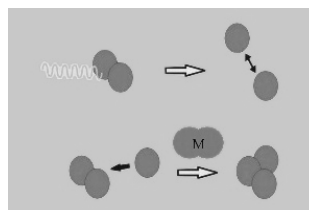


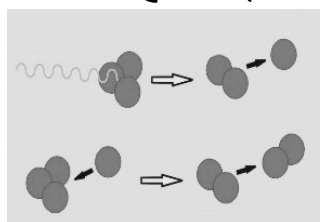
Capa de ozono

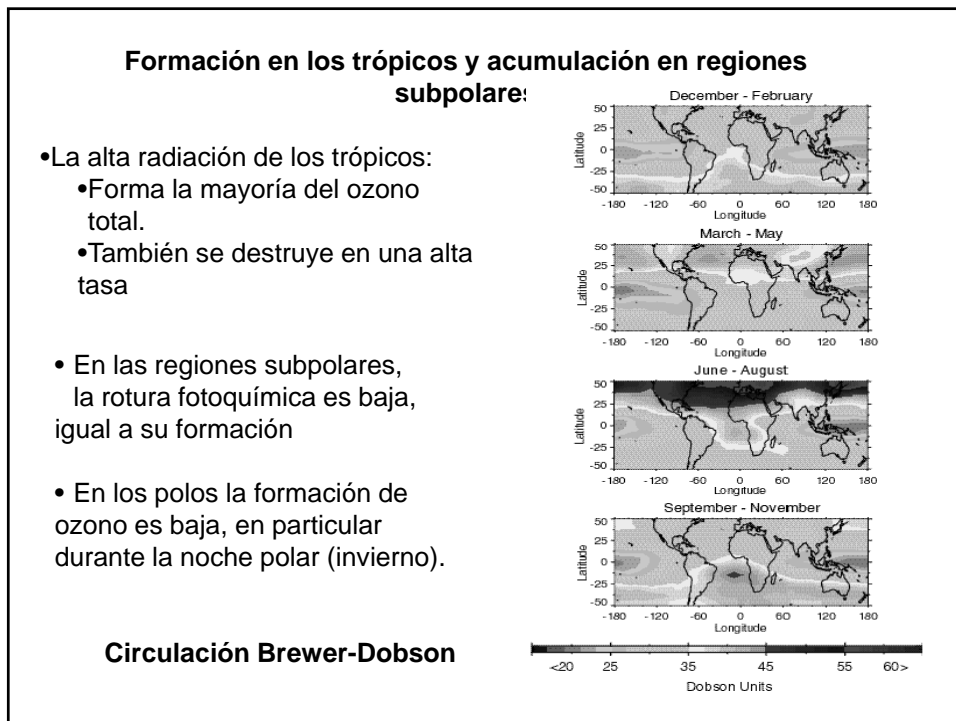
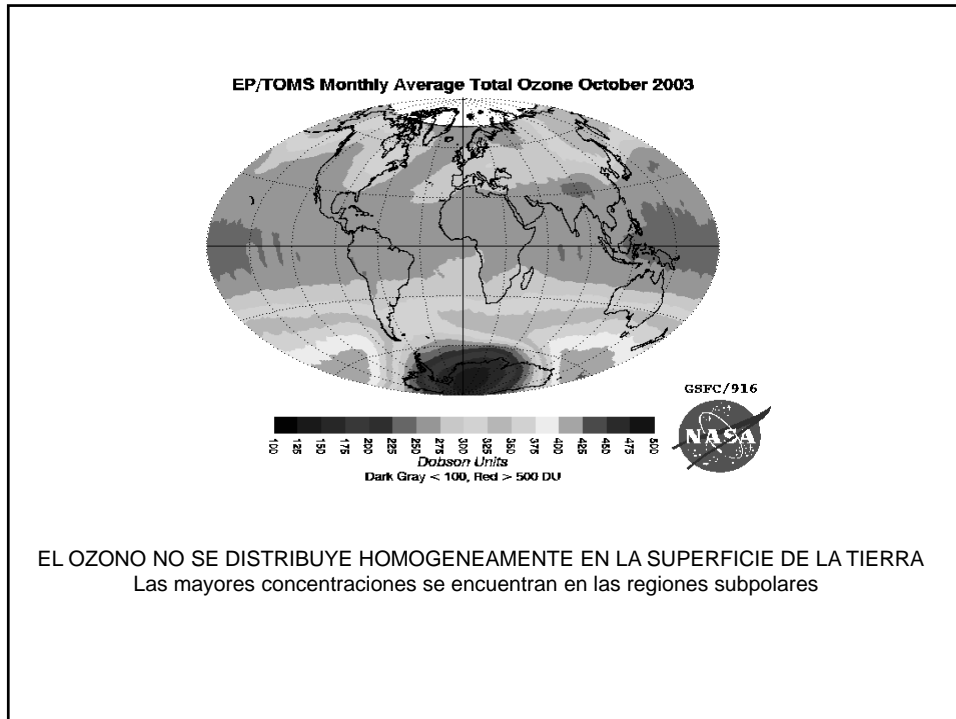
Recordemos que el Ozono estratosférico

Se forma por acción de la radiación UV, que disocia las moléculas de oxígeno molecular (O_2) cuyos átomos altamente reactivos, pueden reaccionar con otra molécula de O_2 formándose el ozono.



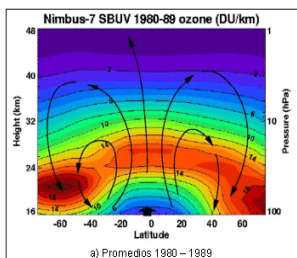
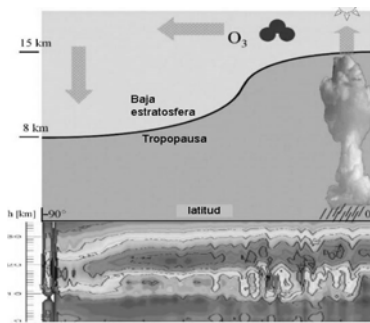
El ozono se destruye por acción de la propia radiación UV. La radiación con longitud de onda menor de 290 nm hace que se desprenda un átomo de oxígeno de la molécula de ozono.



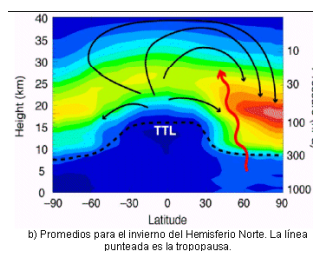


Circulación Brewer-Dobson

- Por la alta radiación el aire troposférico se eleva a la estratosfera (efecto adiabático),
- Vientos estratosféricos transportan el ozono hacia los polos
- La baja temperatura y tasa de fotólisis en la zona subpolar permite que se acumule.



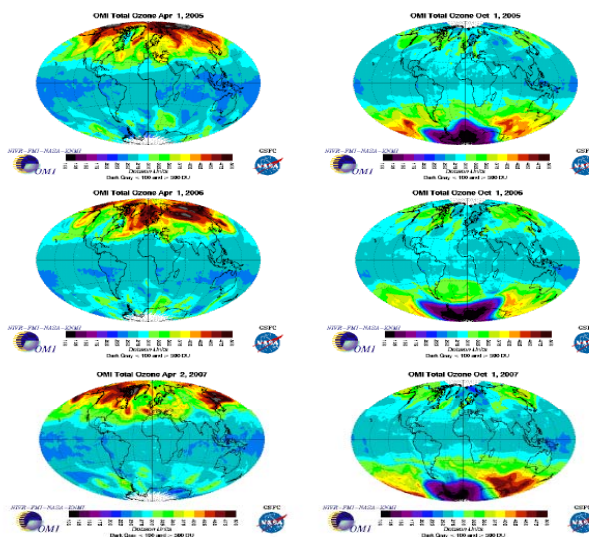
•Este patrón de circulación cambia a través de las estaciones



Variación temporal en la acumulación de ozono

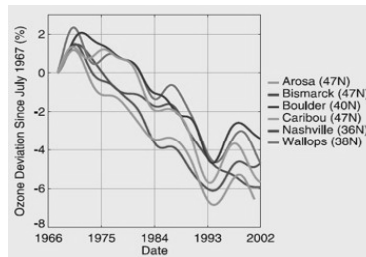
Hemisferio Norte:
 Latitudes medias, la columna de ozono es **alta en primavera**, (abril y mayo). Paulatinamente decrece y en **otoño** (aprox. **Octubre**) registra los **valores más bajos**.

Hemisferio Sur:
 Latitudes medias, la columna de ozono tiene el mismo comportamiento estacional, durante el **otoño** (marzo a mayo), se presentan los valores más **bajos** y en **primavera**, (septiembre a noviembre) los más altos

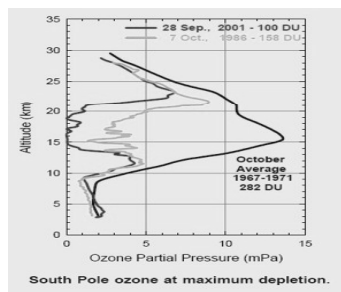


Efecto “Depleción del Ozono”. Describe dos distintas, pero relacionadas observaciones:

a. Un lento y continuo descenso . Cerca de un 4% por década en la cantidad total de ozono en la estratósfera baja desde 1980



b. Un mayor descenso se registra en los polos. Este último fenómeno llamado hoy en la capa de ozono, es estacional



El descenso es medido en base a la amplitud de la columna sobre un punto de la tierra. Se expresa a través de unidades Dobson (UD)

Causas

Ozono puede ser destruido por acción de radicales libres, entre los que destacan

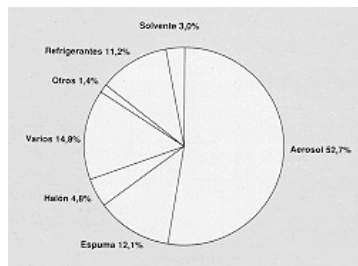
Hidroxilo (OH) Oxido nitrico (NO) Cloro (Cl) Bromo (Br).

Estos elementos tienen origen natural y antropogénico. Gran parte del OH y NO en la estratósfera son de origen natural. La actividad humana ha incrementado dramáticamente el CLORO y BROMO (Bromuro de metilo).



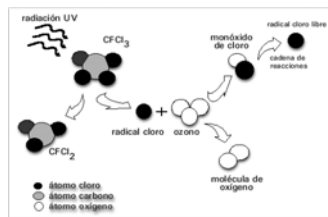
CLOROFLUOROCARBONOS (CFCs)

-Compuestos orgánicos estables presentes en:
 - Unidades de refrigeración y dispersores de aerosoles antes de 1980s, y en los procesos de limpieza de material electrónico.



Como actúan los CFC

En la estratósfera, el Cl y Br son liberados desde los compuestos parentales por acción de la luz ultravioleta.



A través de ciclos catalíticos los radicales reaccionan con una molécula de ozono, liberándose un átomo de oxígeno.

El átomo de oxígeno libre con el cloro forman monóxido de cloro (ClO) x ej.

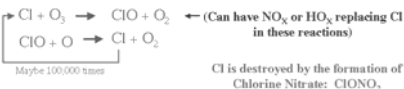
Esta molécula se disocia por acción de oxígeno libre, reiniciándose el ciclo.

Stratospheric Chemistry

(super-simplified)

- dichlorodifluoromethane CF_2Cl_2
- trichlorofluoromethane $CFCl_3$
- trichlorotrifluoroethane CF_3CFCl_2
- chlorodifluoromethane CHF_2Cl

CFCs diffuse to the stratosphere (~20-40 km) where UV radiation releases chlorine. Then:



La reacción neta es por cada Cl, 2 moléculas de O_3 se destruyen

¿Cuándo se detiene?

Un átomo de Cl puede destruir sobre 100,000 moléculas de O_3 antes de ser removido de la reacción por **otras reacciones**.



Estas reacciones están basadas en la formación de compuestos como **ácido clorhidrico (HCl)** y **nitrato de cloro ($ClONO_2$)**. Este último actúa como una de las principales reservas de Cloro

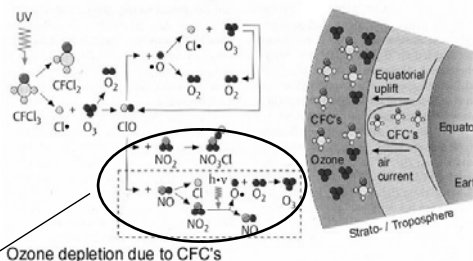
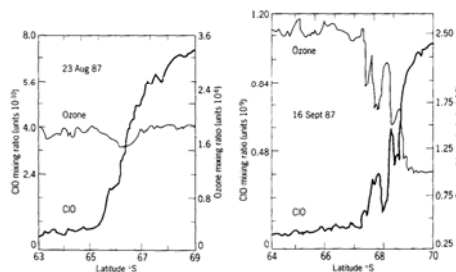


Figure 8: Evolution of the relationship between ozone and chlorine monoxide (ClO) from the first full penetration into the Antarctic vortex on 23 August 1987 (below left), to three weeks later on September 16, 1987 (below right).



Source: Anderson et al. (1989).

El Bromo es más eficiente que el cloro en destruir el ozono, pero es menos abundante.

↑

BROMURO DE METILO.
Principal fuente

Rompe el balance natural de absorción y liberación de BrMe de los océanos ←

Fuente	toneladas/año
Océanos	60.000 – 160.000
Ignición de la biomasa (incendios forestales, de pastizales)	10.000– 50.000
Combustión de nafta con plomo	500 – 22.000
Agricultura	35.000 – 58.000
Emisiones varias de procesos de manufactura	2.000

Por que en la estratosfera baja y sobre la Antártica son registrados los mayores descensos

Algunos datos atmosféricos necesarios

- En julio, el Polo Sur esta un su noche polar o invierno polar, como consecuencia la temperatura de la superficie terrestre como de la parte baja de la atmósfera se tornan muy frías.
- Las temperaturas en la estratosfera alcanzan hasta -90 grados Celsius formándose nubes de cristales de hielo en la estratósfera (-78)

Nubes estratosféricas polares.:

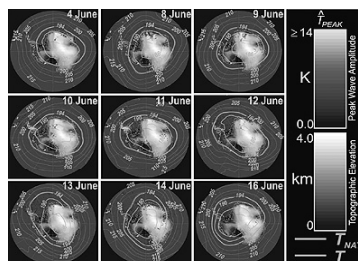
Los cristales de hielo de estas nubes proporcionan una superficie que permite la ocurrencia de diversas reacciones químicas que participan en la destrucción del ozono.



•Liberación de Cl₂ a partir de la reacción entre ácido clorídrico (HCl) y nitrato de cloro (ClONO₂).

•Estimula la captura NO₂, que reacciona con el ClO para formar nitrato de cloro.

Detienen la captura de cloro



Polar Stratospheric Meteorology

Polar night (winter):

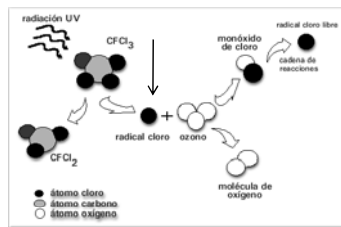
- T ~ -90°C
- stratospheric clouds form
- heterogeneous chemistry:
 - $HCl + ClONO_2 \rightarrow Cl_2 + NONO_2$
 - $H_2O + ClONO_2 \rightarrow HOCl + NONO_2$

Polar morning (early spring):

- atomic chlorine released
- nitrogen oxides remain sequestered
- stratospheric ozone depletion proceeds uninhibited by conversion of Cl to ClONO₂

En septiembre, cuando la luz solar regresa a la región antártica, el Cl₂ liberado se fotodisocia en átomos de Cl, quedando en condiciones de reaccionar con el O₃ para formar ClO y O₂.

La baja presencia de NO₂ (asociado en los cristales de hielo) permite que el ClO continúe la reacción destruyendo ozono



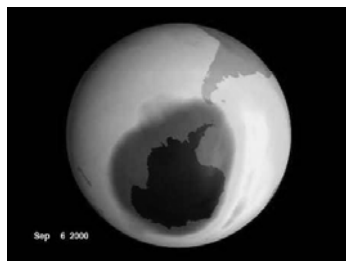
Polar Stratospheric Meteorology

Polar night (winter):

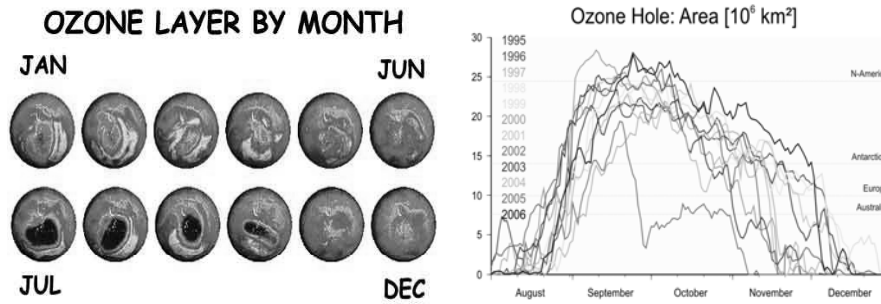
- T ~ -90°C
- stratospheric clouds form
- heterogeneous chemistry:
 - $HCl + ClONO_2 \rightarrow Cl_2 + NONO_2$
 - $H_2O + ClONO_2 \rightarrow HOCl + NONO_2$

Polar morning (early spring):

- atomic chlorine released
- nitrogen oxides remain sequestered
- stratospheric ozone depletion proceeds uninhibited by conversion of Cl to ClONO₂

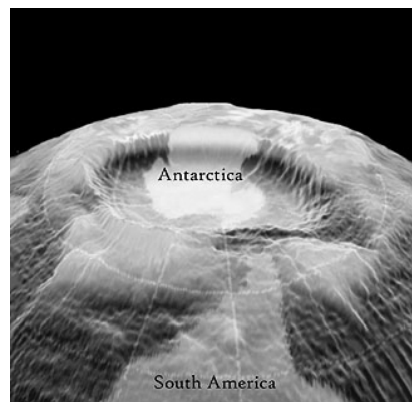


Conforme la primavera antártica avanza hacia noviembre, la temperatura en aumento y las corrientes cambiantes de los vientos deshacen las NEP con lo que concluye el periodo de destrucción masiva del ozono.



Existe un ciclo anual natural de adelgazamiento de la capa de ozono en los polos

Como pasa desde un adelgazamiento en la capa de ozono a un agujero sobre la antártica principalmente



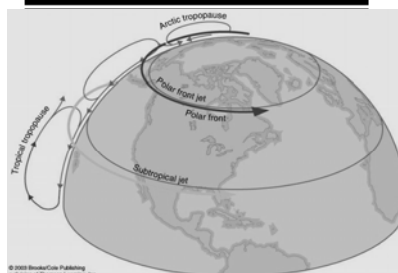
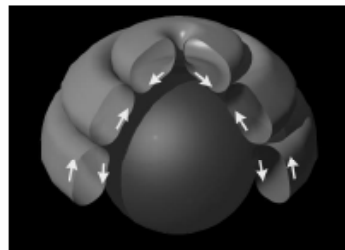
Circulación atmosférica en los polos:

En general las masas de aire se desplazan desde zonas de baja presión a zonas de alta presión (zonas cálidas a frías) (convección), formándose celdas de circulación

Por acción de la rotación de la tierra estas celdas en los polos forman vórtices o embudos (vórtice circumpolar)

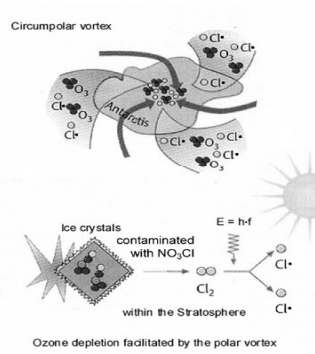
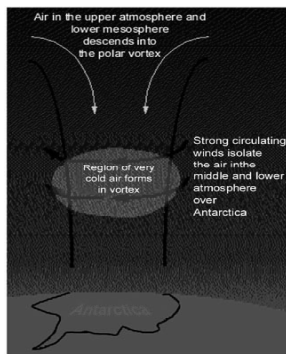


Aíslan el aire frío situado sobre los polos del resto del mundo.



Dentro del vórtice, en la primavera, a pesar de la llegada de la luz solar, el proceso de destrucción de ozono se prolonga, concentrándose el su efecto:

Así se forma lo que se suele denominar el "agujero" de ozono.

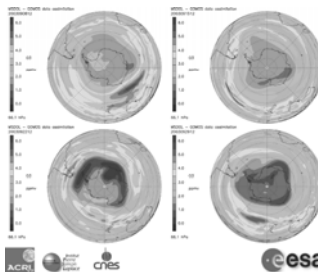
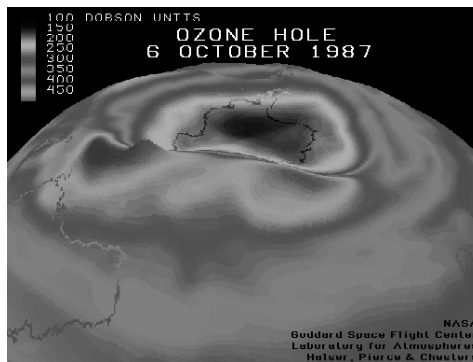


Cuando el vórtice circumpolar se debilita, el aire con muy poco ozono de la Antártida se mezcla con el aire de las zonas vecinas.

La homogeneización provoca una importante disminución en la concentración de ozono en toda la zona hacia el período estival.

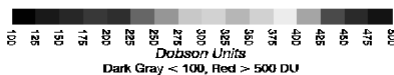
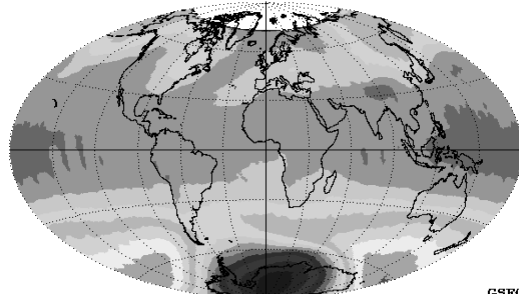


Parte de América del Sur, Nueva Zelanda y Australia quedan bajo una atmósfera más pobre en ozono que lo normal.



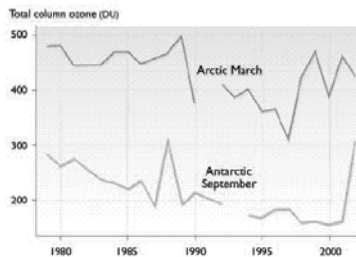
Diferencias entre el Ártico y la Antártica

EP/TOMS Monthly Average Total Ozone October 2003

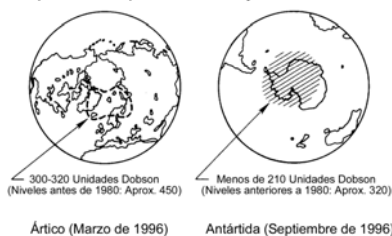


Diferencias entre el Ártico y la Antártica

En los últimos 6 años se ha observado importantes disminuciones en la estratosfera por encima del Ártico durante finales del invierno y principios de la primavera (enero-marzo). Sin embargo, estas disminuciones, comúnmente del 20 al 25% son muy inferiores a las observadas actualmente cada primavera por encima de la Antártida (agujero de ozono)



Esquema del ozono por encima del Ártico y de la Antártida en 1996



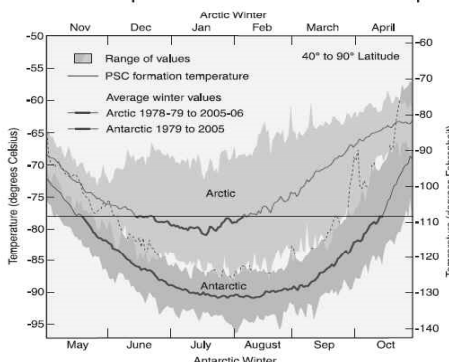
Sobre la Antártida la pérdida de ozono llega al 70%, mientras que sobre el Ártico llega al 30%

El ártico presenta una mayor complejidad topográfica, transformando al clima del ártico en un sistema menos estable que el antártico. Este grado de inestabilidad climática implica una baja estabilidad del vórtice circumpolar



Las temperaturas mínimas (-78C) necesarias para formar las nubes estratosféricas polar permanece por un período mas largo en la antártica

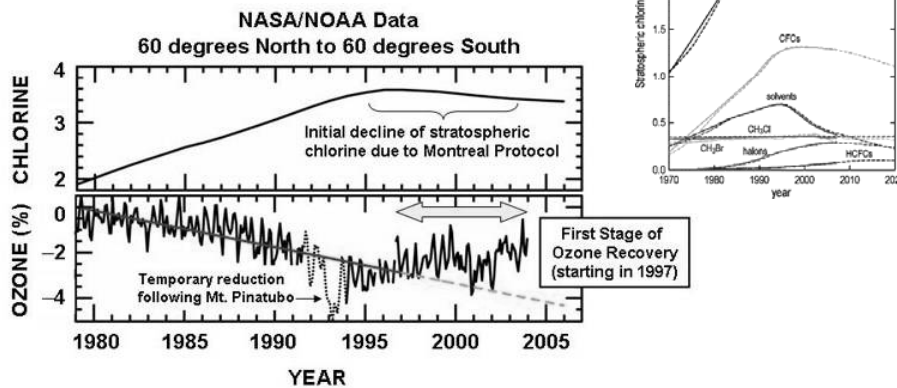
Minimum Air temperatures in the Polar Lower Stratosphere



1 a 2 meses en el Arctico y de 5 a meses sobre la Antártica

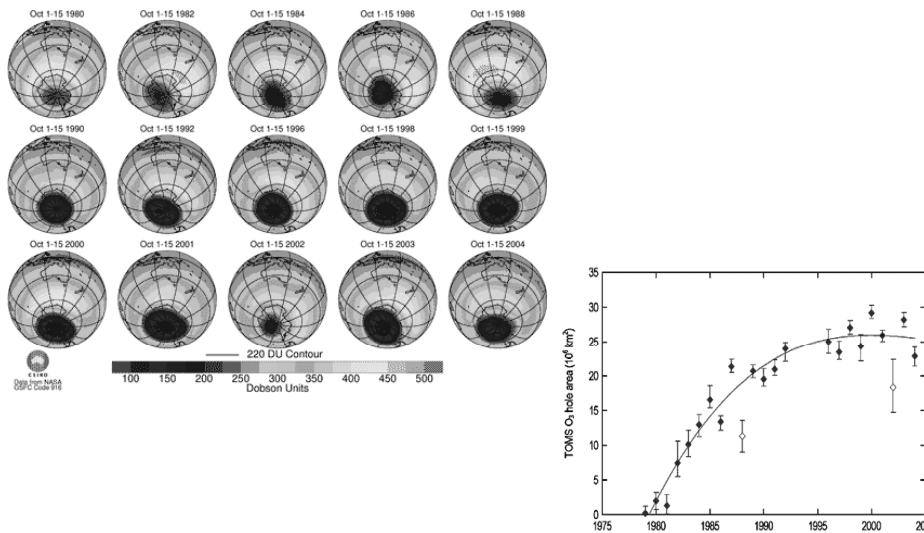
Protocolo de Montreal 1987

Prohibió el uso de CFC's.

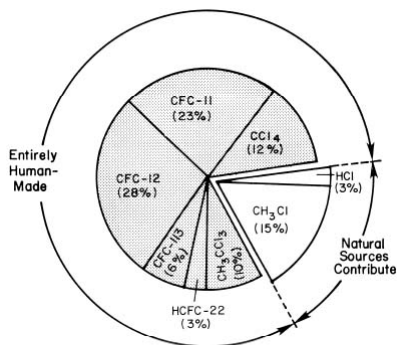


Se observa una recuperación de los niveles de ozono en las zonas polares luego de 20 años de aprobado el protocolo.

Aún se observa la formación del agujero en la región polar y en ocasiones con alta intensidad ¿?

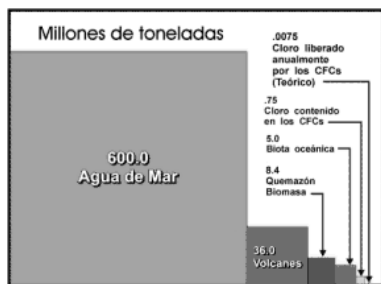


Fuentes de cloro a la atmósfera



Fuentes naturales de cloro atmosférico

FUENTES DE CLORO ATMOSFÉRICO (millones de toneladas)

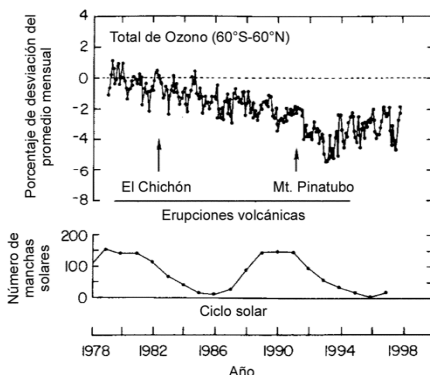


Cloro emitido tras la actividad volcánica: EMISIÓN DE CLORO DEL MT. EREBUS COMPARADA CON EL CLORO LIBERADO POR LA DISOCIACIÓN DE LOS CFC (toneladas)



No basta el cloro solamente

Tendencia mundial del ozono, grandes erupciones volcánicas y ciclos solares



Las observaciones y los cálculos con modelos indican que las partículas volcánicas no pueden por sí mismas agotar el ozono. Solamente la interacción del cloro producido por el hombre con las superficies de las partículas disponibles para el desarrollo de las reacciones es la que hoy en día aumenta el agotamiento del ozono en la atmósfera.

La depleción de ozono y el cambio climático son dos problemas diferentes pero ambos pueden modificar los ciclos globales. Las reales relaciones entre ellos aún se desconocen

