

NOBEL DE QUÍMICA 1995: EL PROBLEMA DEL OZONO ATMOSFÉRICO

En 1995 la Real Academia de Ciencias de Suecia resolvió otorgar el Premio Nobel de Química a los investigadores Paul Crutzen, Mario Molina y Sherwood Rowland por la elucidación del mecanismo catalítico responsable de la destrucción del ozono estratosférico. El siguiente es el comunicado de prensa emitido en esa oportunidad.

La capa de ozono: talón de Aquiles de la biósfera

La atmósfera que rodea a la Tierra contiene pequeñas cantidades de ozono, un gas cuyas moléculas constan de tres átomos de oxígeno (O_3). Si todo el ozono atmosférico fuese comprimido a la presión existente a nivel del mar, la capa resultante tendría sólo 3 mm de espesor. Pero aunque el ozono se encuentre en cantidades tan pequeñas, juega un papel de excepcional importancia para la vida en la Tierra. Esto se debe a que el ozono, junto al dióxigeno molecular (O_2), es capaz de absorber la mayor parte de la radiación ultravioleta proveniente del sol, evitando la llegada de sus peligrosos rayos a la superficie de la tierra. Sin la protectora capa de ozono, los animales y las plantas podrían no existir, al menos sobre la superficie terrestre. Es por lo tanto de la mayor importancia, conocer el proceso que regula el contenido de ozono atmosférico.

Paul Crutzen, Mario Molina y Sherwood Rowland, han realizado contribuciones pioneras a la explicación de cómo el ozono se forma y se descompone a través de procesos químicos en la atmósfera. Lo más importante en este sentido, es que han demostrado cuán sensible es la capa de ozono a las emisiones antropogénicas de ciertos compuestos químicos. La delgada capa de ozono ha probado ser un talón de Aquiles capaz de sufrir daños severos a causa de cambios aparentemente moderados en la composición de la atmósfera. Al explicar los mecanismos químicos que afectan al espesor de la capa de ozono, estos tres investigadores han contribuido a la solución de un problema ambiental que puede tener consecuencias catastróficas.

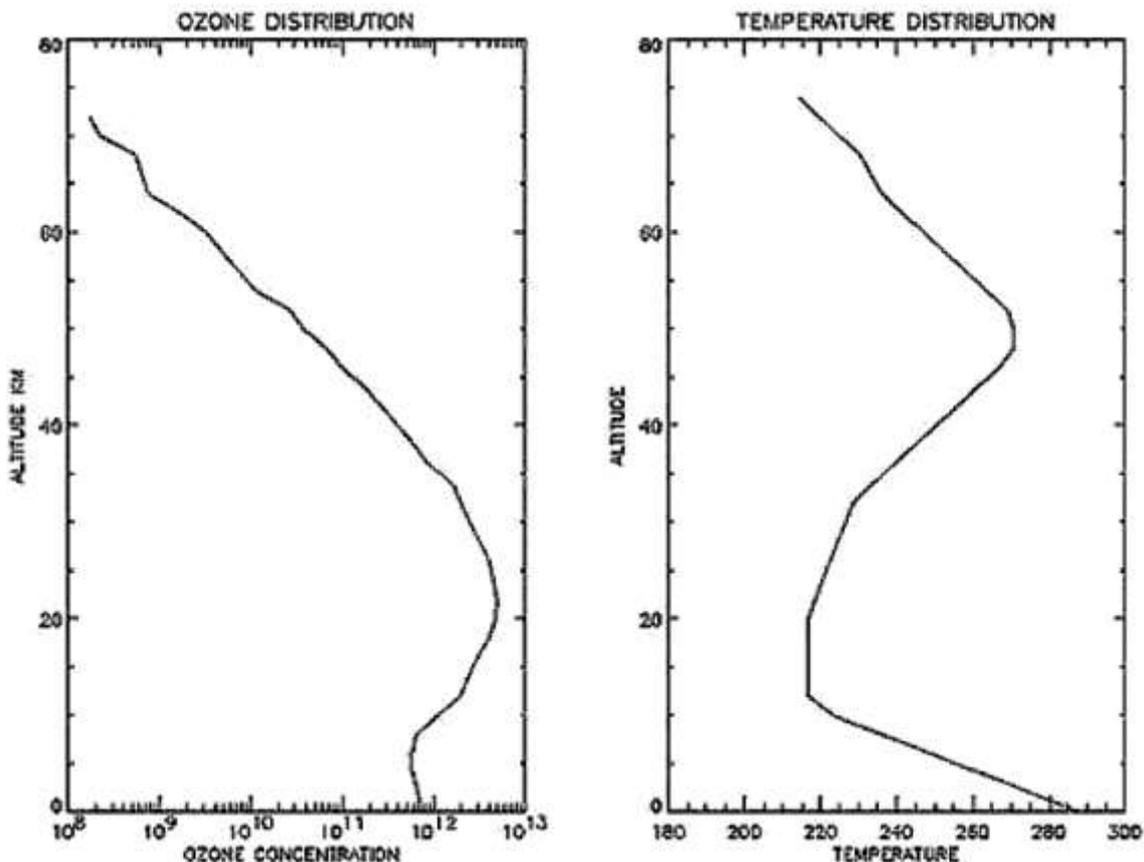
¿Cómo evolucionó este conocimiento?

El ozono se forma en la atmósfera por la disociación de moléculas de dióxigeno ordinario (O_2) por acción de la radiación ultravioleta proveniente del sol. Los átomos de oxígeno así liberados, reaccionan con el dióxigeno molecular según la reacción:



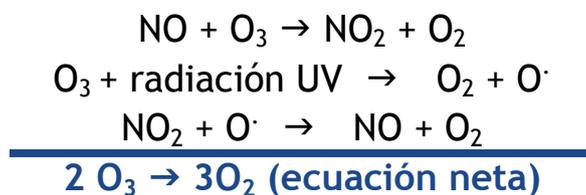
en la que “M” es una molécula aleatoria (N_2 u O_2).

El físico inglés Sidney Chapman formuló en 1930 la primera teoría fotoquímica para la formación y descomposición del ozono atmosférico. Esta teoría que describe cómo la luz solar convierte las diversas variedades del oxígeno, una en otra, explica, por qué la mayor concentración de ozono en la atmósfera, se da en una delgada capa comprendida entre los 15 y los 50 km de altitud, conocida como “capa de ozono”. Sin embargo, mediciones posteriores mostraron desviaciones importantes con respecto a las predicciones de la teoría de Chapman. La cantidad de ozono calculada resultaba considerablemente mayor que la observada. En consecuencia, debe haber otras reacciones que contribuyan a la reducción del contenido de ozono atmosférico. Algunos años después, el belga Marcel Nicolet contribuyó con un importante conocimiento sobre la forma en que la descomposición del ozono es acelerada por la presencia de los radicales hidrogenados OH y HO_2 .



Gráfica 1. Relación entre la variación en la concentración de ozono y la temperatura atmosférica según la altitud.

El científico que dio el siguiente paso fundamental hacia una mayor comprensión de la química de la capa de ozono fue Paul Crutzen. En 1970 demostró que los óxidos de nitrógeno NO y NO₂, reaccionan catalíticamente (sin consumirse) con el ozono, acelerando así el proceso de reducción de la concentración de este gas en la atmósfera.



Estos óxidos de nitrógeno son producidos por el decaimiento del óxido de nitrógeno estable N₂O, el que se origina por transformaciones microbiológicas terrestres.

La conexión, demostrada por Crutzen, entre los microorganismos del suelo y el grosor de la capa de ozono, es uno de los motivos del reciente y rápido desarrollo de la investigación sobre los ciclos bioquímicos globales.

La primera amenaza detectada: aviones supersónicos

El poder de los óxidos de nitrógeno para descomponer el ozono, fue advertido tempranamente por el investigador estadounidense Harold Johnston, quien condujo amplios estudios experimentales sobre la química de los compuestos de nitrógeno. En 1971, apuntó a la posible amenaza que, el aumento previsto en los vuelos supersónicos, podría representar. Estas aeronaves son capaces de liberar los óxidos de nitrógeno justo en el medio de la capa de ozono, a una altitud de 20 km. Los trabajos de Crutzen y Johnston, impulsaron un intenso debate entre investigadores así como tecnólogos y políticos. Fue también el comienzo de una intensa investigación en química atmosférica, disciplina que ha realizado grandes avances en los últimos años. (La subsecuente cancelación de los planes de desarrollo de vuelos supersónicos comerciales, tiene no obstante, causas diferentes a las señaladas).

Los aerosoles en lata y los refrigeradores dañan la capa de ozono

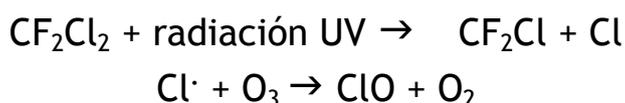
El siguiente salto en el conocimiento de la química del ozono ocurrió en 1974, cuando Mario Molina y Sherwood Rowland, publicaron su conocido artículo en la revista Nature, sobre la amenaza para la capa de ozono que representan los compuestos clorofluorcarbonados (CFC) -conocidos como “freones”- usados como propelentes de

aerosoles, gases en sistemas de refrigeración y en espumas plásticas. Molina y Rowland basaron sus conclusiones en dos importantes contribuciones de otros investigadores:

– James Lovelock (Inglaterra), desarrolló un instrumento sumamente sensible para la detección de cantidades extremadamente bajas de ciertos compuestos orgánicos en la atmósfera: el detector de captura electrónica. Usándolo, pudo demostrar que los CFC, gases inertes de origen exclusivamente humano, ya se encuentran distribuidos globalmente en la atmósfera.

– Richard Stolarski y Ralph Cicerone (EEUU), demostraron que los átomos de cloro libre en la atmósfera son capaces de descomponer catalíticamente el ozono en forma similar a lo óxidos de nitrógeno.

Molina y Rowland se dieron cuenta de que los inertes CFC pueden ser transportados gradualmente hasta la capa de ozono, para encontrarse allí con una intensa radiación ultravioleta capaz de descomponer sus moléculas, produciendo radicales de cloro ($\text{Cl}\cdot$) libres.



CF_2Cl_2 : Se trata del CFC conocido como "Freón 12". Su producción está prohibida a partir de 1994 por los acuerdos suscriptos por las naciones firmantes del Protocolo de Montreal.

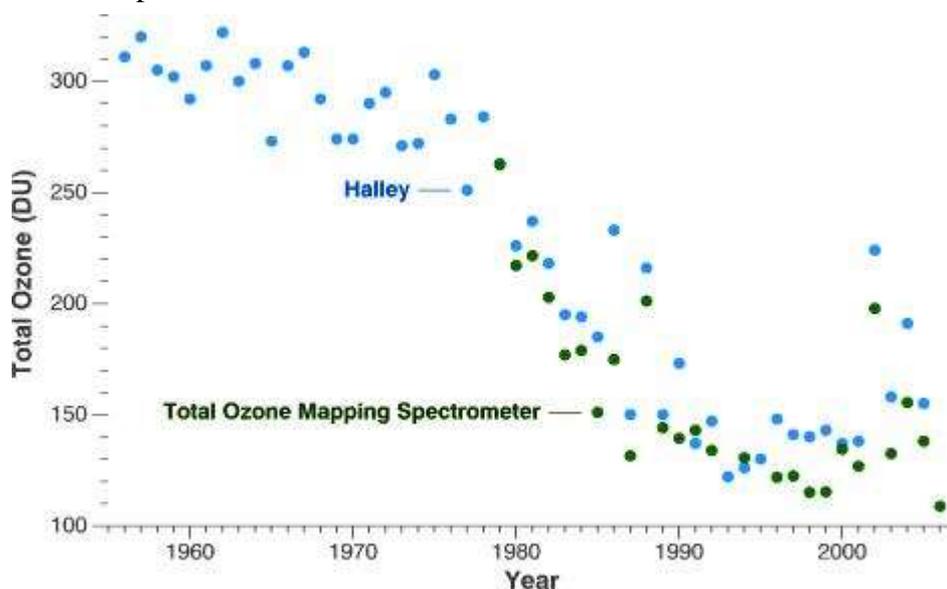
La segunda reacción explicaría el efecto negativo sobre la integridad del ozono atmosférico.

Calcularon que si el uso humano de los CFC continuara a un ritmo inalterado, la capa de ozono sufriría un empobrecimiento porcentual significativo en el curso de décadas. Sus predicciones fueron un enorme llamado de atención, se pensaba que los CFC, químicamente estables, de baja toxicidad y profusamente utilizados en diversos procesos tecnológicos, eran prácticamente ideales desde el punto de vista ambiental. Muchos fueron críticos respecto a los cálculos de Molina y Rowland; muchos más se mostraron interesados ante la posibilidad de un empobrecimiento de la capa de ozono. Hoy sabemos que estaban en lo cierto en todos los aspectos esenciales; incluso resultó evidente que los riesgos potenciales habían sido subestimados.

El ozono sobre la Antártida

Las predicciones de Rowland y Molina llevaron a que se adoptaran ciertas restricciones a las emisiones de CFC a fines de los 70's y principios de los 80's. No fue hasta 1985 -en que sobrevino un auténtico shock- que se aceleraron las negociaciones

internacionales para implementar urgentemente dichas restricciones. Fue entonces que el inglés Joseph Farman y sus colegas, notaron una drástica disminución del contenido de ozono sobre la Antártida, el “agujero de ozono”. Esta disminución resultó -al menos periódicamente- mucho mayor que la antes calculada a partir del efecto CFC. El debate entre científicos se intensificó. ¿Se trataba de una variación climática natural o de una descomposición química debida a la actividad humana? Gracias a las investigaciones pioneras de Crutzen, Molina y Rowland, así como de Susan Solomon y James Anderson (ambos de EEUU), el panorama fue aclarado. La reducción en el ozono es principalmente causada por las reacciones químicas con cloro y bromo originados en gases producidos por la actividad industrial humana.



Gráfica 2. Esesor de la capa de ozono medida anualmente en el mes de octubre. Los datos provienen de la base antártica de Halley Bay. Nótase el brusco descenso registrado a partir de la década del 70.

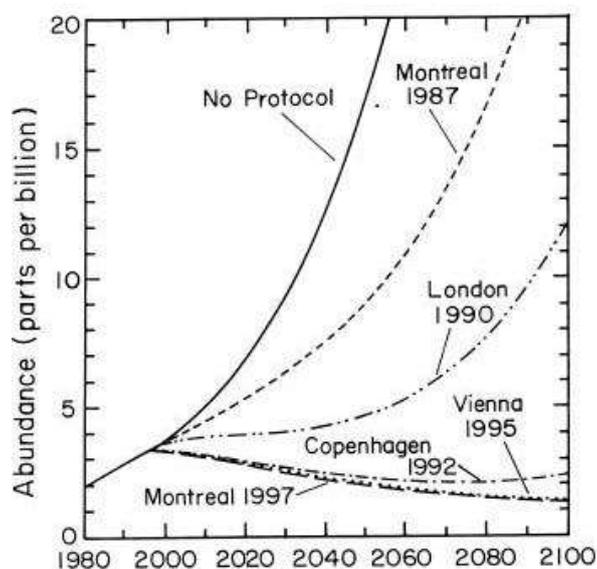
La sorprendentemente rápida caída de la concentración de ozono sobre la Antártida no puede explicarse por procesos de transporte ni por las reacciones químicas en fase gaseosa. Debe existir un mecanismo alternativo capaz de acelerar la descomposición del ozono. Crutzen y sus colegas identificaron este mecanismo con reacciones que tienen lugar en la superficie de partículas presentes en las nubes estratosféricas. Así, la disminución del ozono sobre la Antártida parece relacionarse con las extremadamente bajas temperaturas prevalentes en la región, que llevan a la condensación de agua y ácido nítrico para formar las “nubes estratosféricas polares” o PSCs (polar stratospheric clouds). Las reacciones de descomposición química del ozono parecen fuertemente potenciadas por la presencia de estas partículas en las nubes. Esta interpretación llevó al desarrollo de una nueva y excitante rama de la química atmosférica: reacciones heterogéneas sobre superficie de partículas.

La capa de ozono y el clima

El problema del ozono tiene también interesantes conexiones con la forma en que la humanidad está alterando el clima terrestre. El ozono, como el metano y el dióxido de carbono es un “gas de invernadero” que contribuye a elevar la temperatura sobre la superficie de la tierra (los CFC tienen un efecto similar). Cálculos basados en modelos, muestran que el clima es particularmente sensible a los cambios en la concentración de ozono en las capas más bajas de la tropósfera. Allí, el contenido de ozono se ha incrementado considerablemente durante el siglo pasado, principalmente debido a las emisiones de óxido nítrico, monóxido de carbono e hidrocarburos gaseosos provenientes de los motores de los vehículos, los procesos industriales y la combustión de biomasa en los trópicos. La elevación del contenido de ozono en las capas bajas de la atmósfera es, en sí mismo, un problema ambiental, dado el daño que puede causar a los cultivos y a la salud humana. Paul Crutzen ha sido el líder mundial en las investigaciones que llevaron al mapeo de los mecanismos químicos que determinan la abundancia del ozono a este nivel.

¿Qué podemos esperar del futuro?

Gracias a la buena comprensión científica del problema del ozono -y en gran medida, a Crutzen, Rowland y Molina- ha sido posible tomar decisiones de largo alcance tendientes a prohibir la emisión de gases que dañan la capa de ozono. Un protocolo para su protección fue negociado bajo los auspicios de las Naciones Unidas y firmado en Montreal, Canadá, en 1987. Bajo el endurecimiento posterior de las cláusulas del Protocolo de Montreal, los gases más peligrosos serán totalmente prohibidos a partir de 1996 (los países desarrollados tienen unos pocos años de gracia para introducir sustitutos que no dañen la capa de ozono). Dado que a los gases que la destruyen, les toma algún tiempo alcanzar la capa de ozono, es previsible que -no solamente sobre la Antártida, sino también en ciertas regiones del hemisferio norte- la situación empeore durante algunos de los años venideros. En conformidad con el cumplimiento de las prohibiciones, la capa de ozono comenzará a recuperarse, gradualmente, a partir del cambio de siglo. Aun así, se necesitará por lo menos un siglo, para que la recuperación sea total.



Gráfica 3. Cambio estimado en el contenido de cloro atmosférico en diferentes escenarios.

Autor: Roberto Calvo (traducción y adecuación).

Créditos:

✓ Referencias bibliográficas:

- Press Release: "The 1995 Nobel Prize in Chemistry". *Nobelprize.org*. Nobel Media AB 2014. Web. 30 Oct 2017. Recuperado de: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1995/press.html
- "The Nobel Prize in Chemistry 1995". *Nobelprize.org*. Nobel Media AB 2014. Web. 30 Oct 2017. Recuperado de: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1995

✓ Imágenes:

- http://www.ccpo.odu.edu/SEES/ozone/class/Chap_2/2_Js/2-07.jpg
- https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/images/halley_toms_ozone.png
- <http://slideplayer.es/4741319/14/images/21/%28Fuente%3A+Beneficios+globales+y+costos+del+Protocolo+de+Montreal+%29.jpg>

Fecha de publicación: 25 de septiembre de 2009.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).