

DISMINUCION DE LA CAPA DE OZONO SOBRE LA ANTARTICA

Mariano Sarratea Saint-Lawrence*
Capitán de Corbeta

INTRODUCCION

En 1972, a través de satélites meteorológicos, se detectó una disminución de la capa de ozono sobre el Polo Sur.

Durante los últimos cinco años, las mediciones han mostrado que esta disminución ha aumentado, alcanzando hasta un 50% de la capa, lo que ha motivado una gran preocupación en los círculos científicos.

Las investigaciones actualmente en curso apuntan a dos objetivos. En primer término, se está tratando de encontrar la causa de esta disminución, cuya característica principal es que se manifiesta desde septiembre hasta octubre y es mayor cada año. En segundo término, se investiga porqué la capa de ozono disminuye sólo en el Polo Sur, sin que se manifieste este fenómeno en ninguna otra parte de la Tierra.

En el presente trabajo se ha recopilado antecedentes y se ha efectuado un estudio bibliográfico con miras a presentar un resumen que permita evaluar la necesidad o la conveniencia de que la armada promueva la participación de Chile en las investigaciones en desarrollo. Al respecto, debe considerarse que en la actualidad casi la totalidad de los recursos para investigación en este campo están siendo suministrados por Estados Unidos. Chile está considerado como la base de operaciones de las aeronaves involucradas en las actividades de 1987, las que se realizan desde Punta Arenas.

En este artículo se describe las características de la atmósfera y su relación con el ozono; se revisa los mecanismos que pueden afectar a la capa y se indica el estado actual de las investigaciones respectivas. Posteriormente se mencionará las actividades previstas por Estados Unidos para este año y se expondrá algunas conclusiones y recomendaciones.

ANTECEDENTES TECNICOS

Se analiza aquí las características de la atmósfera y del ozono y la interacción entre ambos.

La atmósfera

En la Fig. 1 se aprecia la estructura vertical de la atmósfera. Para nuestro objetivo, son de interés las dos capas más cercanas a la superficie, que son la troposfera y la estratosfera. La zona de unión entre ambas es la tropopausa.

—*La troposfera*. Es la capa más cercana a la superficie terrestre; tiene una altura aproximada de diez kilómetros. En ella se desarrollan todos los fenómenos meteorológicos que nos son familiares, tales como el viento, la lluvia y la nieve.

* El autor desea dejar especial constancia de su agradecimiento al Vicealmirante Sr. Jorge Sepúlveda Ortiz, quien motivó el interés en el tema, y al Teniente 1º Sr. Heinrich Obermoller Canales, quien aportó valiosos antecedentes.

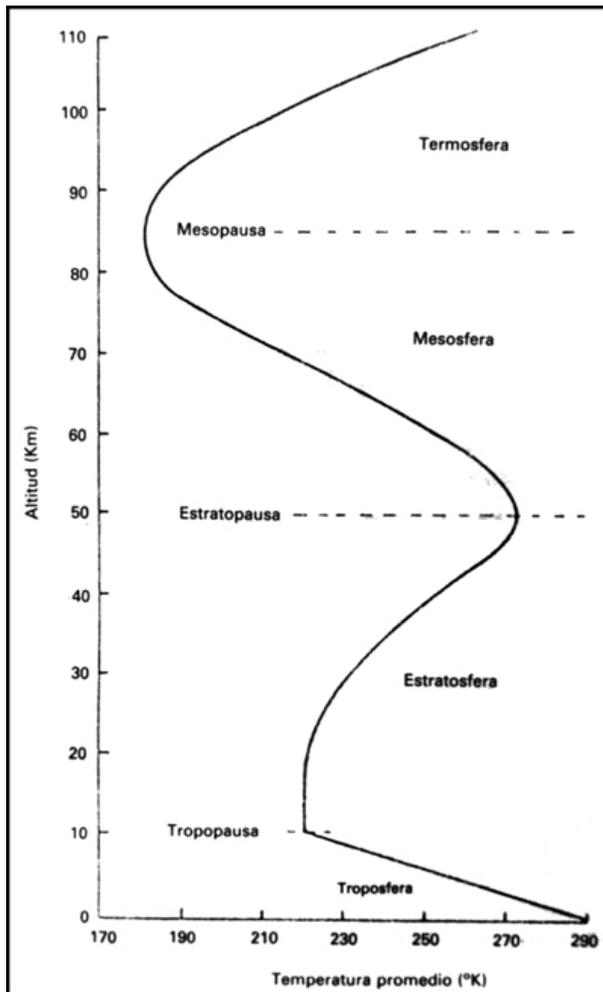


Fig. 1
VARIACION DE LA TEMPERATURA EN LA ATMOSFERA

Gracias a esta capa se mantiene las condiciones adecuadas para la vida tal como la conocemos. En efecto, la atmósfera es prácticamente transparente a la luz visible, por lo que una buena proporción de la radiación solar alcanza la superficie terrestre, siendo absorbida por ésta en forma de calor. La superficie a su vez, emite radiación térmica, pero infrarroja, radiación que es absorbida en la tropósfera, elevándose así la temperatura cerca del suelo y proporcionando el ambiente propicio para la vida.

Esto es lo que se llama el Efecto Invernadero (Fig. 2). La diferencia de temperatura que se establece con la altura (gradiente térmico), es la que fija las características de la troposfera. Por ejemplo, el viento es un desplazamiento de masas de aire entre zonas a distintas temperaturas, y la lluvia se debe a la evaporación que se produce en zonas húmedas y su posterior condensación.

Los fenómenos meteorológicos que se producen en la troposfera implican que en esta capa se crean grandes turbulencias, por lo que los contaminantes que se introduzcan en ella se mezclarán rápidamente, regresando al suelo en zonas próximas a su lugar de origen. Además, en esta capa se encuentran los accidentes topográficos, lo que contribuye aún más a una mayor turbulencia.

— *La estratosfera.* Es la región atmosférica que está más arriba de la troposfera. También ha sido llamada ozonosfera, por producirse en ella los procesos naturales que tienen relación con el ozono.

Se extiende entre los diez y los cincuenta kilómetros de altura. Su principal característica es la inversión del gradiente térmico (ver fig. 1). En la capa anterior (troposfera), la temperatura comienza a aumentar a medida que se asciende, hasta llegar a 0 °C (273 °K), aproximadamente. Este fenómeno se debe a la presencia del ozono, que es el que absorbe la mayor parte de la radiación ultravioleta proveniente del sol. La energía liberada en estas reacciones fotoquímicas es suficiente para producir este efecto térmico.

Debe tenerse presente que la mayor parte de la radiación solar está en el espectro visible, y en la estratosfera sólo se absorbe la radiación ultravioleta.

Este aumento en la temperatura de la atmósfera trae como consecuencia la formación de una capa muy estable (no turbulenta) que dificulta la mezcla y eliminación de los contaminantes introducidos en ella, por lo que un elemento puede permanecer en la estratosfera por largos períodos. Existe otro fenómeno estratosférico de importancia para nuestro objetivo, y es que, a pesar de ser ésta una capa estable en lo vertical, existen en ella vientos horizontales tan fuertes como los de la troposfera, lo que implica que la contaminación estratosférica que se introduzca

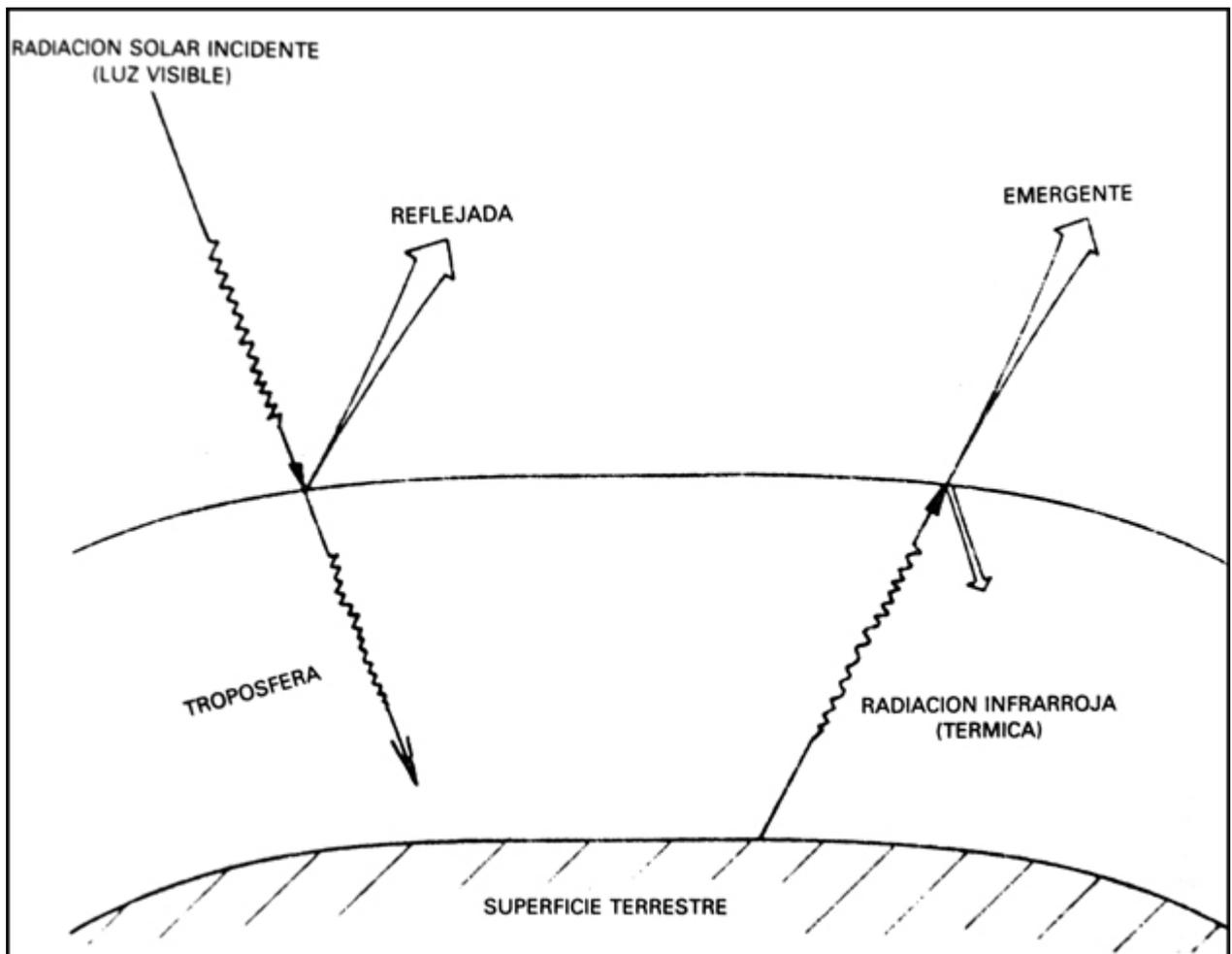


Fig. 2
EFECTO INVERNADERO

podrá ser diseminada por el globo terráqueo independiente de su lugar de origen; esto es lo que debiera obligar a todo el mundo a preocuparse de fenómenos estratosféricos aparentemente aislados.

La circulación horizontal se produce por ondas planetarias generadas en la troposfera por las diferencias de temperatura tierra-océano y su movimiento ascendente-descendente al chocar con obstáculos y ser reflejada en la estratosfera.

El ozono

El ozono es una de las formas en que se presenta el elemento oxígeno. El oxígeno común tiene dos átomos en cada molécula gaseosa; el ozono, en cambio, tiene tres.

El ozono es de color azul. Su penetrante olor es familiar puesto que aparece cuando los aparatos eléctricos producen chispas en el aire. Es irritante para las membranas mucosas y es tóxico para los seres humanos y animales inferiores. Es nocivo para la salud respirar, por períodos prolongados, aire que contenga más de 0,1 partes por millón (ppm) de ozono.

El ozono se encuentra presente en cantidades variables en la atmósfera terrestre. En las cercanías de la superficie terrestre la concentración es, normalmente de 0,02-0,03 ppm en aire campestre y menor en las ciudades, excepto en aquéllas que tengan "smog", en cuyo caso la concentración puede alcanzar hasta 0,5 ppm durante cortos intervalos.

Sobre los veinte kilómetros de altura, el ozono se forma mediante acción fotoquímica sobre el oxígeno. La concentración máxima ocurre aproximadamente a los treinta kilómetros y

alcanza valores hasta mil veces mayores que los máximos en superficie.

Al absorber la mayor parte de la luz ultravioleta de onda corta, la capa de ozono protege la vida humana y otras formas de vida; de aquí la gran importancia que el ozono tiene para la mantención del equilibrio necesario en las condiciones que permiten la vida tal como la conocemos. La capa de ozono es más delgada en el Ecuador, lo que permite, en consecuencia, que una mayor cantidad de radiación ultravioleta alcance la superficie en la zona tórrida. Se estima que ésta es una posible causa para que en las zonas ecuatoriales exista una mayor incidencia de cáncer a la piel.

La disociación del ozono a oxígeno es catalizada por varios compuestos químicos, en especial los óxidos de nitrógeno y el cloro. Los rayos cósmicos forman óxido nítrico en la estratosfera. Debido a que la actividad solar hace aumentar el campo magnético de la Tierra, los rayos cósmicos son deflectados hacia afuera de ella; en consecuencia, inmediatamente después que el ciclo de actividad solar alcanza su máxima fase, hay menos óxido nítrico y más ozono. Asimismo, se estima que incidentes de supernovas han reducido hasta en un 90% la capa de ozono varias veces en la historia de la Tierra. Esta podría ser una explicación para la repentina desaparición de grandes grupos de animales.

Las actividades del hombre también influyen en la capa de ozono. Las explosiones nucleares de gran potencia que se realicen en la atmósfera producirían, por ionización del aire, grandes cantidades de óxido nítrico que eventualmente pueden alcanzar la estratosfera. Los aviones supersónicos que deben volar a gran altura también inyectan óxido nítrico en la estratosfera.

La liberación a la atmósfera, de ciertos fluorocarbonos que contienen cloro puede ser otra fuente de átomos de cloro presentes en la estratosfera. En efecto, en la mayoría de los casos los fluorocarbonos son químicamente inertes, por lo que, al ser liberados en superficie, pueden sobrevivir por varios años en la troposfera, migrando algunos de ellos hacia niveles superiores. Este tránsito hasta la estratosfera es lento; por ello es que lo que se libere hoy en superficie alcanzaría su máximo efecto en unos diez años más, y su influencia durará por casi un siglo.

—*Ozono en la atmósfera.* A pesar de encontrarse en muy pequeñas cantidades (solo una millonésima parte del oxígeno se convierte en ozono), en la estratosfera el ozono juega un papel crítico para la biosfera (región donde existe vida) puesto que absorbe los rayos ultravioleta, cuya longitud de onda está entre los 240 y 320 nm. Esta radiación es letal para los organismos unicelulares (algas, bacterias, protozoos) y para las células superficiales de plantas superiores y animales. También daña el material genético de las células (DNA) y es responsable por las quemaduras del sol en la piel. Se han establecido correlaciones entre la incidencia del cáncer a la piel, con las intensidades superficiales de los rayos ultravioletas con longitudes de onda entre 290 y 320 nm.

A una altura de treinta kilómetros, aproximadamente, el oxígeno es disociado durante el día por fotones ultravioletas, mediante la reacción:



Donde: h , constante de Planck = $6,6 \times 10^{-34}$ Joule x segundo

ν , Frecuencia del fotón = c/λ

c , Velocidad de la luz

λ , Longitud de la onda del fotón

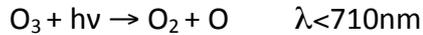
Los átomos de oxígeno forman ozono a través de la reacción:



En donde: M es cualquier molécula

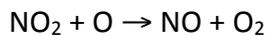
O₃, ozono

El ozono, por absorber fotones, también es destruido durante el día:

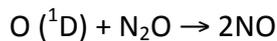
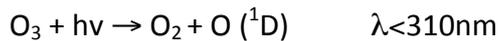


Esta última reacción no produce destrucción total del ozono, ya que genera un átomo de oxígeno que posteriormente se recombinará.

En general, las reacciones oxígeno-oxígeno no producen más allá del 18% de la remoción total; en cambio, más del 70% es removido por reacciones con el óxido nitroso y el dióxido de nitrógeno:



La reacción más importante en la destrucción del ozono, y que da origen a la formación del óxido nitroso, es:



En donde: O (¹D) es oxígeno activado

Con la formación del óxido nitroso se da origen a una mayor destrucción del ozono.

Otro porcentaje de la remoción se produce por átomos de hidrógeno y radicales, producto de la descomposición del vapor de agua, metano y otros. Todas estas reacciones son producto de fenómenos naturales sobre los cuales el hombre tiene muy poca injerencia; por lo que debe tenerse muy en cuenta que se puede operar solamente en el aspecto destrucción (aumentándola o disminuyéndola), si se desea restablecer el equilibrio que se ha roto. Con respecto a la circulación en la estratosfera, se produce un desplazamiento del ozono desde las regiones ecuatoriales hacia las regiones polares. Las concentraciones máximas de ozono se han observado aproximadamente a dieciocho kilómetros de altitud sobre los polos.

—*Ozono antártico*. Los últimos cinco años se ha estado midiendo la disminución de la capa de ozono sobre el Polo Sur. Es importante tener en cuenta que esta disminución no es un agujero en la capa, sino que es una disminución en el máximo del nivel de ozono; en otras palabras, los niveles máximos que se producen anualmente están alcanzando valores menores que los considerados normales previamente. Los máximos en la concentración de ozono se producen en el Polo Sur, entre los quince y los veinte kilómetros de altitud, al término de la noche polar, debido a que durante ella no se destruye el ozono que está siendo transportado desde regiones de menor latitud.

En la Fig. 3 se aprecia que estas disminuciones del ozono se acentúan más cada año; lo curioso es que ellas no se presentan en ninguna otra parte del globo terráqueo ni en ninguna otra estación del año, incluso sobre la Antártica.

Un dato importante que se está tratando de obtener es si esta disminución se presenta en todas las altitudes o solamente alrededor del máximo.

TEORIAS CIENTIFICAS

Las Interrogantes que deben ser explicadas como producto de las investigaciones pueden ser resumidas como sigue:

- a) ¿Estará siempre confinado a la Antártica o sólo es el primer indicio de cambios futuros en el ozono mundial?
- b) ¿Es este fenómeno causado por el hombre o es parte de un ciclo natural no conocido?

Sin duda, deben existir interrelaciones entre las respuestas que se espera encontrar. Aquí serán expuestas las diversas teorías que son estudiadas actualmente.

Localización del fenómeno

Respecto a la aparición de este fenómeno, en la Antártica, sólo se pueden analizar las diferencias entre las características de los Polos.

Podría localizarse en esa área debido a las condiciones geofísicas únicas que en ella existen, vale decir, una noche polar con un vórtice polar estable que se extiende hasta la primavera y temperaturas muy frías que facilitan la formación de nubes estratosféricas polares. En el caso del Polo Norte, la topografía y las diferencias tierra-mar producen fuertes ondas planetarias que generan mayor transporte (flujo de calor) en el hemisferio norte (continental) que en el sur (marítimo).

Posibles causas del fenómeno

En general, existe acuerdo respecto a que los modelos actualmente utilizados para predecir la capa de ozono de la Tierra han omitido algunos procesos químicos o físicos que pudiesen explicar este fenómeno.

Causas químicas

La fotoquímica actualmente aceptada predice que el tiempo necesario para destruir químicamente el ozono a esa altitud es del orden de varios años, es decir, la distribución del ozono está física (dinámica) y no químicamente controlada, por lo que cualquier causa química debería acelerar dicho proceso, desde un rango de años hasta uno de semanas.

Las discusiones están centradas en dos grandes grupos: aquellas que abarcan las especies halogenadas (cloro, bromo, flúor) y las que no. En el primer caso, son productos contaminantes debido a la actividad del hombre; en el segundo, serían causas naturales.

Mecanismos de especies halogenadas

Las especies halogenadas que pudieran estar presente en la estratosfera son producto del uso del cloro-fluorocarbonos contenidos en aerosoles y sistemas refrigerantes.

Respecto a la capacidad de estas especies para producir este fenómeno, se sabe que no pueden producirlo con la necesaria rapidez en la fase gaseosa, pero podrían causarlo en interacción con superficies tales como las encontradas en las nubes estratosféricas polares, que son más frecuentes en el Polo Sur. El principio fundamental en el razonamiento es que las nubes, al sedimentar, podrían sacar el nitrógeno libre de la estratosfera permitiendo mantener el cloro activado con respecto al ozono, en esa región.

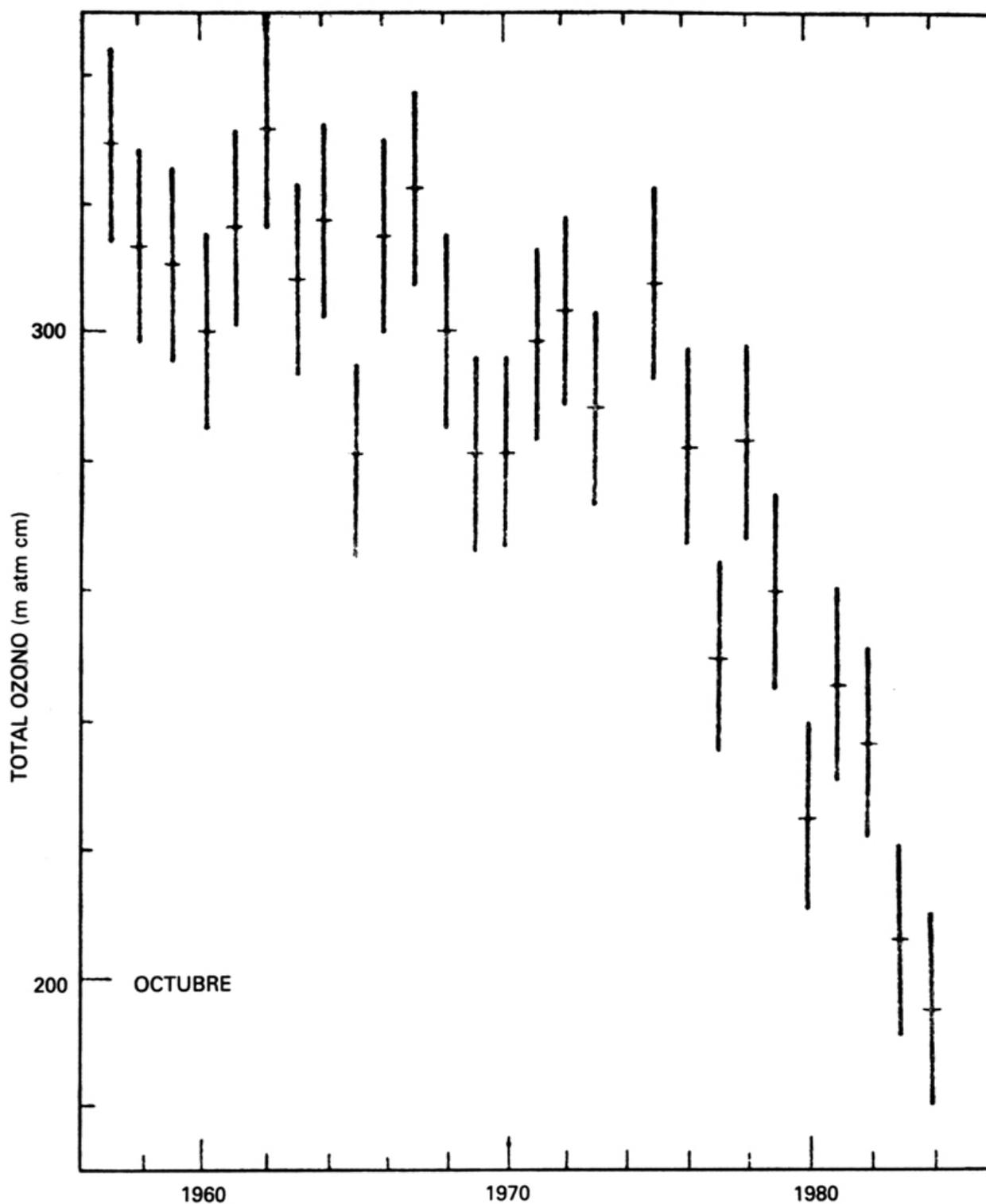


Fig. 3
 PROMEDIOS MENSUALES DE OZONO TOTAL EN BAHIA HALLEY, EN OCTUBRE DE 1960

Mecanismos del nitrógeno libre

En esta teoría se busca la explicación a través de mecanismos naturales. Aquí se sostiene que el contenido de nitrógeno libre en la estratosfera inferior podría ser aumentado por transporte de este elemento desde la estratosfera superior y desde la mesosfera, tercera capa atmosférica, durante la noche polar. Además, estos niveles podrían ser modulados por una

formación aumentada en la termosfera, cuarta capa, durante condiciones solares máximas. Para que esto sea efectivo requerirá que el contenido de nitrógeno libre en la estratosfera varíe en un período de once años, igual que el ciclo solar. Existen evidencias de que el contenido de nitrógeno libre en esta capa ha aumentado significativamente entre 1979 y 1984. Esta teoría relaciona la disminución del ozono con la actividad solar, con un desfase entre dos y cuatro años, y su localización se debería al transporte del nitrógeno libre hacia el Polo Sur durante la noche polar. La dinámica estratosférica del hemisferio norte impediría que ocurriera este fenómeno en el Polo Norte.

Causas físicas

Normalmente, el ozono es transportado desde la estratosfera superior hacia la estratosfera inferior y hacia los polos. Si por alguna razón este flujo se invirtiera, podría existir allí una explicación al fenómeno. Una posible causa para esta inversión podría encontrarse en la magnitud del calentamiento radiactivo, al que se ha sumado en los últimos años un incremento en la carga de aerosol estratosférico originado por varias grandes erupciones volcánicas

Explosiones nucleares atmosféricas y otras causas

Se ha desechado esta posible causa por el tiempo transcurrido entre las últimas explosiones atmosféricas y el presente. Además la magnitud de las explosiones atmosféricas realizadas no guarda relación con el fenómeno investigado. Ciertamente, en el caso de una guerra nuclear con muchas bombas de baja potencia o pocas de alta potencia, explosionadas en poco tiempo, se destruiría una buena porción del ozono, pero éste no ha sido el caso. Las explosiones producirían óxidos de nitrógeno, que son los que destruyen el ozono. En la actualidad, las explosiones de bombas nucleares se realizan bajo tierra y los modelos de predicción de ozono no consideran contaminación por esta causa.

En otras causas, aparecen los aviones supersónicos, los fertilizantes y los cohetes que usan combustible sólido. En todos ellos, los óxidos de nitrógeno serían la causal.

En el caso de las aeronaves, la frecuencia de operación es muy baja. En el caso de los fertilizantes nitrogenados debe estudiarse aún mucho más, pero a la fecha no se estima como posible causa de la disminución.

RESUMEN

Las diferentes teorías pueden ser resumidas como sigue:

Químicas

Halógenos

- Química heterogénea inusual (superficies de nubes).
- Bajos niveles de nitrógeno libre.
- Altos niveles de cloro activo

No halógeno

- Producción de nitrógeno libre por el ciclo solar
- Altos niveles de nitrógeno libre
- Niveles normales de cloro

Dinámicas

- El vértice polar sur es estable y frío

- No hay mezcla inducida por ondas planetarias
- La circulación es muy sensible a la temperatura.

Combinadas

- La química causa los cambios año a año
- La dinámica causa el comportamiento entre agosto y noviembre

ACTIVIDADES PARA 1987

Durante el mes de noviembre de 1986 se realizó una expedición a McMurdo, encabezada por la Dra. S. Solomon (quien postula la tesis de las especies halógenas). De esta expedición se espera una importante cantidad de nuevos datos, los que una vez evaluados entregarán mejores bases para avanzar en la explicación del fenómeno. De acuerdo a las primeras informaciones enviadas por los investigadores, la teoría que se basa en los clorofluorocarbonos estaría obteniendo un buen apoyo experimental, lo que indicaría que es el hombre quien estaría causando el fenómeno.

El objetivo de la campaña planificada para 1987 fue tratar de establecer diferencias entre las teorías postuladas en la totalidad. Esto exigiría la medición simultánea del ozono, de la temperatura y de muchos otros elementos químicos. Se estima que será simple diferenciar entre las teorías químicas en comparación con las pruebas necesarias para apoyar las explicaciones dinámicas. En general, se espera ampliar y profundizar, la base de datos existentes.

Los medios con que se contó en 1987 son: bases en el terreno, observaciones por aeronaves (ER-2 y un DC-8) operando desde Punta Arenas y observaciones por satélite.

Bases en el terreno

Operando desde dichas bases, se efectuaron mediciones a diversos elementos químicos, según se indica a continuación.

1. *Distribución vertical del ozono y de la temperatura.* Mediante sondas desde redes de estaciones, que incluyeron: Polo Sur, McMurdo, Halley Bay, Syowa (o Davis), isla McQuarie y Launder. Estos datos respecto al ozono complementan las observaciones por satélite y ayudan a conocer la extensión vertical del cambio. Los datos de temperatura permiten estudiar la correlación entre el ozono y la temperatura y comprender la estructura radiactiva y dinámica de la estratosfera antártica.

2. *Contenido de la columna de óxidos.* Utilizando el espectrómetro visible. Las mediciones del dióxido de cloro (ClO) permitirán diferenciar entre las teorías químicas que comprenden y las que no comprenden elementos halogenados. El estudio del monóxido de bromo (BrO) ayuda a entender mejor el rol de este elemento. Las mediciones del dióxido de nitrógeno (NO₂) indican si los mecanismos de especies halogenadas están operando (se predice disminución del NO₂) o si son los mecanismos del nitrógeno libre los que están operando (NO₂ debiera estar incrementado).

3. *Distribución vertical del monóxido de cloro (ClO).* Usando el radiómetro de microonda, para comprobar si existe un aumento del nivel de ClO en la estratósfera inferior.

4. *Distribución vertical de los aerosoles.* Mediante el radar por infrarrojo visible cercano. Estos datos serán de la máxima importancia para comprender la variabilidad de las nubes estratosféricas.

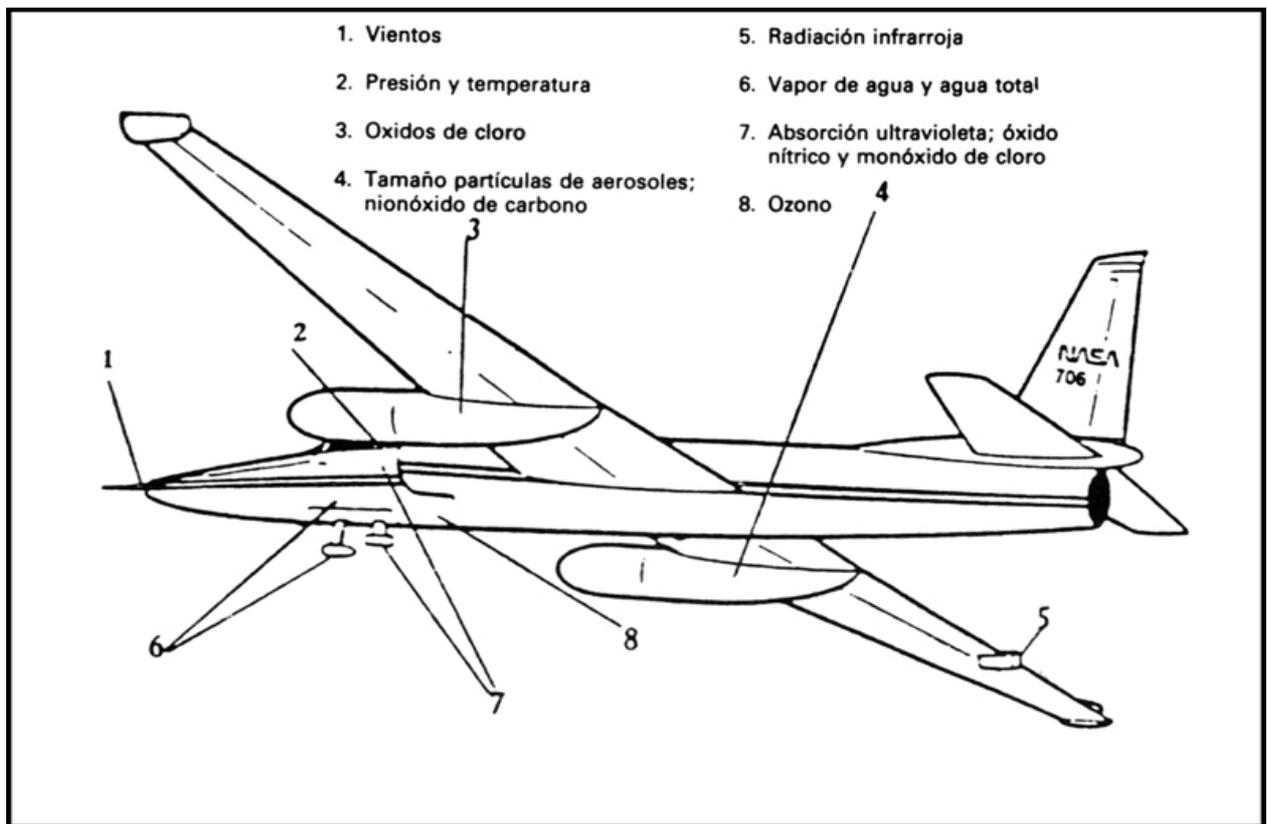


Fig. 4
CONFIGURACION DE INSTRUMENTOS DE MEDICION DEL AVION ER-2

5. *Distribución vertical del ozono.* Empleando el radar ultravioleta, con el mismo propósito que el indicado en el apartado 2, pero con mayor cobertura, y si las condiciones atmosféricas lo permiten, con una mayor frecuencia.

6. *Contenido de la columna de ácido nítrico y de otros elementos.* Utilizando el interferómetro, emisión infrarroja. Para entender la repartición fotoquímica de los elementos del nitrógeno libre, observando las concentraciones del ácido nítrico (HNO_3) dentro y fuera del vórtice.

7. *Distribución vertical del aerosol, tamaño y composición de la distribución.* Mediante contadores ópticos de partículas, transportados en globo. La comprensión de la composición química de los aerosoles puede proporcionar información sobre sus procesos de formación y de su influencia sobre la composición química de la estratósfera antártica.

8. *Contenido de la columna de ácido clorhídrico, ácido nítrico y de otros elementos.* Utilizando el interferómetro de absorción, infrarrojo. Si los mecanismos de especies halogenadas están correctos, la concentración del ácido clorhídrico (HCl) debiera ser muy baja dentro del vórtice polar.

Observaciones por aeronaves

Avión ER-2

Esta aeronave es un modelo del U-2, adaptado para fines científicos. Vuela a 21.000 metros de altura (con un máximo de 30.000 metros) durante 7 horas, lo que permite recolectar los datos necesarios a los niveles estratosféricos de interés. Con esta aeronave se efectuaron las siguientes observaciones.

1. *Presión, temperatura y vientos.* Para el sistema de navegación por inercia y para identificar en qué masa de aire se están realizando las observaciones.

2. *Cantidad de ozono.* Por absorción ultravioleta.

3. *Monóxido de cloro.* Este elemento juega un papel crucial en las explicaciones que comprenden los fluorocarbonos; en estas se requiere que las concentraciones de ClO sean altas en el interior del vórtice polar.

4. *Oxido nítrico (NO).* Mediante quimicoluminiscencia. Si las teorías de las especies halogenadas son correctas, las concentraciones de NO dentro del vórtice polar debieran ser extremadamente bajas.

5. *Nitrógeno libre total (NOy).* Empleando quimicoluminiscencia. Si la explicación de las especies no halogenadas es la correcta, debe esperarse que el NOy esté incrementado dentro del vórtice.

6. *Núcleos de condensación.* Usando el contador de núcleos; su propósito es comprender mejor la formación de nubes estratosféricas polares. También, con el mismo objetivo y mediante espectrómetros, se examinó el tamaño, distribución y composición de los aerosoles.

7. *Oxido nitroso (N₂O) y monóxido de carbono (CO).* Mediante absorción láser diodo infrarrojo, sintonizable. El óxido nitroso es un excelente rastreador de los movimientos dinámicos, por lo que su estudio será muy útil para entender los modelos de circulación en la región antártica.

8. *Radiancias infrarroja y solar.* Utilizando radiómetros infrarrojos y solar hemisféricos para examinar el equilibrio dinámico radiactivo de la región.

9. *Vapor de agua y agua total.* Por fluorescencia inducida Lyman-Alfa. El mecanismo de las especies halogenadas-que operaría en combinación con las superficies de las nubes estratosféricas polares, indicaría que el agua puede estar agotada a raíz de la sedimentación de las nubes.

10. *Gradiente vertical de la temperatura.* Con radiómetro de emisión de microondas.

11. *Vapor de ácido nítrico.* Con interferómetro de emisión infrarroja. En conjunto con las otras mediciones relativas a nitrógeno, ayudará a conocer el contenido total en la estratosfera y su distribución entre elementos activos e inactivos.

12. *Acido clorhídrico:* Mediante interferómetro de absorción, infrarrojo, con el propósito de conocer mejor la repartición de los elementos del cloro

Avión DC-8

Opera en coordinación en el ER-2 y también en forma independiente. Los datos que se obtengan serán complementarios. Su mayor alcance le permitirá explorar dentro y fuera del vórtice, en la región del alto ozono, aunque por cierto, a menor altura que el ER-2.

Con esta aeronave fueron efectuadas las siguientes mediciones.

1. *Distribución vertical del ozono y aerosoles.* Mediante radar infrarrojo.

2. *Contenido de la columna de ácidos nítrico, clorhídrico y otros.* Con interferómetro de absorción o de emisión infrarroja.

3. *Cantidad de ozono.* Empleando absorción ultravioleta.



Fig. 5
AVION DC-8

4. *Tamaño, distribución y composición química de los aerosoles.* Con espectrómetros, filtros, impactadores de alambres y contadores de núcleos de condensación.

5. *Oxido nítrico, dióxido de nitrógeno y nitrógeno libre.* Usando la quimiluminiscencia o luminiscencia inducida láser.

Observaciones por satélite

Los satélites que se emplearon (y se han estado empleando) son el *Nimbus-7* y el *Application Explorer Mission-2*, ambos de la NASA. En el primero de ellos se utilizan los sistemas TOMS. (Total Ozone Monitoring System) y SBUV (Sistema Ultravioleta de Retrodispersión Solar); en el segundo; el procedimiento SAGE (Stratospheric aerosol and gas experiment).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La disminución de la capa de ozono sobre la Antártica se está acentuando cada año más; lo que ha quedado comprobado con la última expedición a McMurdo.

No se ha encontrado aún la explicación para este fenómeno. Se estima que es el producto de una combinación de procesos químicos y dinámicos que tienen lugar en la estratosfera.

Se ha descartado la influencia de explosiones nucleares atmosféricas que tuvieron lugar en el pasado. Asimismo, los efluentes de las instalaciones nucleares no producen elementos que puedan causar este tipo de fenómenos.

Este fenómeno ha llamado la atención mundial, habiéndose establecido, en marzo de 1985, la Convención de Viena para la Protección de la Capa de Ozono. Chile la firmó pero aún no la ha ratificado.

No se sabe si este fenómeno permanecerá circunscrito a la Antártica o se extenderá a otras regiones del globo terráqueo. En todo caso, las consecuencias de él son importantes por los cambios que pueda introducir en el medio ambiente terrestre (biosfera).

En Chile no existe instrumental para medición de ozono. El país tampoco posee los recursos humanos capacitados en este campo.

Debido a que es importante que Chile esté presente en todas las actividades científicas que tiene relación con la Antártica, su participación en la última expedición (agosto-septiembre de este año) se materializó principalmente en el establecimiento de la base de operaciones de las aeronaves en Punta Arenas y en la inclusión de dos científicos chilenos en la expedición. Esta participación de Chile se inscribe en el marco del Artículo 19 del Acuerdo de Mataveri (agosto de 1985), que se relaciona con la colaboración bilateral en la exploración y utilización del espacio ultraterrestre con fines pacíficos.

Recomendaciones

El país debe especializar profesionales en esta área, de tal forma que en el futuro puedan cooperar en el estudio de medidas que tiendan evitar esta disminución o evaluar las consecuencias que el fenómeno pudiere revestir para nosotros. Los profesionales podrían ser de áreas tales como: meteorología, geofísica, biología marina; ingeniería ambiental y medicina de salud pública.

Debe promoverse un esfuerzo coordinado a nivel de Gobierno, tendiente a lograr que Chile participe activamente en las investigaciones que sean desarrolladas, con el objeto de reforzar la presencia de nuestro país en la Antártica, y su proyección a nivel mundial.

De la misma forma, es conveniente que se instale instrumentos para medición de ozono en nuestras estaciones, capacitando a personal nacional para operarlos y procesar los datos obtenidos. ;

BIBLIOGRAFIA

- Humberto Fuenzalida: *Enigma en la Antártica*, 1986. Además, entrevista personal con este autor.
- *Ozono antártico. Resumen y estrategia científica 1987*. Conferencia dictada por científicos de Estados Unidos, Santiago, noviembre de 1985.
- *US Standard Atmosphere, 1962*, Washington D.C., Government Printing Office.
- *Encyclopaedia of Science and Technology*, Mc Graw Hill, 1977.
- Callis L. y Natarajan M.: *Ozone and nitrogen dioxide; changes in the stratosphere during 1979-1984*. Nature, vol 323, 30 de octubre de 1986.
- *What is destroying the ozone?*, Times, noviembre 3, 1986.
- "Agujero en la capa de ozono; Causa humana" *El Mercurio*, Santiago, 27 de noviembre de 1986.
- "Prevén pavorosas consecuencias por deterioro de capa de ozono", *El Mercurio*, Santiago, 4 de diciembre de 1986.
- "Expedición científica sobrevolará la Antártica", *El Mercurio*, Santiago, 24 de mayo de 1987.