

# POSIBLES INFLUENCIAS DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS EN EL OZONO ESTRATOSFERICO

Por F. S. ROWLAND\*

## *El balance del ozono en la atmósfera*

El ozono,  $O_3$ , se forma en la atmósfera terrestre a causa de la acción de la radiación ultravioleta del Sol ( $h\nu$ ) sobre el oxígeno molecular  $O_2$  según la reacción



Los átomos de oxígeno producidos en esta desintegración se combinan con el oxígeno molecular formando así el ozono, el cual debe ser estabilizado por un choque simultáneo con otra molécula estratosférica M, según el esquema:



(donde  $M^*$  está perturbado). A su vez, el ozono absorbe radiaciones ultravioletas solares de mayor longitud de onda que lo disocian nuevamente, según la ecuación:



así como también absorbe radiación visible e infrarroja, pero con una eficacia mucho menor.

El balance del ozono en la atmósfera se completa mediante varias reacciones que lo destruyen, incluyendo la reacción directa con oxígeno atómico



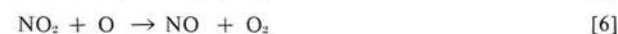
Como la otra posibilidad de los átomos de oxígeno es la formación de ozono mediante la Ec. [2], la ecuación [4] elimina dos equivalentes de ozono de la atmósfera. Este conjunto de reacciones [1] a [4] fueron postuladas en 1930 por Chapman (Chapman, 1930) para explicar cuantitativamente la distribución observada de la concentración del ozono atmosférico.

Si el ozono del aire se destruyera en donde se produce, la concentración máxima de ozono debería encontrarse sobre la Zona Ecuatorial y las concentraciones mínimas sobre los casquetes polares. Sin embargo, las medidas sistemáticas de ozono han demostrado que lo contrario es lo cierto: sobre las regiones ecuatoriales se encuentra un mínimo de ozono y las concentraciones máximas están en las regiones circumpolares. Evidentemente, la comprensión perfecta de esta distribución del ozono

\* El Profesor F. S. Rowland, del Departamento de Química de la Universidad de California en Irvine, intervino en la reunión del Grupo de Trabajo sobre los problemas estratosféricos y mesosféricos (Ginebra 1975), en la cual se redactó la "declaración de la OMM sobre modificación de la capa de ozono debida a las actividades del hombre y algunas posibles consecuencias geofísicas".

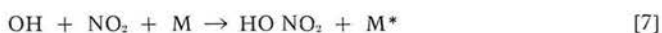
exige un conocimiento muy completo de la meteorología y de la fotoquímica a estos niveles.

Durante los dos decenios últimos la precisión cada vez mayor en la medición de las constantes de equilibrio químico ha demostrado que en la estratosfera se producen también otros fenómenos naturales de disociación. El más importante de éstos es el ciclo catalítico de los óxidos de nitrógeno  $\text{NO}_x$  (Crutzen, 1970; Nicolet y Vergison, 1971; y McElroy y McConnell, 1971), en el cual las sucesivas reacciones [5] y [6], son en conjunto el equivalente de la [4] anterior:



También se han descubierto otros ciclos catalíticos naturales, de menor importancia, basados en otras especies químicas, como el H, OH, y el  $\text{HO}_2$ .

La característica del ciclo catalítico es que la especie química que lo inicia (el NO en la Ec. [5]) aparece de nuevo, en la segunda reacción, Ec. [6] y está dispuesto inmediatamente para comenzar de nuevo el ciclo. Esta cadena de reacciones catalíticas permite a una sola molécula de NO ser causa de la combinación de docenas o centenas de átomos de O y moléculas de  $\text{O}_3$ . Todos estos ciclos catalíticos tienen en común el hecho de que los elementos reactivos de la cadena, el NO o el  $\text{NO}_2$  en las ecuaciones [5] y [6], son radicales libres, es decir, que tienen un número impar de electrones y en consecuencia uno de ellos está desemparejado: así por ejemplo, el NO tiene 15 electrones, el  $\text{NO}_2$  tiene 23, el H tiene 1 y el OH tiene 9. Aunque una especie particular con un número impar de electrones (NO) puede ser eliminada de la atmósfera mediante una reacción como la [5], la aparición de otra especie con número impar de electrones en esa misma reacción sólo puede ser evitada si reaccionan dos especies con electrones desemparejados, como en la reacción



para el OH y el  $\text{NO}_2$ . Dado que en la atmósfera el número de moléculas con número par de electrones predomina en una proporción de  $10^8$  a 1 sobre las moléculas con número impar de electrones, el número de ciclos catalíticos o la longitud de la cadena antes de que reaccionen entre sí dos radicales puede ser bastante grande.

La terminación de las cadenas catalíticas mediante la formación de una molécula como el ácido nítrico ( $\text{HONO}_2$  en la Ec. [7]) puede invertirse por efecto de la radiación solar, según



Aunque los cuerpos suficientemente transparentes y no reactivos pueden tener una vida media estratosférica razonablemente larga, la terminación permanente de las cadenas catalíticas estratosféricas sólo puede producirse cuando estas especies químicas se difunden hacia abajo, a través de la tropopausa, hasta regiones lavadas periódicamente por el arrastre, con las precipitaciones, de las especies solubles en agua.

## Gases originados por el hombre que afectan al balance del ozono

La gran mayoría de los gases producidos por el ser humano (gases antropogénicos) y desprendidos en la superficie de la Tierra se eliminan rápidamente mediante fenómenos naturales tales como la lluvia o la absorción en la superficie de partículas en fase condensada. Los compuestos gaseosos no eliminados directamente por estos fenómenos suelen descomponerse por efectos de la radiación solar o por el ataque de reactivos químicos (como el radical OH) y los productos resultantes de estas reacciones se eliminan con rapidez. Pero para cualquier tipo de moléculas capaz de llegar hasta la estratosfera estos métodos naturales de barrido tienen que ser ineficaces. En particular, esta eliminación troposférica es evidentemente inaplicable a las moléculas emitidas en la estratosfera, como sucede con los gases de escape de los aviones sub-estratosféricos, con los gases de los cohetes y otros. Algunos gases antropogénicos pueden también llegar a la estratosfera, aún habiendo sido producidos al nivel del suelo, porque son insolubles en el agua, no absorben la radiación solar disponible (longitudes de onda mayores que 300 nm en la superficie) y son inertes ante los radicales químicos existentes en la troposfera.

La presencia de los óxidos NO y NO<sub>2</sub> naturales en la estratosfera no es debida a su producción a nivel del suelo y una ulterior difusión ascendente de estas moléculas hasta la estratosfera, ni están tampoco formadas *in situ* en la atmósfera por los rayos cósmicos, las descargas eléctricas u otras causas, sino que el manantial estratosférico de los radicales NO<sub>x</sub> es predominantemente el gas N<sub>2</sub>O que se produce en el suelo y en los mares mediante el fenómeno natural de la desnitrificación bacteriana (Crutzen, 1970; Nicolet y Vergison, 1971; McElroy y McConnell, 1971) y que por difusión ascendente llega a la estratosfera; este gas, al revés que los radicales libres NO y NO<sub>2</sub> carece de actividad química. No se conoce ningún fenómeno natural troposférico que elimine dicho N<sub>2</sub>O, por lo cual puede persistir en la troposfera un lapso suficientemente grande como para pasar a la estratosfera. En la estratosfera media pueden producirse tres reacciones químicas diferentes que destruyen, el NO<sub>2</sub>, como son:



de las cuales, la Ec. [11] produce el radical NO. Los átomos aislados de oxígeno perturbado O(<sup>1</sup>D), necesarios para las ecuaciones [10] y [11] se forman en la fotólisis solar del O<sub>3</sub> con fotones de longitud de onda inferior a 310 nm; los átomos de oxígeno en estado normal a nivel del suelo O(<sup>3</sup>P) no atacan al N<sub>2</sub>O.

## El ozono y las temperaturas elevadas

Cuando el aire normal se calienta a temperatura muy elevada, algunas de las moléculas de N<sub>2</sub> y de O<sub>2</sub> se convierten en dos moléculas de NO. Por lo tanto, las transformaciones que ponen al aire en contacto con superficies muy calientes, como los motores de los automóviles o las tur-

binas de los aviones, por ejemplo, deben ser manantiales intrínsecos de NO; de aquí que los aviones de propulsión por chorro volando en la estratosfera introducen directamente en ella el NO entre los gases de escape (Johnston, 1971). Otro origen antropogénico potencial de NO, a partir de aire caliente, es el de las explosiones de bombas nucleares en la atmósfera y el aire encerrado en la bola de fuego ascendente producida en los ensayos de bombas de hidrógeno puede pasar la tropopausa y penetrar directamente en la estratosfera (CIAP, 1975).

*Programa de Estudios del Efecto climático (CIAP)*

La posibilidad de que los óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub> producidos por los aviones de transporte supersónico (SST) puedan ser inyectados en la estratosfera en una cantidad suficiente para perturbar el equilibrio natural del ozono llevó a una investigación de este problema durante tres años a través del Programa de Estudios de los Efectos Climáticos, del Departamento de Transportes de los EE. UU. En el curso de este programa se hicieron grandes progresos en el conocimiento de la estratosfera natural, entre los cuales figura el descubrimiento de muchas especies químicas raras y el desarrollo de modelos satisfactorios para la descripción de la química estratosférica (CIAP, 1975). Estos nuevos descubrimientos resultaron esenciales para la valoración de los efectos cuantitativos en función de la disminución potencial del ozono.

*Efectos debidos a los aviones que vuelan en la estratosfera*

Se han efectuado ya bastantes investigaciones sobre la inyección directa de NO<sub>x</sub> en la estratosfera mediante vuelos de aviones supersónicos y de los efectos resultantes sobre la capa de ozono.

Por ejemplo, los diversos cálculos realizados sobre la disminución media del ozono durante el CIAP mostraron una buena concordancia sobre la magnitud de las consecuencias que pueden esperarse según la fuente potencial de NO<sub>x</sub> que es cada avión, como se muestra en la tabla adjunta (Nat. Academy of Sciences de los EE. UU., 1975).

**T A B L A**

**Aumento (en tanto por ciento) del efecto eritematoso de la radiación solar, por cada cien aviones que vuelan en la estratosfera**

<i>Tipo de aeronave</i>	<i>Aumento en tanto por ciento de la radiación ultravioleta β debido a cien aeronaves</i>
Subsónicos actuales ... ..	0,04
Subsónicos proyectados ... ..	0,4
Supersónicos actuales (aviones de las clases Concorde o Tupolev).	1,4
Supersónicos proyectados anteriormente (Boeing SST de los EE. UU. ... ..)	6,0

La disminución media estimada del ozono, debida a la flota de 500 Boeing SSTs fue de un 16 por 100 para el hemisferio boreal y de un

8 por 100 para el austral. El efecto previsto de los 30 aviones Concorde y Tupolev SSTs sería mucho menor, debido en parte al número muy inferior de aviones y en parte a que vuelan a altitudes menores. Las investigaciones del CIAP han demostrado que el vuelo de centenares de aeronaves entre las altitudes de 17 y de 25 km puede tener graves consecuencias para la atmósfera inferior y por ello son imprescindibles ulteriores estudios y observación de estas actividades.

En la declaración publicada por la OMM (OMM, 1976) se afirma que «aunque existe bastante incertidumbre en las medidas y en la teoría (a este último respecto con un factor de dos), sin embargo, el papel de los  $\text{NO}_x$  está lo suficientemente bien establecido para poder afirmar con seguridad que:

Los SSTs actualmente proyectados, debido a sus niveles de vuelo inferiores a 17 km y a su número reducido (en proyecto de 30 a 50) se prevé que no tendrán un efecto apreciable, o que pueda distinguirse de las variaciones naturales.

Una flota numerosa de aviones supersónicos, que volasen a altitudes mayores tendría un efecto observable sobre la capa de ozono y por ello los niveles máximos admisibles de emisión de gases pueden tener que ser establecidos mediante un convenio internacional.

Aunque el número actual de aviones subsónicos y sus altitudes de vuelo no deben tener un efecto apreciable en la estratosfera, la tendencia de cada nueva generación de aviones subsónicos a volar cada vez a mayor altura sugiere la necesidad de que esta fuente de óxido  $\text{NO}_x$  sea vigilada cuidadosamente».

#### *Efectos debidos a los ensayos de bombas atómicas*

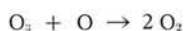
Cálculos relativos a los efectos de estos ensayos indican que hacia 1960, su influencia sobre el ozono era sólo observable marginalmente (CIAP, 1975), pero que una guerra nuclear en la actualidad produciría gravísimas pérdidas de ozono en ambos hemisferios (Academia de Ciencias Naturales de los EE. UU.).

#### *Efectos de los fluoroclorometanos sobre el ozono*

Recientemente los componentes estratosféricos que afectan al ozono se han ampliado con la cadena de radicales libres  $\text{ClO}_x$  según se indica con las siguientes reacciones (Stolarski y Cicerones, 1974);



las cuales se resumen de nuevo en la reacción



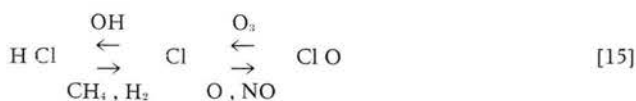
Los problemas más urgentes en la actualidad están relacionados con el empleo muy extendido de compuestos orgánicos que contienen cloro y flúor, como los fluoroclorometanos  $\text{CCl}_2\text{F}_2$  y  $\text{CCl}_3\text{F}$ , más conocidos por sus nombres comerciales de fluorocarbono — 12 y fluorocar-

bono — 11 (Molina y Rowland, 1974; Rowland y Molina, 1975; Consejo de Calidad del Ambiente, 1975). Estas moléculas no existen en la naturaleza pero se obtuvieron hace unos 50 años para su empleo como líquidos refrigerantes. Durante los dos decenios últimos se han vendido en cantidad que aumentó exponencialmente como gases impulsores en los aerosoles y la producción mundial en 1973 de fluorocarbono — 12 y fluorocarbono — 11 fue de 500.000 y 300.000 toneladas, respectivamente. Casi toda esta cantidad fue finalmente lanzada a la atmósfera, una mitad empleada en los aerosoles, una cuarta parte consumida como refrigerante y el resto empleado en usos diversos. La fabricación de estos compuestos en EE. UU. es casi la misma que en Europa occidental, en tanto que se fabrican cantidades mucho menores en otras partes. La inactividad química de estas moléculas, tan útil para la tecnología, les hace permanecer inertes en la troposfera; son transparentes a la radiación visible y a la ultravioleta de longitud de onda mayor que 230 nm, son insolubles en agua, no reaccionan con el OH y en general, son biológicamente inactivas (Rowland y Molina, 1975). El único sumidero importante de estas moléculas descubierto hasta ahora es la fotólisis inducida por la radiación ultravioleta estratosférica, según la reacción



con liberación de átomos de cloro. Las medidas efectuadas durante el verano de 1975 demostraron claramente la desaparición de ambos fluorocarbonos en la estratosfera, como se muestra en la *Figura 1* para el  $\text{C Cl}_3 \text{F}$  (Schmeltekopf *et al*, 1975; Heidt *et al*, 1975); en reacciones subsiguientes afectando a los radicales producidos, como el  $\text{C Cl F}_2$ , se desprenden los restantes átomos de cloro en la estratosfera.

La química de los átomos de cloro en la estratosfera se conoce razonablemente bien e incluye las seis reacciones principales siguientes:



Si se combinan las concentraciones estratosféricas conocidas de estas seis especies químicas con los coeficientes de combinación de estas reacciones a las temperaturas estratosféricas, también conocidos, pueden calcularse las concentraciones relativas del Cl H, del Cl O y del Cl. A todas las altitudes es el Cl H el cuerpo predominante y la fracción de descomposición, que aumenta con la altitud (de un modo aproximadamente complementario de la fracción de supervivencia de la *Figura 1*) indica que la razón de mezcla del Cl H debe aumentar con la altura entre los 15 y los 30 km. Este aumento del Cl H con la altitud ha sido comprobado, tanto mediante la espectroscopia infrarroja *in-situ* (comunicación particular de C. B. Farmer, O. F. Raper y R. H. Norton; y M. Ackerman, mencionado por M. Nicolet en una comunicación personal), como mediante la captura química con filtros transportados en aviones y globos (Lazrus *et al*, 1975). Conforme ha aumentado la precisión de las medidas de las concentraciones de los  $\text{C Cl}_3 \text{F}$  y  $\text{C Cl}_2 \text{F}_2$  (razones de mezcla de  $123 \cdot 10^{-12}$  y de  $208 \cdot 10^{-12}$  respectivamente, en el oeste de los EE. UU. en septiembre de 1975, con

un error aproximado del  $\pm 10$  por 100 (informe personal de R. Rasmussen) la posibilidad de sumideros troposféricos importantes de los fluorocarbonos se vuelve cada vez menor, ya que la mayor parte de estos cuerpos desprendidos en la atmósfera están aún en ella. La cantidad de ClH estratosférico concuerda muy bien con la esperada a partir de las concentraciones troposféricas de  $\text{CCl}_3\text{F}$ ,  $\text{CCl}_2\text{F}_2$  y  $\text{CCl}_4$  (antropogénicos) y de  $\text{CH}_3\text{Cl}$  (aparentemente de origen natural). Se cree que en la actualidad solamente las concentraciones de los fluorocarbonos aumentan con rapidez.

#### Consecuencias posibles de la disminución del ozono

El  $\text{ClO}_x$  desprendido de los fluorocarbonos hasta el día se estima que ha reducido la cantidad total de ozono en un 1 por 100, aunque si se continúa la emisión en la atmósfera al ritmo de producción de 1972, probablemente daría lugar a una reducción de ozono de un 10 por 100, con un factor de incertidumbre de dos (OMM, 1976). La lentitud de la



Figura.—Una comparación entre un perfil teórico de  $\text{CFCl}_3$  (Molina y Rowland, 1975) y las medidas estratosféricas realizadas por la NOAA (Heidt y al., 1975) y la NCAR (Schmeltkopf y al., 1975). La razón de mezcla relativa es la razón de mezcla estratosférica dividida por la troposférica.

Simbolos utilizados:

○ NCAR

□ NOAA

————— Calculada

difusión estratosférica produce un retraso tal que el efecto del  $\text{ClO}_x$  en la estratosfera irá aumentando durante los diez a quince años siguientes al término de la emisión de estas moléculas en la atmósfera. Además, como solamente una pequeña fracción de ellas está sometida a la intensa radiación ultravioleta solar, el promedio de duración de estas moléculas está comprendido entre 50 y 100 años; se estima pues que el autolimpiado de la atmósfera tardará más de un siglo en conseguirse (Rowland y Molina, 1975).

Como la debilitación de un 10 por 100 de la capa de ozono a causa de las reacciones del  $\text{ClO}_x$  es del mismo orden que la originada por los  $\text{NO}_x$  producidos en el vuelo de los ATSS, se ha iniciado ya una acción legislativa en los EE. UU. En el estado de Oregón se ha aprobado una Ley prohibiendo el uso de los fluorocarbonos 11 y 12 en los pulverizadores, la cual entrará en vigor el 1 de marzo de 1977.

*Efectos biológicos.*—La situación actual se resume en el párrafo correspondiente de la declaración de la OMM (OMM, 1976), que afirma que «una reducción en la columna de ozono dará lugar a un aumento en la radiación ultravioleta  $\beta$  recibida en el suelo y los cálculos teóricos realizados teniendo en cuenta la absorción y la difusión por el ozono y otros componentes atmosféricos han indicado la existencia de un factor de amplificación aproximado de 1,45 a 2,05 entre los cambios relativos de la columna de ozono y los de la intensidad de la radiación ultravioleta  $\beta$  con cielo despejado. En otras palabras, una disminución del 10 por 100 de ozono daría lugar a un aumento del 20 por 100 en la intensidad de la radiación  $\beta$  —radiación eritematogena—».

El cáncer de piel humano es causado fundamentalmente por la radiación ultravioleta  $\beta$ , con una incidencia aproximadamente proporcional a la dosis recibida. En consecuencia, las estimaciones efectuadas indican que una disminución del 5 por 100 en la concentración total del ozono daría lugar a un aumento aproximado del 10 por 100 en la producción del cáncer de piel en el ser humano. Otras especies biológicas pueden también ser afectadas por el aumento de la radiación  $\beta$ , pero no se han efectuado los experimentos necesarios.

*Efectos climáticos.*—La energía solar absorbida por el ozono al descomponerse según la Ec. [3] es transmitida a otras moléculas, mediante la Ec. [2] y así el ozono actúa como el foco de calor más importante de la estratosfera. Los cambios en la distribución con la altitud pueden por ello, tener una influencia directa en la estructura térmica de la estratosfera. Igualmente, las alteraciones en el contenido total de ozono pueden igualmente influir lo mismo en la propagación de la radiación solar descendente que en la radiación ascendente que escapa, principalmente en la banda infrarroja, procedente de la superficie terrestre. Estas influencias recíprocas, añadidas a otros problemas relacionados, como el de la capa nubosa, la humedad y otros, son extraordinariamente complicados.

En la declaración de la OMM (OMM, 1976) afirma que: «la disminución del ozono debida a las actividades humanas producirá probablemente, una disminución de la temperatura de hasta  $10^\circ\text{C}$  en la estratosfera superior». Este valor se ha calculado como efecto de una situación estacionaria basada en la emisión continuada de fluorocarbonos al ritmo de 1972.

La preocupación por los posibles efectos climáticos ha aumentado por el descubrimiento reciente de un «efecto de invernadero» apreciable de los fluorocarbonos (Ramanathan, 1975). Mientras que la intensa absorción del  $\text{CO}_2$  artificial se produce, naturalmente, en las longitudes de onda ya absorbidas por el  $\text{CO}_2$  natural, la intensa absorción de los fluorocarbonos corresponde a la región casi transparente del aire en el infrarrojo y se calcula que tendrá efectos apreciables.



La lista de otros posibles destructores antropogénicos del ozono puede ampliarse fácilmente, considerando otros manantiales de radicales libres. El bromo, como el cloro, tiene una cadena activa de óxido  $\text{BrO}_x$ , pero no se han descubierto fuentes importantes de los mismos, de origen artificial (PEEC, 1975). (El restante halógeno, a saber, el flúor desprendido en la descomposición de los  $\text{CCl}_3\text{F}$  y  $\text{CCl}_2\text{F}_2$ , también inicia una cadena, pero el fluoruro de hidrógeno formado es muy estable y por ello la disminución de ozono que produce es despreciable). El empleo cada vez mayor de abonos nitrogenados requiere estudios muy ponderados sobre la posibilidad de desnitrificación de estos cuerpos, lo que aumentaría la cantidad natural de óxido hiponitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) actualmente producida (Crutzen, 1974).

### Programa internacional

Durante los años próximos se necesitará realizar estudios detallados de la aeronomía de estos diversos compuestos, *para conseguir* estimaciones más cuantitativas de las reacciones químicas correspondientes. También se necesitan evaluaciones urgentes de los posibles efectos climáticos y biológicos de la disminución del ozono atmosférico, aún cuando la escala de tiempos de esta investigación es probablemente, más larga que la de la química atmosférica misma.

Con estas exigencias in-mente hubo un acuerdo unánime, en la reunión del Grupo de Trabajo sobre los Problemas Estratosféricos y Mesosféricos (de la Comisión de Ciencias de la Atmósfera, OMM) celebrada en Ginebra en septiembre de 1975 (véase el *Boletín de la OMM*, Vol. XXV, N.º 1, pág. 35) sobre la necesidad de un programa internacional coordinado bajo la dirección de la OMM. En este programa deberán estudiarse todos los aspectos de la atmósfera estratosférica que afecten al ozono.

Un grupo de expertos, junto con observadores del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y del Consejo Internacional de Uniones Científicas (CIUC), se reunió recientemente en Toronto. En esta reunión (véase pág. 132) se analizaron los detalles de este programa futuro y se consideró que sería necesario un período de tres o cuatro años de esfuerzos continuados de estudio y de medidas para cumplir los propósitos del programa, a saber, responder a las preguntas más urgentes que plantea la disminución del ozono atmosférico a causa de las actividades humanas y averiguar algunas de las consecuencias geofísicas que se produzcan.

### BIBLIOGRAFIA

- CHAPMAN, S. (1930): *A theory of upper-atmosphere ozone*. Mem. R. Met. Soc., 3, pp. 103-125.
- CIAP (1975): *The natural stratosphere of 1974*: CIAP monografía 1. US Department of Transportation, DOT-TST-75-51, Washington D. C., 1.300 pp.
- COUNCIL ON ENVIRONMENTAL QUALITY (1975): *Fluorocarbons and the environment*: Report of Federal Task Force on inadvertant modification of the stratosphere (IMOS). Council on Environmental Quality, Washington D. C., 109 pp.
- CRUTZEN, P. (1970): *The influence of nitrogen oxides on the atmospheric ozone content*. Quart. J. R. Met. Soc., 96, pp. 320-325.
- CRUZEN, P. (1974): *Estimates of possible variations in total ozone due to natural causes and human activities*. Ambio, 3, pp. 201-210.

- HEIDT, L. E., LUEB, R., POLLACK, W. and EHHALT, D. H. (1975): *Stratospheric profiles of CCl<sub>2</sub> and CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>*. Geophys. Res. Letters, 2, pp. 445-447.
- JOHNSTON, H. (1971): *Reduction of stratospheric ozono by nitrogen oxide catalyts from supersonic transport exhaust*. Science, 173, pp. 517-522.
- LAZRUS, A. L., GANDRUD, B. W., WOODARD, R. N. y SEDLACEK, W. A. (1975): *Stratospheric halogen measurements*. Geophy. Res., 2, pp. 439-441.
- McELROY, M. B. y McCONNEL, J. C. (1971): *A natural source of stratospheric NO*. J. Atmos. Sci., 28, pp. 1.095-1.098.
- MOLINA, M. y ROWLAND, F. S. (1974): *Sstratospheric sink for chlorofluoromethanes — chlorine atom catalysed destruction of ozono*. Nature, 249, pp. 810-812.
- NICOLET, M. y VERGISON, E. (1971): *L'oxyde azoteux dans la stratosphère*. Aeronómica Acta, 90, pp. 1-16.
- OMM (1976): *Declaración de la OMM sobre la modificación de la capa de ozono a causa de las actividades humanas y algunas consecuencias geofísicas posibles*. Bol. OMM, XXV (1). pág. xxx-xxx.
- RAMANATHAN, V. (1975): *Greenhouse effect due to chlorofluorocarbons: Climatic implications*. Science, 190, pp. 50-52.
- ROWLAND, F. S. y MOLINA, M. (1975): *Chlorofluoromethanes in the environment*. Rev. Geophy. and Space Phy., 13, pp. 1-36.
- SCHMELTEKOPF, A. L. et al. (1975): *Measurements of Stratospheric CFCl<sub>3</sub>, CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub>*. Geophys. Res. Letters, 2, pp. 393-396.
- STOLARSKI, R. S. y CICERONE, R. J. (1974): *Stratospheric chlorine: a possible sink of ozone*. Canadá J. Chem., 52, pp. 1.582-1.591.
- US NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (1975): *Long-term world-wide effects of multiple nuclear-weapons detonations*. US National Academy of Sciences, Washington D. C., 212 pp.

## FENOMENOS METEOROLOGICOS MAS NOTABLES ACAECIDOS EN 1975 - PARTE I

### Introducción

La exposición que sigue ha sido extractada de los informes recibidos de los Servicios Meteorológicos nacionales de distintas partes del mundo. Previamente a la descripción detallada se incluyen unos comentarios generales referentes a las características principales del estado atmosférico en ambos hemisferios septentrional y meridional, basados en gran parte en las datos suministrados por los Servicios Meteorológicos de Australia, Japón y EE. UU. También resultaron muy útiles los mapas hemisféricos de medias mensuales, preparados por la Universidad Libre de Berlín, al redactar las características generales del estado atmosférico en el hemisferio septentrional.

Es importante dar en un resumen de este tipo, una descripción detallada sobre todo el globo; los compiladores de este trabajo, sin embargo, están muy agradecidos al gran número de Servicios Meteorológicos que les enviaron sus informes y su principal sentimiento es que, a causa de la falta de espacio, han sido incapaces de incluir todos los fenómenos interesantes, hechos y cifras que les fueron enviadas.