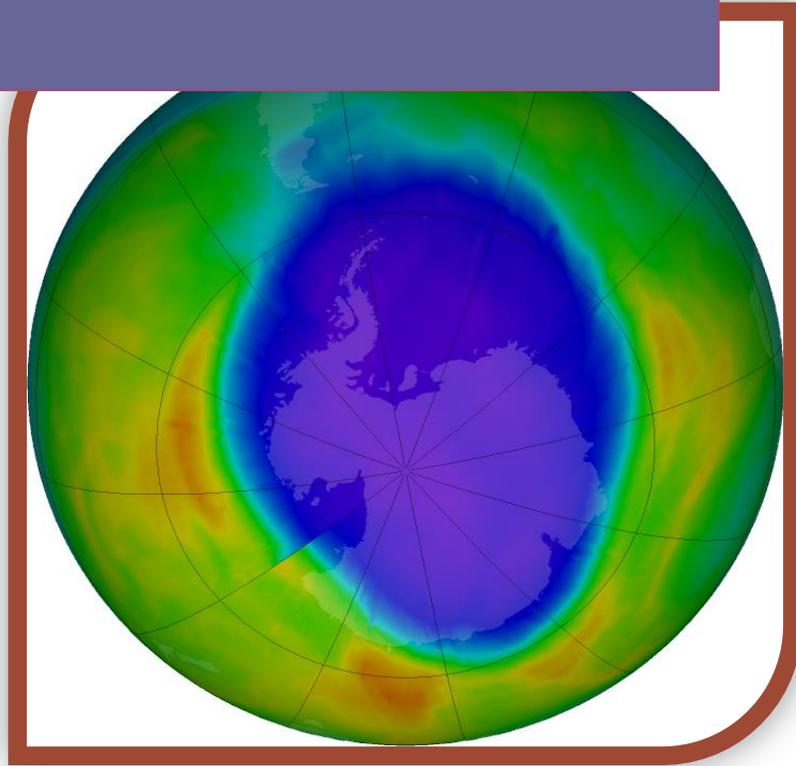


Ozono Estratosférico y Radiación Ultravioleta en la Península Antártica.

Boletín año 2016.



Índice	Pág.
Introducción	1
I. La capa de ozono, la radiación UV y su interacción.	2
Formación del Ozono.	
Protocolo de Montreal.	4
Distribución global del ozono.	5
Proceso de agotamiento del Ozono Estratosférico	
Condiciones necesarias para la formación del	6
agujero de la Capa de ozono.	
II. Monitoreo de la Capa de Ozono en la Región Antártica año 2016.	8
Temperaturas estratosféricas.	
Área de las NEPs.	9
Estabilidad del Vórtice.	10
Agujero de ozono y déficit de Masa.	
Radiación ultravioleta v/s Concentración de ozono.	11
III.- Observaciones Generales.	14
IV.- Referencias	15



Introducción

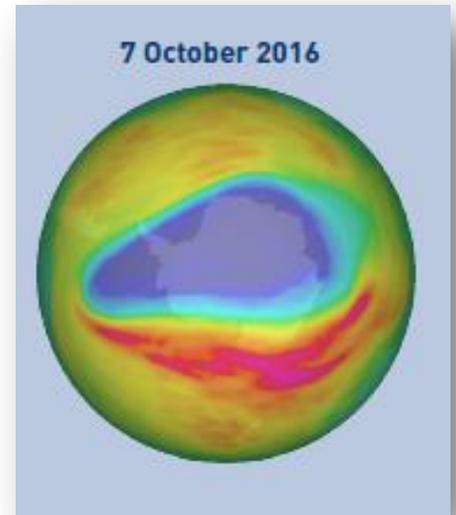
Las observaciones atmosféricas de mediados de la década de 1970, permitieron constatar la disminución primaveral de la capa de Ozono Antártico, denominada en los años siguientes como agujero de la capa de ozono. Las altas concentraciones de clorofluorocarbonos y otros contaminantes atmosféricos agotadores del ozono estratosférico, conocidos como SAOs fueron los principales responsables de este efecto.

La pérdida global de ozono estratosférico se calcula en torno a un 3 %, lo cual genera un incremento importante en la incidencia de los Rayos UV y el consiguiente incremento en las afecciones a la piel.

En respuesta a este problema, los gobiernos de diferentes países del mundo firmaron en 1987 el Protocolo de Montreal como una medida global basada en normativas en el control del uso de las sustancias químicas nocivas para la capa de ozono. A diferencia de otros acuerdos internacionales, el Protocolo de Montreal ha sido exitoso, demostrándose ya en el informe conjunto de la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente "Evaluación científica de la disminución del Ozono, año 2014", que las medidas aplicadas han permitido avanzar en la recuperación de la capa de Ozono.

Dicha evaluación se ha realizado con información que periódicamente se ha obtenido a partir de la observación de la atmósfera antártica desde el año 1979.

El presente boletín muestra los resultados de las observaciones realizadas durante el año 2016 por la NASA, el Instituto Real de Meteorología de Holanda (KNMI) y la información de radiación ultravioleta medida por las estaciones Carlos Ibáñez del Campo y Presidente Frei.



I. La capa de ozono, la radiación UV y su interacción.

El ozono es un gas inerte, que está presente en forma natural en la atmósfera. Fue descubierto en 1840 por el químico alemán Friedrich Shönbein, por medio de descargas eléctricas en el aire. Su nombre proviene del vocablo griego οζειν (ozein), que significa oler.

Es de muy baja concentración, solo se pueden observar 3 moléculas de ozono por millón de moléculas de aire. En 1920, el científico Gordon Dobson inventó un instrumento para medir el ozono atmosférico. Se determinó entonces que una unidad Dobson es equivalente a $2,69 \times 10^{16}$ molec/cm².

El conocido ozono bueno (Fig1) se concentra en la estratósfera, entre los 10 y los 50 Km, con un máximo alrededor de los 30 km, zona conocida como Capa de Ozono. Esta es responsable de filtrar el 90% de la Radiación Ultravioleta más nociva para la vida en la tierra.

Un 10% del ozono se concentra en la tropósfera (ozono malo), la capa atmosférica más cercana a la superficie, sin embargo a este nivel es un gas tóxico para la salud humana. Se genera esencialmente de la contaminación vehicular.

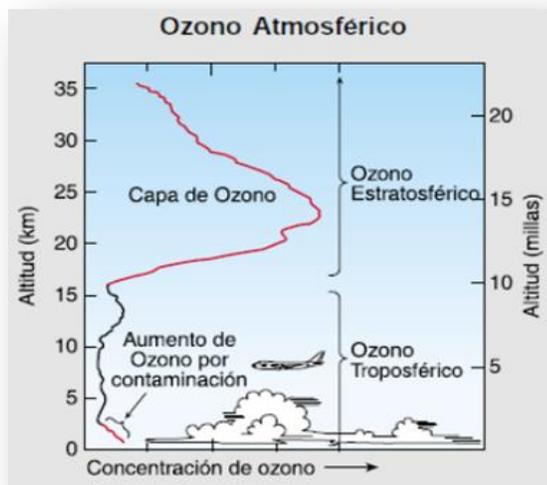


Fig. 1 Perfil de ozono atmosférico. Fuente, NOAA.

Formación del Ozono.

El ozono se forma naturalmente en la estratósfera, a través de una serie de reacciones fotoquímicas en la que los rayos solares ultravioleta rompen la molécula de oxígeno (O₂) para producir 2 átomos de oxígeno (2O), luego cada átomo se combina con una molécula de oxígeno para producir una molécula de ozono (O₃). (Fig. 2)

Estas reacciones se llevan a cabo en forma continua en presencia de radiación ultravioleta, y la producción de ozono es balanceada por su destrucción en las mismas reacciones químicas. Este balance está determinado por la cantidad de gases reactivos, compuestos por cloro y bromo principalmente y la efectividad de sus reacciones, que dependen de la intensidad de la radiación solar, ubicación en la atmósfera, temperatura y otros factores. Sin embargo, en la estratósfera existe una gran cantidad de sustancias químicas naturales y generadas por el hombre, principalmente gases compuestos por cloro y bromo, que reaccionan con las moléculas de ozono, destruyéndolas para formar otros compuestos químicos.

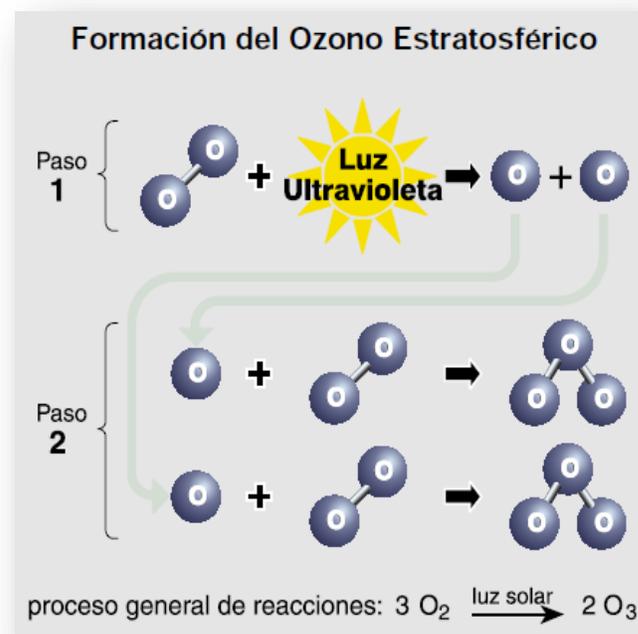


Fig. 2 Formación del ozono estratosférico. Fuente, NOAA.

Protocolo de Montreal

A mediados de la década de 1970, por medio de las observaciones atmosféricas, se constató la disminución primaveral de la capa de Ozono, siendo más severa sobre la Antártida, donde se conoce como agujero de la Capa de Ozono.

Dicha disminución es consecuencia de la alta concentración de clorofluorocarbonos y otros contaminantes atmosféricos agotadores del ozono estratosférico, inyectados a la atmósfera especialmente por la industria química de la refrigeración, aire acondicionado, aerosoles, pesticidas, y la industria de la limpieza. Estos contaminantes son conocidos como sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAOs, de sus siglas en inglés). La pérdida global de ozono estratosférico se calcula en torno a un 3 %, lo cual genera un incremento importante en la incidencia de los Rayos UV y el consiguiente incremento en las afecciones a la piel.

En respuesta a este problema, los gobiernos de diferentes países del mundo firmaron en 1987 el Protocolo de Montreal (Fig.3) como una medida global basada en normativas en el control del uso de las sustancias químicas nocivas para la capa de ozono, protocolo que ha sido exitoso, a diferencia de otros acuerdos internacionales, demostrándose ya en el informe conjunto de la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente "Evaluación científica de la disminución del Ozono, año 2014", que las medidas aplicadas han permitido avanzar en la recuperación de la capa de Ozono. Dicha evaluación se ha realizado con información que periódicamente se ha obtenido a partir de la observación desde el año 1979.

El Protocolo de Montreal tiene por objetivo la disminución de las concentraciones de Cloro y Bromo en la estratósfera. Sin el Protocolo, las sustancias halógenas estratosféricas habrían tenido un aumento significativo durante el siglo XXI.

El cuidado de la Capa de Ozono depende entonces, principalmente de la contribución de cada país firmante en cuanto a la disminución del uso y generación de sustancias químicas agotadoras del ozono y del constante monitoreo global de la atmósfera, en especial de las zonas cercanas a los Polos.

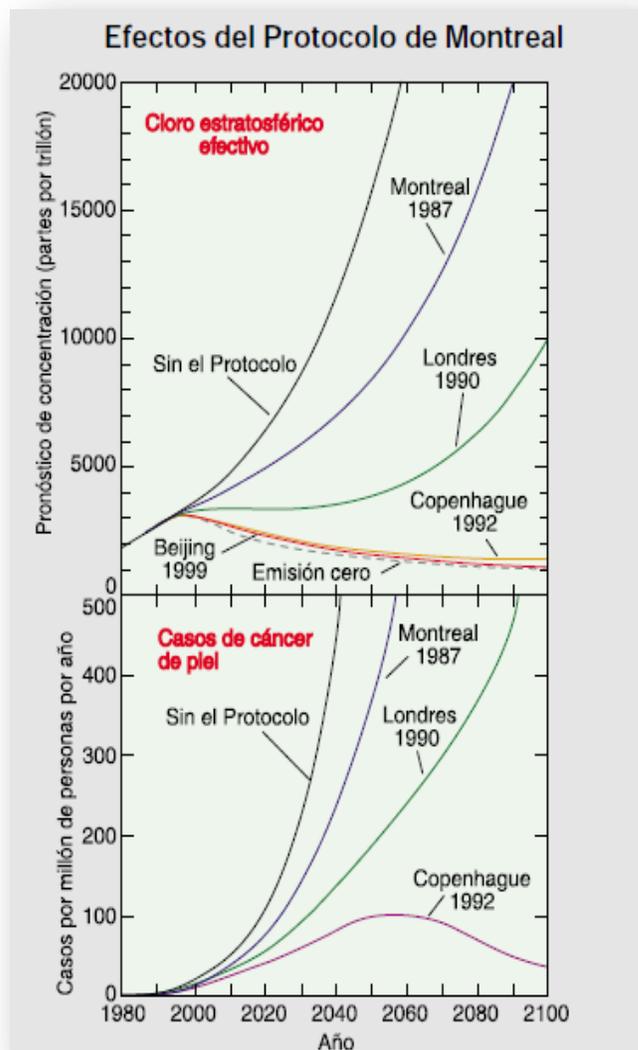


Fig. 3 Pronóstico de las concentraciones de cloro efectivo en la estratósfera 1) sin protocolo, 2) con protocolo de Montreal y 3) con Protocolo de Montreal, sus ajustes y enmiendas. Fuente NOAA.

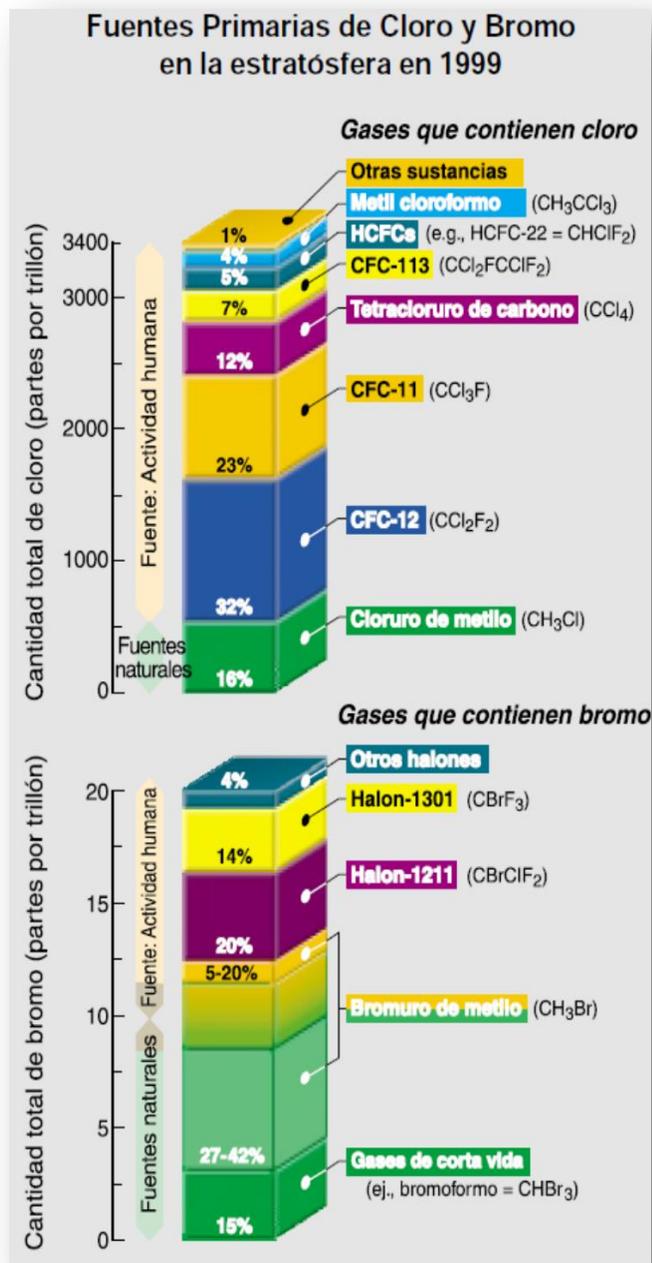


Fig. 4 Fuentes de gases estratosféricos. Compuestos halógenos emitidos por procesos naturales y por la actividad del hombre. Fuente, NOAA.

Varios compuestos halógenos generados tanto por fuentes naturales (emisiones volcánicas) como por la actividad del hombre, son transportados en forma de cloro y bromo hacia la estratosfera (Fig. 4).

Dentro de los emitidos en forma natural, el cloruro de metilo es el mayor responsable de la inyección de cloro, con respecto a las de origen antrópico, los clorofluorocarbonos CFC's son los más abundantes (Fig. 5)

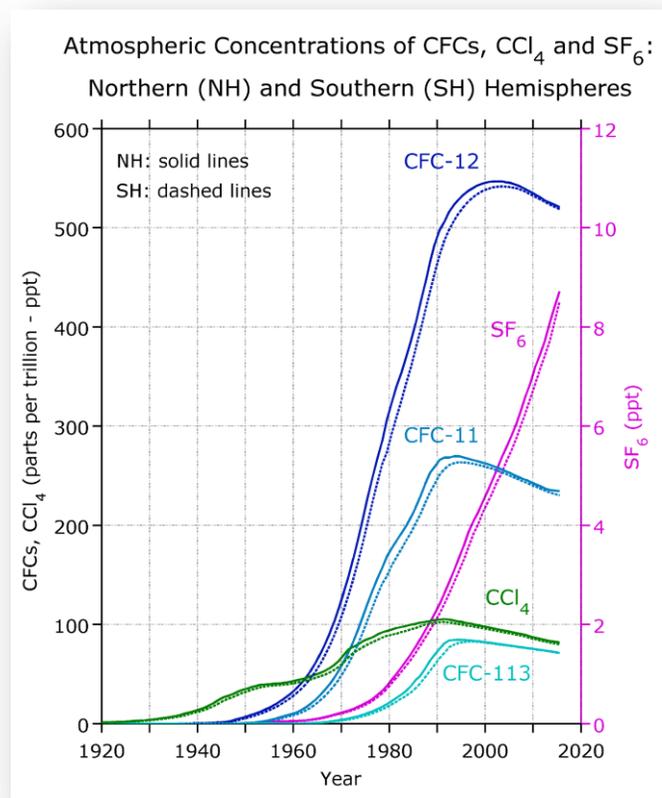


Fig. 5 Concentraciones medias de las principales fuentes primarias de Cloro en partes por trillón (ppt), en los Hemisferios Norte y Sur, en el período comprendido entre 1920 y 2015. Fuente, Carbon Dioxide Information Analysis Center.

Distribución global del ozono.

La cantidad de ozono varía con la latitud (Fig. 6). Los niveles más altos se encuentran en latitudes medias y altas, debido a la circulación atmosférica, que traslada el contenido de aire tropical con bastante contenido de ozono a zonas polares en otoño e invierno. El valor más bajo total, sin considerar el agujero de la capa de ozono se observa en los trópicos, donde esta capa es más delgada.

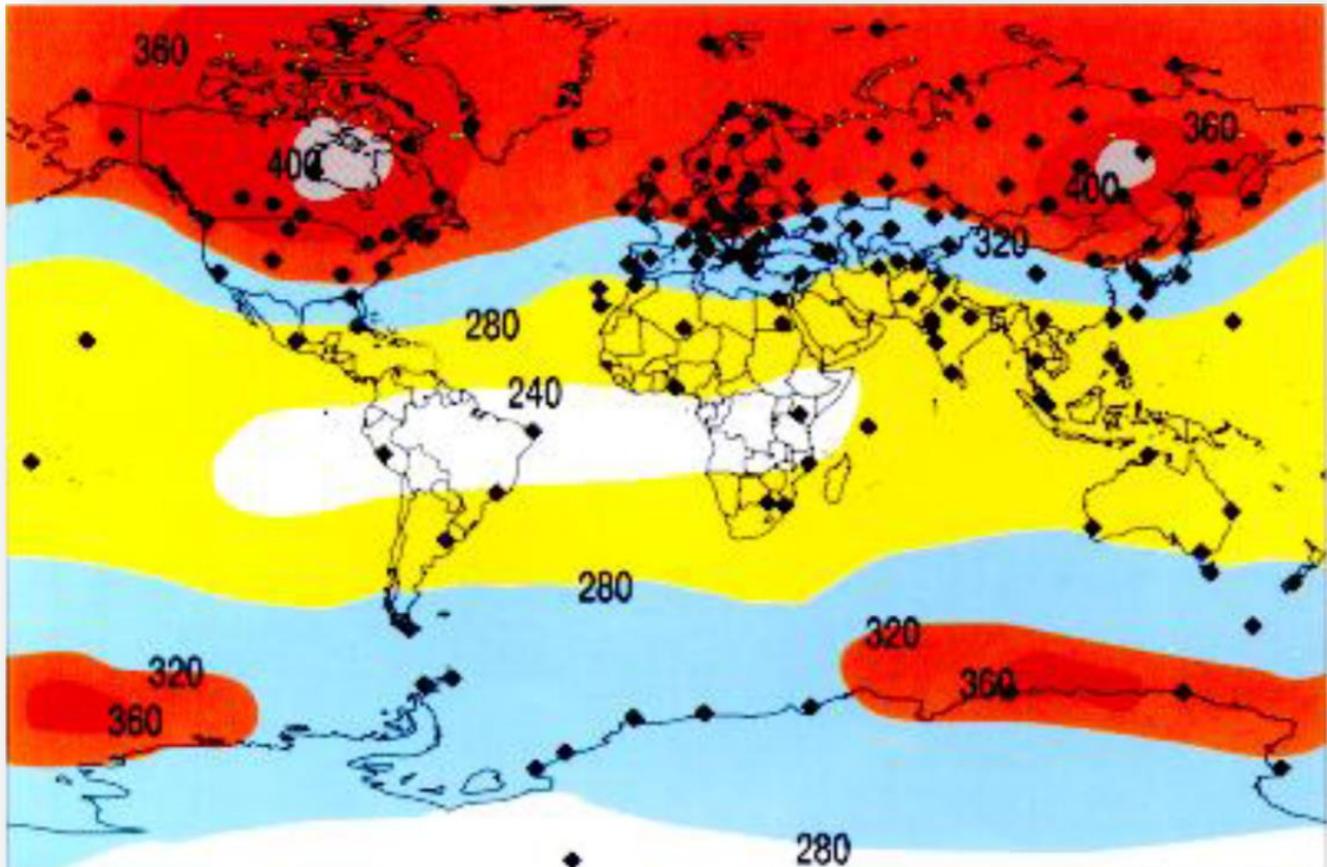


Fig. 6 Distribución media global del ozono en la estratosfera en unidades Dobson (UD). Fuente GAW, OMM.

Proceso de agotamiento del Ozono Estratosférico

Emisión, acumulación y transporte. El proceso comienza con la emisión de gases de fuentes de halógeno, manufacturados, en la superficie, tales como los que contienen cloro y bromo y que son liberados a la atmósfera por las diferentes actividades humanas.

Estas sustancias se acumulan en la tropósfera y se distribuyen y transportan por la circulación, conocida como Brewer – Dobson (Fig. 7) hacia la estratosfera.

Conversión, reacción y destrucción. Una vez que los gases fuentes de halógeno llegan a la estratosfera, se convierten en halógenos reactivos, por la acción de la radiación ultravioleta, tales como monóxido de cloro (ClO) y monóxido de Bromo (BrO). A su vez, estos gases reaccionan químicamente con el ozono, destruyéndolo. En los polos, la presencia de nubes estratosféricas polares aumenta considerablemente la concentración de los gases de halógeno reactivos, por lo que el ozono se agota tanto en invierno, como en primavera. La gran circulación, luego de varios

años, lleva los gases halógenos reactivos hacia la tropósfera, donde son convertidos químicamente (conversión troposférica), o removidos por precipitaciones y depositados sobre la superficie.

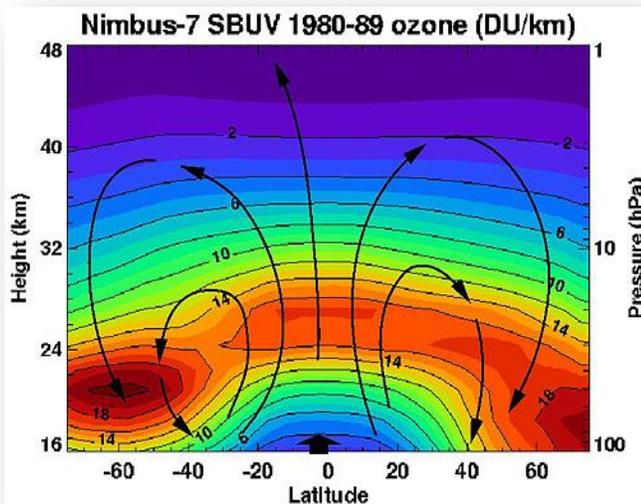


Fig. 7 Circulación Brewer – Dobson.

La vida atmosférica o tiempo necesario para eliminar o convertir el 60% de un gas, varía entre menos de un año a 100 años, en los principales gases que contienen cloro y bromo. Las sustancias emitidas de vida más corta son mayoritariamente destruidas en la tropósfera, por lo que solo una parte de ellas contribuyen al agotamiento de la capa de ozono.

Condiciones necesarias para la formación del agujero de la Capa de ozono.

Distribución de los gases halogenados.

Los gases de fuentes de halógenos se distribuyen a lo largo de la estratosfera en ambos hemisferios, a pesar que las mayores emisiones se encuentran en el Hemisferio norte.

Condiciones de aislamiento. Durante los meses de invierno, el aire de la estratosfera polar sufre una suerte de aislamiento relativo, debido a los fuertes vientos que la circundan, evitando el intercambio de aire con las regiones estratosféricas de latitudes medias. Este

aislamiento es más efectivo en la Antártida, siendo más prolongado.

Bajas temperaturas estratosféricas. Durante los meses de invierno, las temperaturas del aire de la estratosfera baja, en ambos polos, alcanzan valores mínimos del orden de -90°C en julio y agosto en la Antártida y de -80°C durante los meses de enero y febrero en el Ártico (Fig.8). La diferencia entre las temperaturas de ambos polos se debe a la desigual distribución continental y oceánica, tierras bajas y montañas. La condición de aislamiento permite que las bajas temperaturas estratosféricas se mantengan por mayor tiempo.

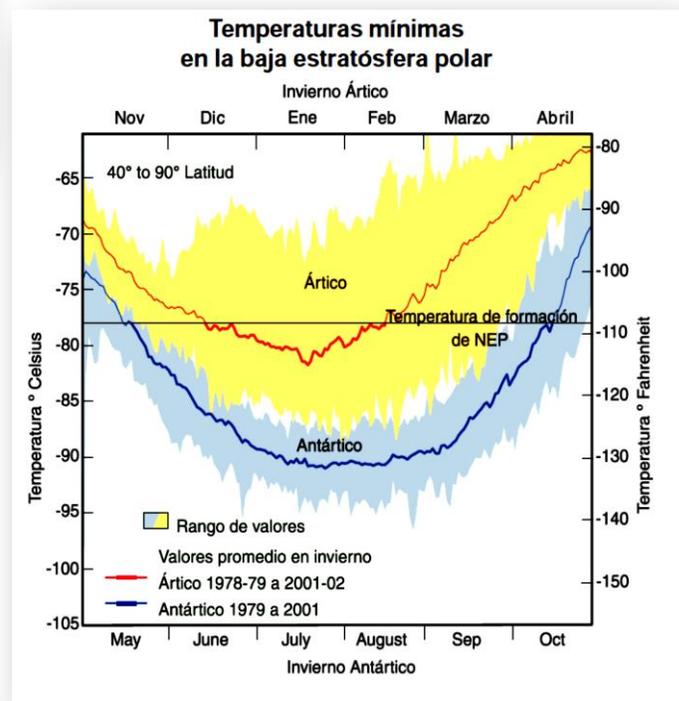


Fig. 8 Temperaturas mínimas estratosféricas de ambos polos. Se definen los valores umbrales para la formación de NEPs. Fuente, NOAA.

Nubes Estratosféricas Polares (NEPs). Se forman cuando la temperatura de la estratosfera polar se encuentra por debajo de los -78°C . A estas temperaturas el ácido nítrico (HNO_3) y sustancias sulfuradas se condensan con el vapor de agua para formar partículas sólidas y líquidas, las cuales crecen hasta formar nubes que son visibles desde la superficie terrestre, en especial cuando el sol está sobre el horizonte (Fig.9).

Dada su composición, las NEPs causan cambios en la concentración de los reservorios de sustancias de cloro reactivo, como nitrato de cloro (ClONO_2) y cloruro de hidrógeno HCl , transformándose en formas más reactivas para producir monóxido de cloro (ClO). Con el aumento del ClO , ciclos de reacciones catalíticas que involucran tanto ClO como al monóxido de bromo BrO , aceleran la destrucción química del ozono en presencia de luz solar.

Una vez que las temperaturas se elevan llegada la primavera, cesa la formación de NEPs y finaliza la producción de ClO .

Existen 2 tipos de NEPs, las Tipo II y las Tipo I. Las de Tipo II corresponden a nubes nacaradas, nubes de onda compuestas por cristales de hielo, que se forman a temperaturas por debajo de los -85°C .

A menudo se encuentran a sotavento de las cordilleras, las que inducen las ondas de

gravidad en la estratosfera inferior. Sus formas similares a una hoja ondulan lentamente y se extiende. Estas nubes también pueden estar asociadas con fuertes vientos superficiales que pueden indicar la presencia de vientos y ondas en la estratósfera.

Las nubes Tipo I en tanto, se presentan de formas más difusas. Se generan bajo los -75°C y se dividen en tres grupos según su composición: Tipo Ia, nubes cristalinas compuestas agua y ácido nítrico, principalmente en la forma de ácido nítrico trihidrato, más conocido como NAT, Tipo Ib, pequeñas gotas compuestas de una solución de ácidos nítrico y sulfúrico y las Tipo Ic compuestas de pequeñas partículas metaestables de ácido nítrico en fase acuosa.



Fig. 9 Nubes estratosféricas Polares.

II. Monitoreo de la Capa de Ozono en la Región Antártica, año 2016.

El agujero de ozono, denominación con la que se conoce a la zona de la atmósfera antártica, donde las concentraciones de ozono son menores a 220 unidades Dobson (UD), presentó durante el año 2016 una moderada superficie que llegó a un máximo de 23 millones de Km² el día 28 de septiembre de 2016, con un valor promedio de 20.9 millones de Km², según mediciones de la NASA. Este último valor se obtiene luego de promediar los valores de 30 días consecutivos con valores mínimos.

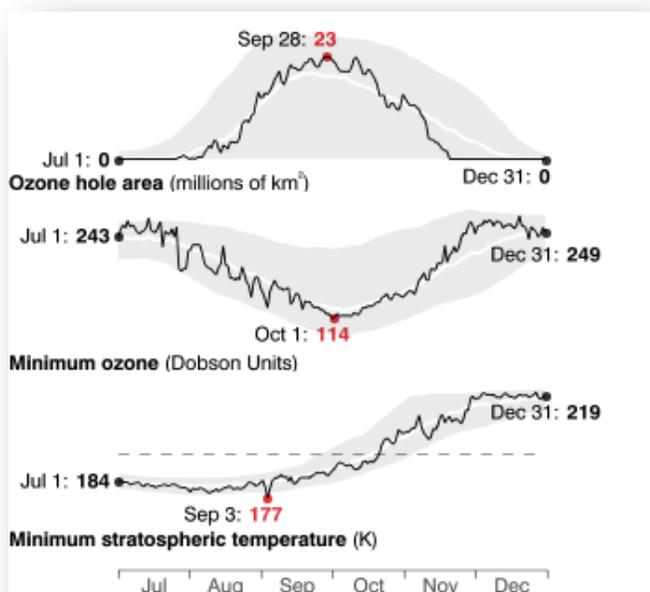


Fig. 10. Gráfico superior, área del agujero de ozono en millones de Kms². Gráfico medio, valores mínimos de la columna de ozono, en UD. Gráfico inferior, temperatura estratosféricas polares mínimas en grados Kelvin (K). Fuente, NASA.

El menor valor de ozono registrado fue de 114 UD, el día 1 de octubre de 2016, con un promedio de 124.3 UD (Fig.10).

Según este valor, el agujero de ozono del año 2016 se encuentra en el lugar N° 22 en cuanto a disminución de las concentraciones del gas, desde el año 1979.

Temperaturas estratosféricas.

Los datos MERRA del GMAO¹, mostraron que las temperaturas estratosféricas sobre la Antártica estuvieron por debajo del umbral de temperaturas de las NEPs tipo I de 194.6K desde el 17 de mayo de 2016, y por debajo del umbral de las temperaturas de 187.8 de las NEPs tipo II, desde el 12 de junio, tal como se observa en la fig. 8 que muestra las temperaturas mínimas al sur de los 50°S, en el nivel de 50 hPa. (Fig.11)

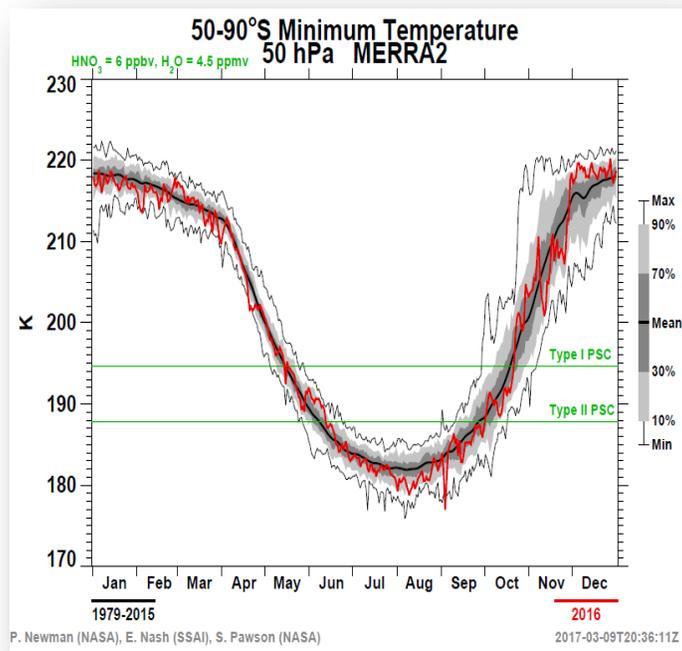


Fig. 11 Temperaturas mínimas estratosféricas a 50 hPa entre las latitudes 50° y 90° S. Fuente, NASA.

¹ MERRA: Análisis retrospectivo moderno para investigación y Aplicaciones. GMAO Asimilación de datos del Sistema de Observación de la Tierra.

Asimismo, las temperaturas promedio zonales sobre la región comprendida entre los 60° y 90° de latitud Sur, en el mismo nivel, oscilaron en torno a la media de la serie de tiempo entre los meses de abril y agosto, luego de lo cual se presentaron por debajo de este valor, Fig. 12.

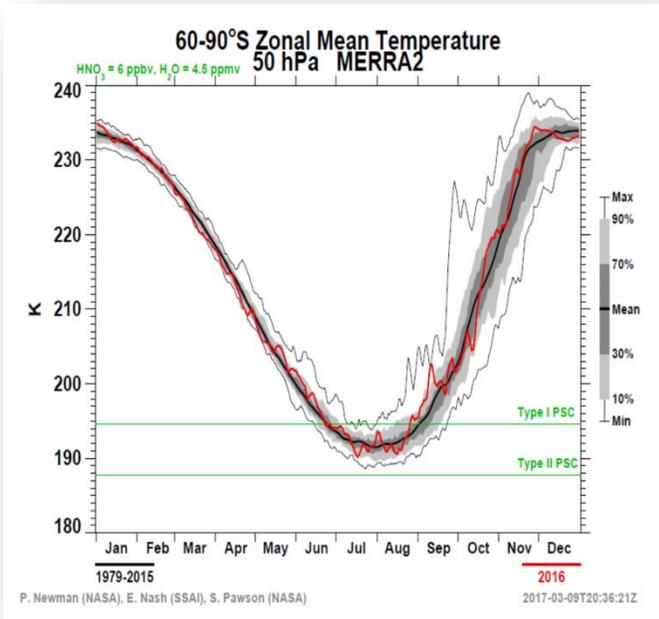


Fig. 12 Temperaturas estratosféricas medias zonales a 50 hPa entre las latitudes 60° y 90° S. Fuente, NASA.

Área y Volúmen de las NEPs.

Desde el 28 de junio de 2017, las temperaturas estratosféricas bajo el umbral de 194.6 K, que permiten la formación de trihidrato de ácido nítrico (NAT o NEPs tipo I), cubrieron un área de más de 20 millones de kilómetros cuadrados al nivel isotrópico de 460 K. Entre mayo y agosto, el área de NAT osciló alrededor de los valores medios (Fig.13).

A principios de septiembre el área NAT disminuyó algo más rápidamente que la media a largo plazo. El 30 de julio, el área de NAT alcanzó un máximo para la temporada con 27,7 millones de km², un poco inferior a los 28,3 millones de km² alcanzados en 2015, pero superior al máximo alcanzado en otros años recientes. Al monitorear el volumen de aire con temperaturas lo suficientemente bajas para la formación de NAT, se observa que se mantuvo por debajo de la

media de largo plazo durante la mayor parte del invierno y la primavera de 2016, excepto para un período desde principios de julio a mediados de agosto, cuando estuvo cerca de la media a largo plazo. El volumen máximo de NAT para la temporada se alcanzó el 29 de julio con 310 millones de km³ (Fig. 13). Este es el mayor máximo diario desde 2008, cuando se registraron 325 millones de km³. El área o volumen con temperaturas lo suficientemente bajas para la existencia de NEPs está directamente relacionado con la cantidad de pérdida de ozono, el cual estuvo durante el evento de 2016 por debajo de la media móvil de la serie de tiempo del período 1979 – 2015, entre junio y septiembre, aumentando sobre la media en octubre.

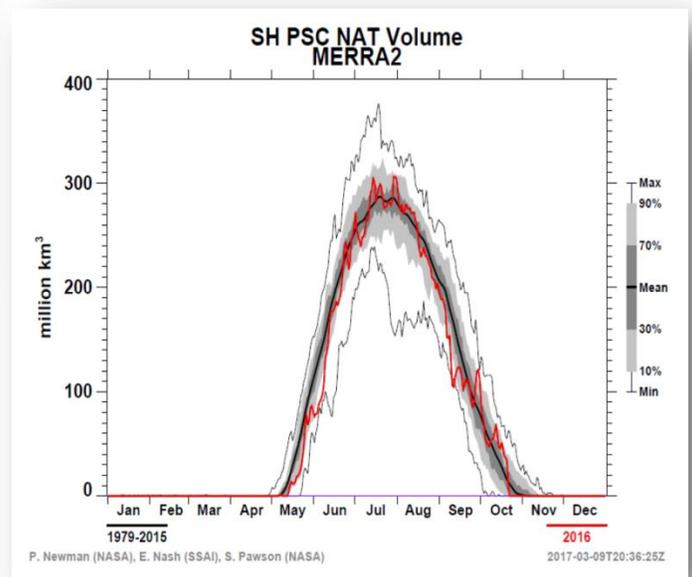


Fig. 13 Volumen de las nubes estratosféricas polares Tipo I. Fuente, NASA.

Evolución de la corriente en chorro polar.

El continente antártico está rodeado por una fuerte corriente de chorro en la estratósfera (por encima de 12 km o 39.000 pies) la que fluye alrededor de la Antártida en el sentido de las agujas del reloj. Esta corriente de chorro aísla aire sobre la Antártida del aire en las latitudes medias. La región polar de esta corriente de chorro se llama el vórtice polar antártico. Un flujo de chorro más fuerte produce un mayor aislamiento del aire

polar del aire de la latitud media (menos mezcla). El aire dentro del vórtice polar antártico es también mucho más frío que el aire de latitudes medias.

La velocidad media del viento zonal, entre los 45° S y los 75° S al nivel de los 100 hPa, se encuentra cerca del valor máximo del jet polar.

Durante el período 2016, las máximas intensidades del viento zonal se observaron durante julio, agosto y septiembre con valores de 116.3 Km/h, 125.5 Km/h y 133.3 Km/h respectivamente. En cuanto a los valores medios para los meses señalados, fueron de 109.3 Km/h, 113.2 Km/h y 123.9 Km/h, respectivamente (Fig.14).

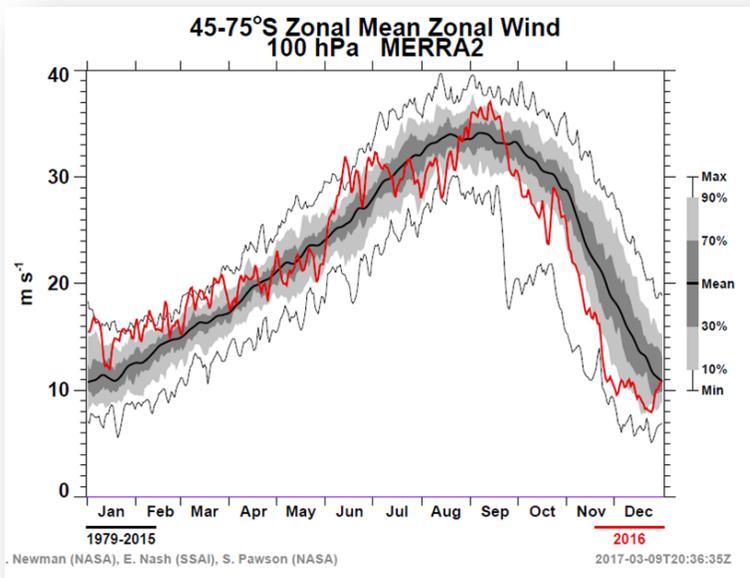


Fig. 14 Viento zonal entre los 45° S y 75° S en el nivel de 100 hPa, expresado en m/s. Fuente, OMM.

Estabilidad del Vórtice.

El flujo longitudinal medio de calor, entre los 45° S y los 75° S es un indicativo del grado de perturbación de la atmósfera. En la fig. 12, se puede observar un importante flujo entre mayo y junio, la media de 45 días en el nivel de los 100 hPa, se encontró bastante por debajo del valor medio del período 1979 – 2015. Durante julio y agosto fue notablemente cercano a la media, aumentando nuevamente en septiembre. En conclusión, existió un vórtice perturbado (Fig.15).

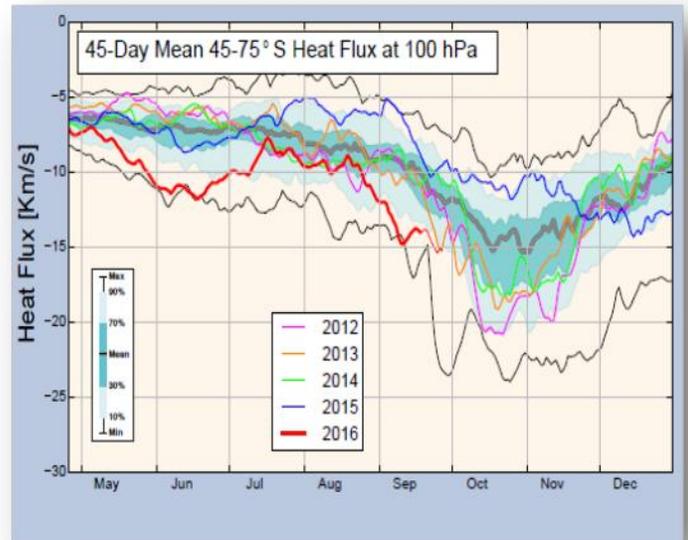


Fig. 15 Flujo longitudinal de calor en el nivel de 100 hPa, expresado en Km/s. Valores negativos indican mayor flujo. Fuente, OMM.

Déficit de Masa de ozono.

El déficit de masa de ozono, corresponde a la cantidad de este gas, en millones de toneladas, que es necesario agregar al agujero para alcanzar el valor umbral de 220 UD.

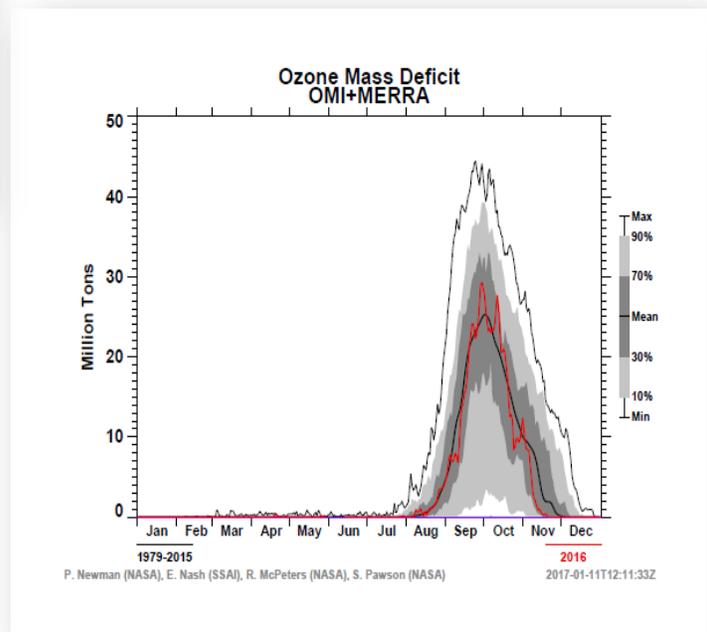


Fig. 16 Déficit de masa de ozono, en millones de toneladas. Fuente, NASA.

Entre agosto y septiembre, el déficit de masa de ozono se presentó con valores cercanos al

promedio del período 1079-2015 (Fig. 16). El déficit máximo tuvo lugar el día 9 de septiembre de 2016, con 29.24 megatoneladas, valor bastante por debajo de las 37.1 megatoneladas del evento de 2015 (ambos valores medidos por la NASA). Entre mediados de octubre y fines de noviembre, el déficit de masa de ozono se encontró bajo la media.

Radiación ultravioleta v/s Concentración de ozono.

Con el fin de monitorear la información de columna de ozono, se obtuvo datos desde el instrumento de monitoreo de ozono (OMI). OMI es un espectrómetro incorporado en el sistema de observación de la Tierra (EOS), del satélite AURA perteneciente a la NASA. Los datos de la zona

de Punta Arenas muestran valores entre 300 y 250 UD entre enero y junio de 2016. Entre junio y noviembre, en tanto, los niveles de columna de ozono se elevaron por sobre las 350 UD. La disminución asociada al agujero de la capa de ozono se visualizó durante las dos primeras semanas de octubre, con un valor mínimo de 200 UD. En esta zona, sólo se observaron 5 días no continuos, con valores de columna de ozono bajo el umbral de 220 UD, durante los meses de octubre y noviembre. Con respecto a los valores de índice de radiación ultravioleta IUUV, estos se encontraron en promedio dentro de lo esperado para la estación, es decir en torno a 4 unidades, es decir, dentro del rango moderado. El valor más alto fue de 6.6 (7), dentro de la categoría MUY Alto, con un valor de columna de ozono de 226 UD (Fig. 17).

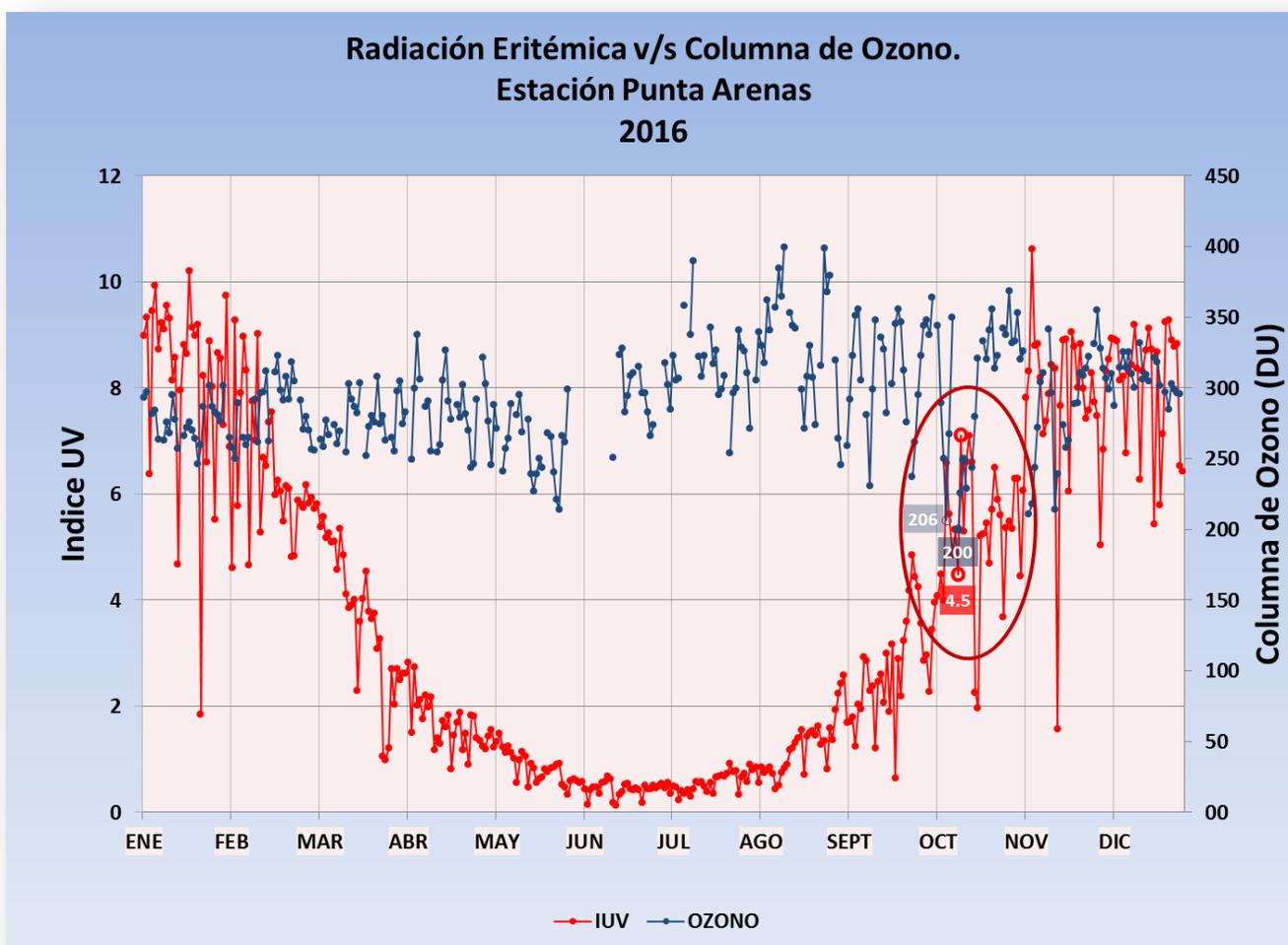


Fig 17. Datos de IUUV medidos en la estación Carlos Ibáñez del Campo, Punta Arenas. Datos de columna de ozono interpolados para coordenadas de la estación, a partir de datos del conjunto de instrumentos de medición de ozono (OMI), montado en el satélite AURA de la NASA.

En cuanto a la información de columna de ozono, obtenida para la estación Pdte. Edo. Frei, se pudo constatar una disminución bajo el umbral 220 UD, que indica la formación del agujero, a partir de los primeros días de septiembre y hasta la primera quincena de noviembre, totalizando 28 días bajo esta condición. El valor más bajo registrado durante dicho período fue de 147 UD. Al igual que en Punta Arenas, los valores de índice UV se presentaron dentro de lo esperado estacionalmente, es decir, en torno a 4 unidades, categoría Moderado (Fig. 18).

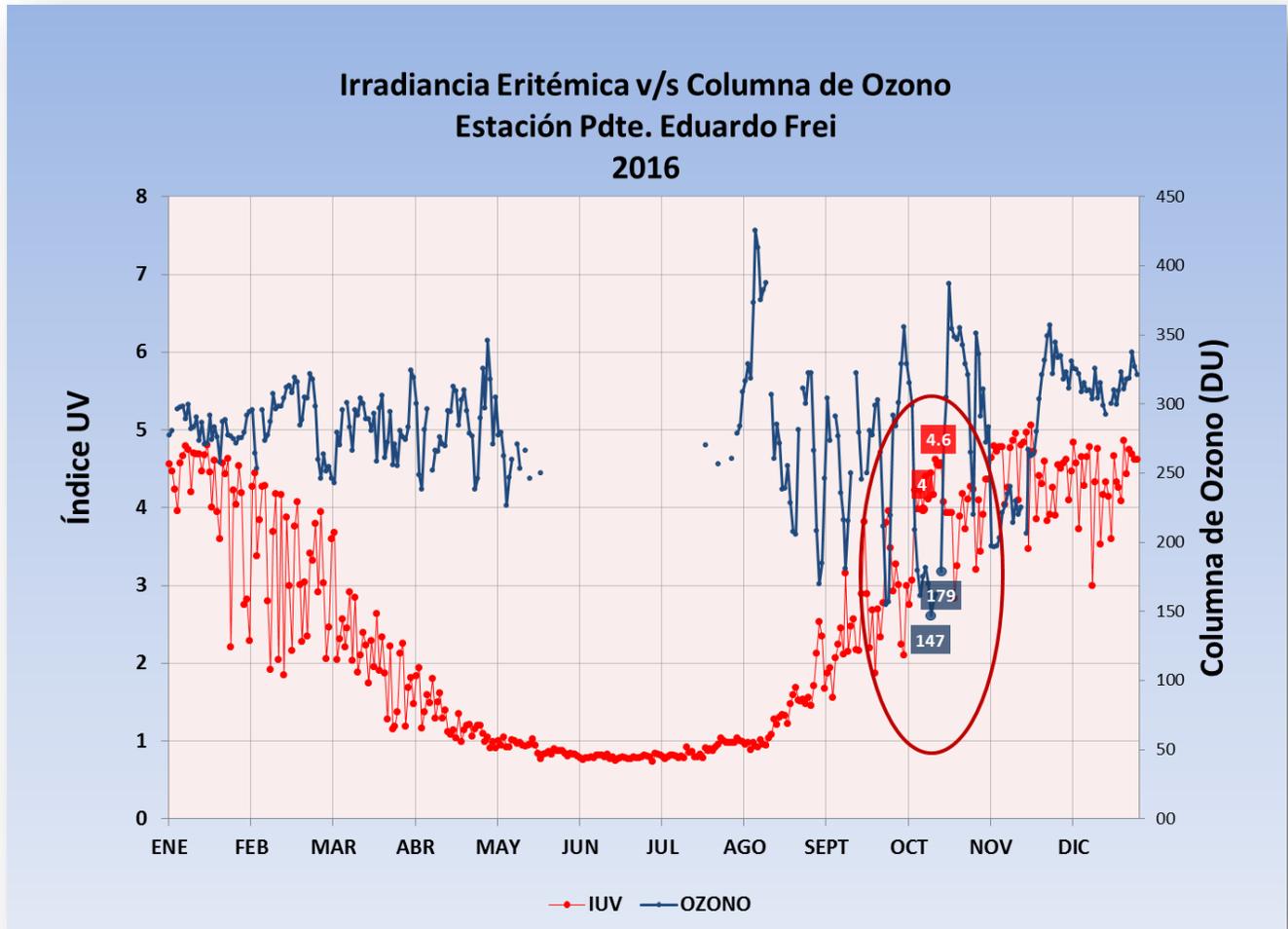


Fig 18. Datos de IUV medidos en la estación Pdte, Eduardo Frei, península Antártica. Datos de columna de ozono interpolados para coordenadas de la estación, a partir de datos del instrumento de monitoreo de ozono (OMI), montado en el satélite Aura de la NASA.

III. Observaciones Generales.

Las condiciones físicas y dinámicas que dieron paso al evento de agujero de ozono del año 2016 fueron bastante moderadas con respecto a las del año 2015, lo que se tradujo en agujero de menores dimensiones y una duración más breve.

Las temperaturas de formación de las nubes estratosféricas polares, tanto para las de Tipo I como de Tipo II, estuvieron en torno a los valores medios para el período 1979 – 2015, entre mayo y agosto, alcanzando su máximo en julio. La extensión en área con dichas condiciones alcanzó un máximo que no superó el del año 2015; en cuanto al volumen alcanzado, este se mantuvo bajo la media la mayor parte del período.

La corriente en chorro polar, principal factor de aislamiento del aire polar y fortalecimiento del vórtice, presentó intensidades superiores a la media durante los meses de julio, agosto y septiembre, con valores medios de 109.3 Km/h, 113.2 Km/h y 123.9 Km/h, respectivamente.

El transporte longitudinal de calor a 100 hPa, entre los 45° y 75° de Latitud Sur, indicativo del grado de perturbación de la atmósfera y por ende de la estabilidad del vórtice, se presentó con mayor actividad que el año 2015, traduciéndose en un vórtice perturbado y menos estable, lo cual tuvo estrecha relación con la menor duración del agujero de ozono.

Otro factor que incidió en la duración y extensión del agujero de ozono, fue el déficit de masa de ozono, que si bien superó en profundidad a otros años de la última década, se mantuvo bastante por debajo de los valores alcanzados el año 2015 (29.4 megatoneladas el 2016 versus 31.7 megatoneladas medidas el 2015)

Finalmente, los efectos de la depleción del Ozono estratosférico sobre la antártica, traducidos en valores de radiación ultravioleta, fueron también moderados, ya que los valores de IUV se mantuvieron dentro de los rangos esperados para la época de primavera, tanto en Punta Arenas como en la Estación Pdte. Edo. Frei, considerando además que las condiciones meteorológicas imperantes tanto en Punta Arenas como en la Península Antártica, con días predominantemente nublados y cubiertos, atenúan los efectos de la radiación ultravioleta,



Referencias.

Fahey, D. *Veinte Preguntas y Respuestas sobre la Capa de Ozono*. Documento basado, en la evaluación científica del agotamiento de ozono 2002, NOAA.

Ozone Hole Watch. National Aeronautics and Space Administration. Goddard Space Flight Center <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/>

Red Radiométrica DMC. Datos de Irradiancia Eritémica e Índice UV.

Total Ozone Mapping Spectrometer-Earth Probe (TOMS-EP), NASA. Datos de columna de ozono diarios.

Goddard Space Flight Center
WMO. *Antartic Ozone Bulletin No 1*. Septiembre de 2016.

WMO. *Antartic Ozone Bulletin No 2*. Octubre de 2016.

