentan reacciones con los hidrocarburos excitados por radiaciones ultravioletas y otras que provienen del Sol. Siendo ésta la causa de que España -donde 32 provincias alcanzan o superan las 2.700 horas solares anuales- y en particular su zona mediterránea, sea uno de los países más afectados, hasta el punto de que podemos considerar ya al ozono como el principal contaminante atmosférico en España.

Por lo tanto hay razones para comprender que al oír ozono, muchos científicos puedan ser detractores del uso del ozono tanto en medicina como en la

industria. Hay que ser cautos en las afirmaciones y estudiar a fondo los hechos para saber manejarlo de forma científica.