



Servicio
Meteorológico
Nacional

INFORME FINAL - TEMPORADA DEL AGUJERO DE OZONO 2019

***Gerardo Carbajal Benítez¹, Facundo Orte², Elian Wolfram^{1,2},
Eduardo Luccini³ y Fernando Nollas¹.***

*1. Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios.
Dirección del Servicio Meteorológico Nacional.*

2. CITEDEF.

3. CEPROCOR-CONICET.

Octubre, 2019



Ministerio de Defensa
Presidencia de la Nación

INDICE

ANTECEDENTES	3
1. Introducción.	4
2. CONDICIONES METEOROLÓGICAS PREVALECIENTES	5
2.1 Temperaturas.	5
2.2 Área y volumen del NEP	8
2.3 Estabilidad del vórtice.	9
3. OBSERVACIONES DE OZONO	11
3.1 Observaciones Satelitales.	11
3.2 Estaciones en superficie.	13
3.2.1 Estación VAG USHUAIA.	13
3.2.2 Estación Antártica MARAMBIO.	15
3.2.3 Estación Antártica SAN MARTIN.	18
4. ACTIVACIÓN QUIMICA DEL VÓRTICE	19
4.1 Resultados de Modelo.	19
5. EL AGUJERO DE OZONO	22
5.1 El área del agujero de ozono.	22
5.2 Déficit de masa de ozono.	24
6. RADIACIÓN UV	26
7. CONCLUSIÓN	27
8. AGRADECIMIENTOS	28
9. BIBLIOGRAFÍA	29

ANTECEDENTES

La estratósfera sobre la región Antártica sufre el deterioro de la capa de ozono año tras año desde la década del '80, es decir, hay una disminución de la columna total de ozono en la estratósfera por debajo del umbral de los 220 Unidades Dobson (UD), formándose el conocido Agujero de ozono. Estos episodios se presentan inicialmente a finales de agosto y/o inicios de septiembre, finalizando en los últimos días de octubre y en algunos años, suele extenderse hasta la segunda semana de noviembre. Este fenómeno se le atribuye a las especies químicas que no se encuentran en la naturaleza y son totalmente de origen antropogénico, como compuestos de cloro (Cl_2) y bromo (Br_2), junto con factores meteorológicos que permiten la estabilidad y fortalecimiento del vórtice polar, durante el verano y otoño.

Debido a la variabilidad meteorológica, existen grandes variaciones interanuales en las fechas de inicio y finalización del agujero de ozono antártico, así como en el tamaño del área impactada y en la intensidad del agotamiento del ozono. Es importante separar esta variabilidad interanual de las tendencias a más largo plazo. Por lo tanto, monitorear el agujero de ozono antártico es una tarea importante para el programa Global Atmosphere Watch (GAW) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Se espera que los agujeros de ozono antárticos sean recurrentes año tras año, mientras la estratósfera contenga excesos de sustancias destructoras de ozono (en inglés, OCD's). Como se indica en el Resumen Ejecutivo de la edición 2018 de la Evaluación Científica de la OMM / PNUMA sobre el agotamiento del ozono, se espera que, debido acciones tomadas dentro del Protocolo de Montreal, conduzcan a una disminución de los OCD's y por lo tanto una recuperación gradual de la capa de ozono, que ya desde la evaluación del 2014, se observa una declinación de dichos OCD's (Cl_2 y Br_2). Fuera de las regiones polares, el ozono en la estratósfera superior ha aumentado entre 1 y 3%, por década desde el año 2000. No se ha detectado ninguna tendencia significativa en la columna total de ozono global ($60^\circ\text{S} - 60^\circ\text{N}$) durante el período 1997–2016 con valores promedio. En los años transcurridos desde la última evaluación, permanecen aproximadamente un 2% por debajo del promedio de 1964-1980.

Los cambios en la capa de ozono durante la segunda mitad de este siglo, serán complejos, con aumentos y disminuciones proyectados en diferentes regiones. Se espera que la media de la columna total de ozono en el hemisferio norte, durante la década del 2030, regrese a los valores de 1980, y el ozono de latitudes medias del hemisferio sur, regrese a mediados de siglo (2050). Se espera que el agujero de ozono antártico se vaya cerrando gradualmente en la década del 2060, y que la columna total de ozono en primavera, vuelva a los valores de 1980.

Evaluaciones anteriores, a través de modelos, han mostrado proyecciones de disminución de ODC's y como resultado, el ozono global aumenta. También, los modelos han demostrado que el aumento de las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4) considerados los principales gases de efecto Invernadero (GEI's) durante este siglo, hará que los niveles globales de ozono aumenten, más allá del nivel natural de ozono observado en la década de 1960, debido a que estos GEI's, atrapan parte de la radiación solar reflejada y emitida por la superficie, para calentar la tropósfera baja (calentamiento global), por lo que poca radiación alcanza la estratósfera superior y esta a su vez se enfría, resultando en un cambio de la circulación estratosférica. Por otro lado, el efecto químico del aumento de las concentraciones de óxido nitroso (N_2O), otro GEI, será agotar el ozono estratosférico.

El presente informe tiene como objetivo informar acerca del monitoreo la columna total de ozono en la temporada 2019, desde su inicio hasta su finalización, con la finalidad de contribuir al entendimiento y comprensión del fenómeno del agujero de ozono, así como de informar sobre sus impactos a todas aquellas personas que estén interesadas en conocer la evolución e impacto del agujero de ozono.

1. INTRODUCCIÓN

Las condiciones meteorológicas de la estratósfera antártica durante el invierno austral (junio-agosto) sientan el escenario para la formación del agujero de ozono que ocurre año tras año en la Antártida. Las bajas temperaturas llevan a la formación de nubes en la estratósfera Polares (NEPs) que son reservas de sustancias destructoras del ozono estratosférico.

La cantidad de vapor de agua en la estratósfera es muy baja, solamente 5 de entre un millón de moléculas de aire son moléculas de agua, lo cual significa que bajo condiciones normales, no existen nubes en la estratósfera. Sin embargo, cuando la temperatura cae abruptamente por debajo de los -78°C (194.6°K), empiezan a formarse nubes en la estratosfera, que consisten en una mezcla de agua y ácido nítrico (HNO_3). Estas últimas son llamadas NEPs de tipo I, donde, en la superficie de partículas de la nube, tienen lugar reacciones químicas que transforman compuestos halógenos pasivos e inocuos (por ej. HCl y HBr) en las denominadas especies activas de cloro y bromo (por ej. ClO y BrO). Estas formas activas de cloro y bromo provocan una rápida pérdida de ozono al inicio de la primavera, con los primeros rayos del sol, a través de ciclos catalíticos, en los que una molécula de ClO puede destruir miles de moléculas de ozono antes de ser inhibidas, mediante la reacción con dióxido de nitrógeno. (NO_2).

Cuando las temperaturas disminuyen abruptamente por debajo de los -85°C (187.8°K), se formarán nubes que consisten en hielo de agua pura. Estas últimas son denominadas NEPs de tipo II. Las partículas en ambos tipos de nubes pueden crecer tanto que ya no flotan en el aire y precipitan fuera de la estratósfera. En este proceso traen consigo ácido nítrico (HNO_3). El ácido nítrico es considerado un reservorio que libera NO_2 bajo condiciones de iluminación solar. Si el NO_2 es removido físicamente de la estratósfera (proceso denominado desnitrificación), el cloro y bromo activos pueden destruir muchas más moléculas de ozono antes de ser inhibidos. La formación de nubes de hielo llevará a una pérdida más severa de ozono, que la que causa las NEPs de tipo I, puesto que las especies halógenas son mejor activadas, cuando se encuentran en las superficies de partículas de hielo de mayor tamaño.

El Vórtice polar es un sistema de baja presión, donde los fuertes vientos (Jet Polar) en la estratósfera circundan el continente antártico, dentro del Jet Polar, es caracterizado por temperaturas muy bajas y gran pérdida de ozono que supera a cualquier parte del mundo. A inicios del mes de agosto, la información sobre parámetros meteorológicos y mediciones de estaciones terrestres, ozonosondeos, información de satélites y otros componentes como modelos para pronóstico, pueden proporcionar una idea del desarrollo del vórtice polar y, por lo tanto, dan información acerca de cómo será la evolución del agujero de ozono durante la temporada. Las bajas temperaturas conducen a la formación de las llamadas nubes estratosféricas polares (NEPs).

Para mayor información sobre el agujero de ozono antártico y la pérdida de ozono en general, se solicita a los lectores que se contacten con la página web de ozono de la OMM:

<http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ozone/index.html>.

2. CONDICIONES METEOROLÓGICAS PREVALECIENTES.

Los datos meteorológicos utilizados en este informe provienen de la Oficina de Asimilación y Modelo Global de la NASA <http://macc.aeronomie.be/index.php> y del Centro Europeo para Pronósticos del Tiempo de Medio Alcance (ECMWF). Los reanálisis provenientes del GMAO, los así denominados datos MERRA, han sido bajados del sitio web de Vigilancia del Ozono de la NASA (<http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>). Los datos del ECMWF han sido extraídos y bajados del Instituto Noruego para Investigación del Aire (NILU) que ponen estos datos a disposición a través de un proyecto financiado por la Agencia Espacial Europea (ESA).

Para el análisis de la composición química de la estratosfera antártica, se usan los datos BASCOE, dentro del sistema Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) que es el predecesor del MAC. El sistema de asimilación BASCOE fue hecho para hacer análisis en tiempo real y predicciones a cierta cantidad de días. (http://macc.aeronomie.be/4_NRT_products/5_Browse_plots/1_Snapshot_maps/index.php?src=BASCOE&spc=o3&l=at-050hPa.)

Los datos para el análisis de los calentamientos repentinos en la estratosfera, se usan imágenes del Centro Regional del Clima (RII WMO, Asia), con sede en TOKIO. <http://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/clisys/STRAT/>

Para los datos de la Columna Total de ozono en superficie, se usa el Espectrofotómetro Dobson de la estación GAW-Ushuaia y la Estación Antártica Marambio, dependientes del Servicio Meteorológico Nacional. Los datos de la Columna Total de ozono en superficie de la Estación Antártica San Martín, son gentilmente proporcionados por el instituto Antártico Argentino (IAA) dependencia de la Dirección Antártica Argentina (DNA). Finalmente los perfiles de ozono se obtienen de los ozonosondeos realizados en la Estación GAW-Ushuaia y de la estación Antártica Marambio, esta última en convenio con el Instituto Meteorológico Finlandés (IMF).

2.1 Temperaturas.

Las temperaturas estratosféricas sobre la Antártida han estado por debajo del umbral de formación de las Nubes Estratosféricas Polares (NEP) tipo I (194.6 K) desde el 12 de mayo y por debajo del umbral de las NEP tipo II (187.8 K) desde el 5 de junio, ver **Figura 1**. Las temperaturas diarias mínimas en el nivel de 50 hPa han estado cercanas y oscilando alrededor del promedio correspondiente al período 1979-2018. Se ha suscitado un “evento repentino de calentamiento” en la estratósfera a finales del mes de agosto y las proyecciones mostraron que el calentamiento estratosférico se prolongó e incluso rebasaron la curva umbral de formación de las NEP tipo II. A finales de septiembre las temperaturas bajaron, pero el enfriamiento no alcanzó para la formar nubes NEP. Para las dos primeras semanas de octubre, el agujero de ozono empezó a tener condiciones normales, y la temperatura mínima a 50 hPa, comienza a tocar la línea del percentil 30-70% de la serie total de 1979 – 2018.

En la **Figura 2** se muestra que la temperatura media zonal a nivel de 50 hPa y entre la región de 60° y 90°, ha estado oscilando alrededor de la media del periodo 1979 a 2018, desde el inicio del mes de abril hasta finales de julio. A inicios de agosto permanece por encima de la media, aunque no significativamente, pero a finales del mismo mes y debido al calentamiento repentino de la estratósfera, se observa como aumenta la temperatura casi las tres primeras semanas de septiembre, después las proyecciones mostraron que oscilen alrededor de las máximas, incluso los primeros días de octubre. Después de las dos primeras semanas de octubre, se confirma que las temperaturas empiezan a alcanzar su nivel normal, acercándose al percentil 30-70% de la serie total de 1979 – 2018.

Al mismo tiempo en la **Figura 3**, a nivel de 10 hPa, la Temperatura Media Zonal ha estado oscilando alrededor de la media del periodo correspondiente de 1979 a 2018. A inicios de julio, se encuentra por arriba de la media, coincidente con la **Figura 2** y contrastando con el año 2018, que a estas fechas, se observaba enfriamientos por debajo de la media. Pero a finales de agosto se observa un calentamiento que alcanza valores muy por encima de los máximos históricos. A mediados de octubre, se muestra condiciones normales y muy cercanas a la línea de temperatura del 2018.

En ambos casos, las predicciones muestran ya condiciones normales para esas fechas.

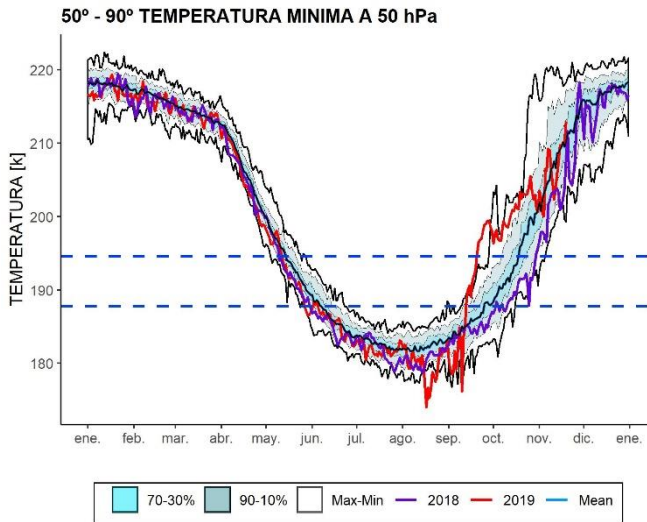


Figura 1. Temperatura mínima promedio a 50hPa, sobre la región de 50° a 90° S. La línea color roja representa la evolución de la temperatura mínima para el año 2019, la línea morada representa la temperatura para el año 2018, mientras que la línea azul oscuro representa la temperatura media para el periodo 1979-2018. Las líneas externas negras, son los máximos y mínimos durante el periodo 1979-2018. Las líneas sombreadas en azul de adentro hacia afuera, son los percentiles de 70 – 30% y de 10 – 90%. Las líneas rectas punteada de color azul, representan las nubes NEP tipo I (arriba) y NEP tipo II (abajo).

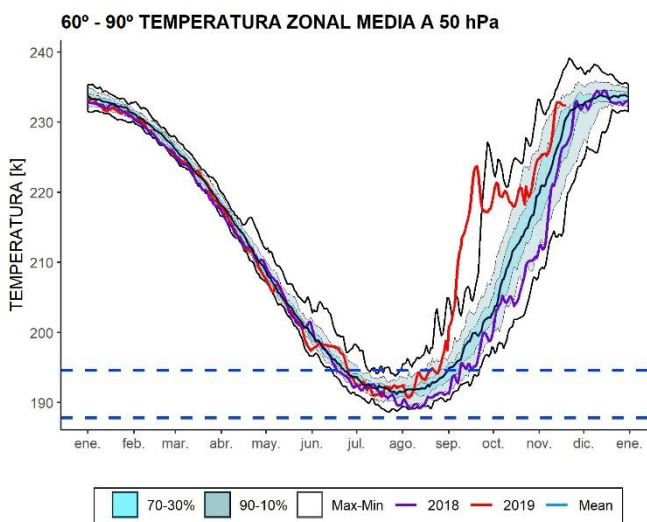


Figura 2. Temperatura zonal media a 50hPa, sobre la región de 60° a 90° S. La línea color roja representa la evolución de la temperatura zonal media para el año 2019, la línea morada representa el mismo parámetro para el año 2018, la línea azul oscuro representa la media para el periodo 1979-2018. Las líneas externas negras, son los máximos y mínimos durante el periodo 1979-2018. Las líneas sombreadas en azul de adentro hacia afuera, son los percentiles de 70 – 30% y de 10 – 90%. Las líneas rectas punteada de color azul, representan las nubes NEP tipo I (arriba) y NEP tipo II (abajo).

En la **Figura 4**, se observa el calentamiento repentino a partir del día 19 de agosto, a nivel de 10 hPa, mientras que a una altura de 30 hPa (arriba) se observa dicho calentamiento el día 23 de agosto.

Para los días del 13 al 18 de septiembre, el calentamiento continúa, sobre todo en la Península Antártica y se propaga hasta el este del continente antártico (Temperatura a 30hPa). Actualmente, ese calentamiento estratosférico se ha diluido. Los 8 primeros días de octubre, a los 10 hPa, se observan condiciones normales (abajo).

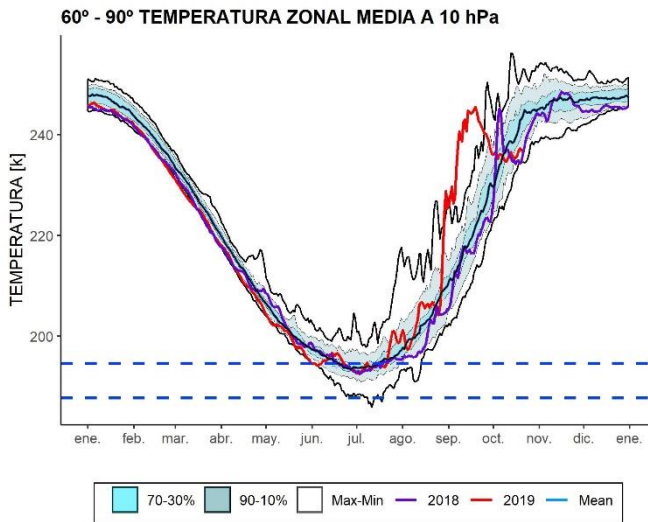


Figura 3. Temperatura zonal media a 10hPa, sobre la región de 60° a 90° S. La línea color roja representa la evolución de la temperatura zonal media para el año 2019, la línea morada representa la temperatura para el año 2018, la línea azul oscuro es la media para el periodo 1979-2018. Las líneas externas negras, son los máximos y mínimos durante el periodo 1979 – 2018. Las líneas sombreadas en azul de adentro hacia afuera, son los percentiles de 70 – 30% y de 10 – 90%. Las líneas rectas punteada de color azul, representan las nubes NEP tipo I (arriba) y NEP tipo II (abajo).

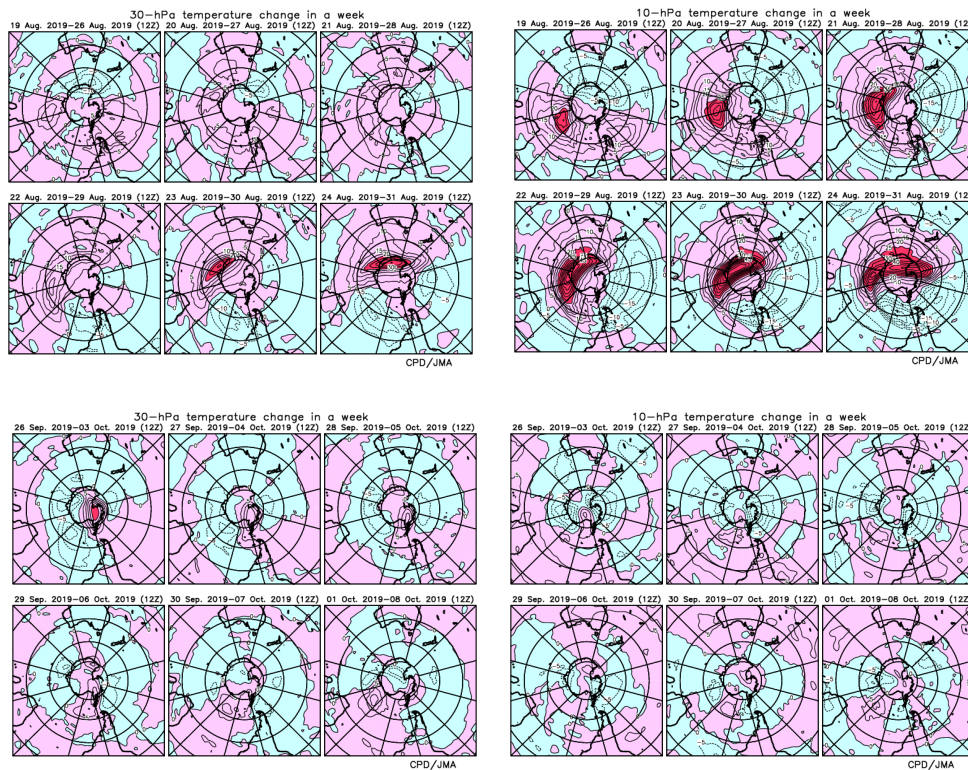


Figura 4. Cambios de temperatura en una semana a un nivel de 30 hPa (Izquierda) y 10 hPa (Derecha). El contorno tiene intervalos de 5°C. Las áreas sombreadas de color rosa y azul claro, indican calentamiento y enfriamiento, respectivamente. El sombreado rojo indica calentamiento para valores superiores a 25° C. Fuente: Tokio Climate Center, <http://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/clisys/STRAT/>

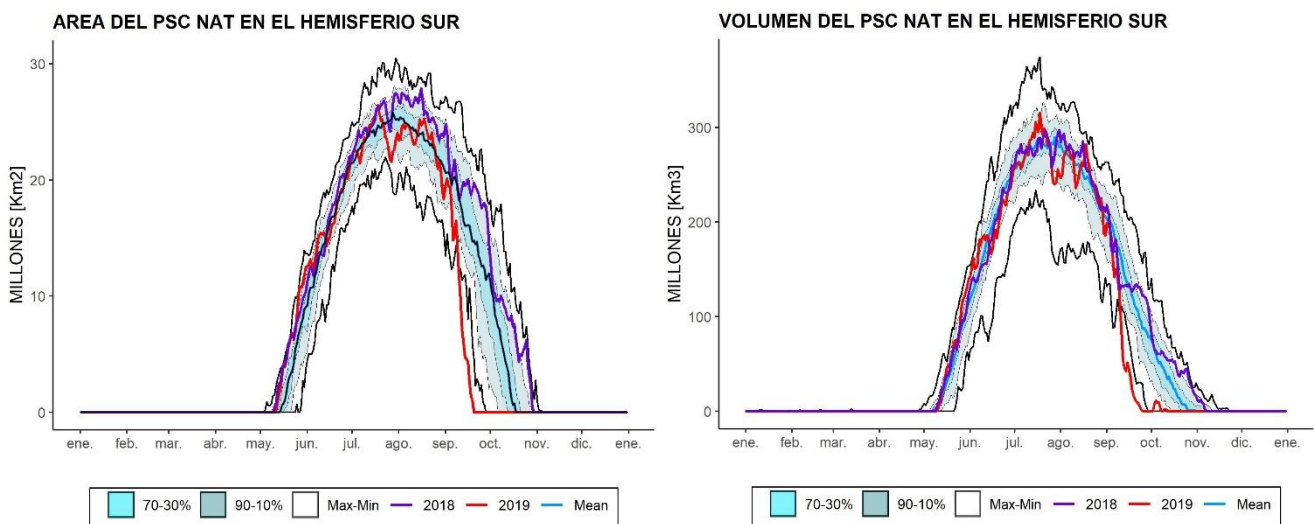
2.2 Área y Volumen del NEP

Desde la aparición de las primeras dos semanas de mayo hasta la última semana del mes de julio, el área de las NEP se incrementa y oscila sobre el valor medio del periodo 1979-2018. Posteriormente, del 19 al 26 de julio se observa una caída vertiginosa y el día 27 de julio inicia su recuperación, respecto a la media del periodo 1979-2018. Después ha permanecido por debajo del valor medio del periodo 1979-2018.

A mediados de Agosto, el área de las NEP permanece inferior con respecto al valor medio. El 18 de julio el área de las NEP alcanzó el valor máximo con 26.07 millones de km², lo cual es inferior a los 28,2 millones de km² alcanzados en el 2015, que ha sido uno de los máximos históricos. Aproximadamente, el día 19 de septiembre, el área de las NEP se diluye, es decir muy pocas y pequeñas nubes son detectadas y por lo tanto, muy poco reservorio de sustancias destructoras de ozono, la fecha es anticipada a la media, que es aproximadamente el 17 de octubre.

El volumen de las PSC NAT se incrementa a partir de la primera parte del mes de mayo, y oscila alrededor de la media del periodo 1979 a 2018, hasta el mes de julio. El 18 de julio alcanza su valor máximo con 281.6 de Km³. Luego, los valores oscilan alrededor de la media (1979 - 2018). Del mismo modo que el volumen, se va diluyendo hasta alcanzar el volumen cero, a partir del día 26 de septiembre, día muy lejano de la media que muestra que el volumen de las nubes se diluyen totalmente (31 de octubre).

El área o volumen con temperaturas lo suficientemente bajas para la existencia de NEP, se encuentra directamente relacionado con la cantidad de la pérdida de ozono que tendrá lugar más tarde en la estación del año, pero el grado de la pérdida de ozono depende también de otros factores, como la cantidad de vapor de agua y HNO₃.



Figuras 5 y 6. Serie de tiempo del Área y volumen de las nubes estratosféricas polares (NAT), sobre la región Antártica, donde la temperatura están suficientemente bajas para la formación de ácido nítrico trihidratado (NET tipo I) en el nivel isentrópico de 460 K. La línea color roja representa la evolución del tamaño y volumen de la PSC NAT para el año 2019, la línea morada representa el mismo parámetro para el año 2018, la línea azul oscura representa la media para el periodo 1979-2018. Las líneas externas negras, son los máximos y mínimos históricos durante el periodo 1979 – 2018. Las líneas sombreadas en azul de adentro hacia afuera, son los percentiles de 70 – 30% y de 10 – 90%.

Debido al enfriamiento temprano de la estratosfera, que conduce a una gran formación de las NEP y la destrucción repentina de las NEP puede ser la razón por la cual el agujero de ozono tiene una aparición temprana, tal como se describe más adelante. Pero, debido al calentamiento repentino de la estratósfera, provoca que las NEP se inhiban y reduzcan su formación, tal como se muestra en la **Figura 5 y 6**. Tanto el área y volumen de las PSC NAT, tienen una disminución considerable a partir de la primera parte del mes de septiembre, e incluso por debajo de los valores mínimos históricos.

2.3 ESTABILIDAD DEL VÓRTICE

El flujo de calor promediado longitudinalmente entre los 45°S y los 75°S es una indicación de hasta qué grado está perturbada la estratósfera. En la **Figura 7a** se muestra el desarrollo del flujo de calor. Lea el subtítulo para mayores detalles de cómo interpretar el gráfico.

Durante los primeros meses del año, hasta principios de abril, el valor medio de 45 días del flujo de calor en 100 hPa ha sido mayor a la media del periodo 1997-2018. Pero, de abril a junio la intensidad disminuye, aunque no demasiado. Luego, desde el inicio de junio al presente, se observa una actividad de ondas mayor que la media del periodo 1979-2018. En el gráfico se observa la actividad de ondas que transportan calor, se incrementa considerablemente y con ello se produce el aumento de temperatura en la estratósfera. Las proyecciones han mostrado una alta actividad de ondas que se estará incrementando con el paso de los días. Es muy probable que esta actividad de ondas sea la responsable del calentamiento repentino en la estratósfera observada en las **Figuras 1, 2, 3 y 4**. La actividad de onda continua, inclusive hasta los inicios del mes de octubre. Después de las dos primeras semanas de octubre, las condiciones de flujo de calor, empiezan a alcanzar la normalidad, acercándose a la línea de la media histórica 1979-2018.

Mientras que en la **Figura 7b** se muestra la evolución de la onda total (45° y 75° latitud), que es la responsable de transportar calor a la estratosfera a lo largo del tiempo en el Hemisferio Sur y muestra un periodo máximo entre finales de agosto y mediados de septiembre con un valor igual o superior a 27 m²/s².

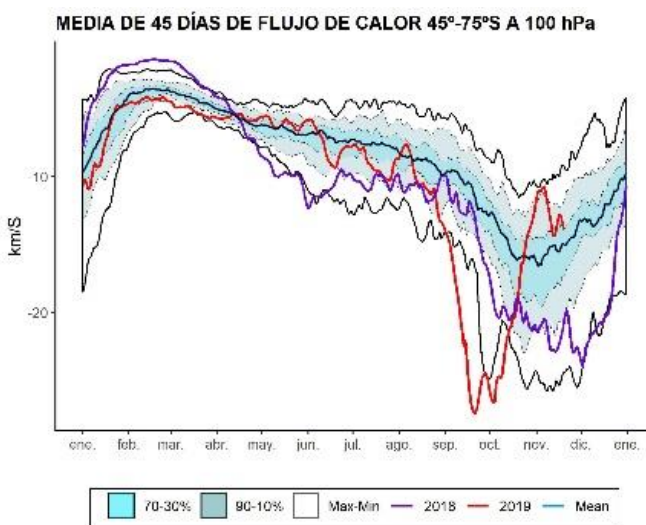


Figura 7a. Serie de tiempo del flujo de calor meridional promediado sobre la región entre 45-75°S. La curva roja muestra los datos para 2019 (actualizado hasta el 12 de noviembre). Note que un gran número negativo significa un gran flujo de calor. Los valores cercanos a cero significan un flujo de calor pequeño. La línea azul oscura representa la media para el periodo 1979-2018. Las líneas externas negras, son los máximos y mínimos durante el periodo 1979 – 2018. Las líneas sombreadas en azul de adentro hacia afuera, son los percentiles de 70 – 30% y de 10 – 90%, finalmente la línea morada representa al año 2018.

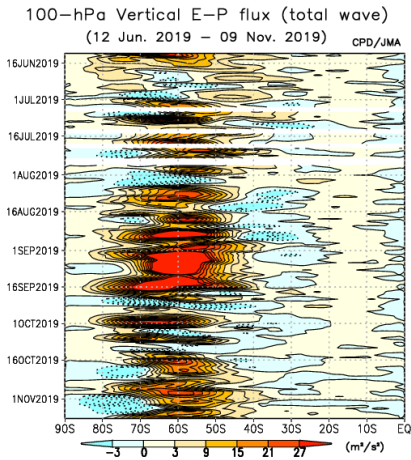


Figura 7b. Sección transversal de la componente vertical del flujo E-P flux a una altura de 100-hPa en el Hemisferio Sur. El intervalo de los contornos es $6 \text{ m}^2/\text{s}^2$ (más alto que $3 \text{ m}^2/\text{s}^2$) y $3 \text{ m}^2/\text{s}^2$ (más bajo que $3 \text{ m}^2/\text{s}^2$). Desde el día 11 de mayo hasta el 4 de noviembre. Fuente: Tokio Climate Center.

<http://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/clisys/STRAT/>

La **Figura 8** se muestra los mapas de vorticidad potencial (PV) en el nivel isentrópico de 485 K (~19 km de altura) para los días 8 de cada mes, desde Mayo hasta Noviembre durante los años 2015 al 2018 y 2019 (de abajo hacia arriba). Se incluye el año 2015 debido a que en esos años se presentó uno de los tres agujeros de ozono más grandes registrados.

Con un vórtice estable, estratosfera fría, inicia la formación temprana del agujero de ozono, pero el calentamiento repentino, debido a la actividad de las ondas, hacen que el borde se debilite, se vuelve inestable y no alcanza aproximadamente los niveles de los años anteriores, tal como se mostraron en las proyecciones de temperatura. Además, el vórtice se vuelve más inestable y se debilita durante el inicio del mes de Noviembre, comparado con vórtices del año 2015 y 2018. Esto último conduce a un cierre del agujero de ozono más temprano, comparado con otros años. Se elige el día 8 de septiembre, que se observa el valor máximo del área del agujero de ozono.

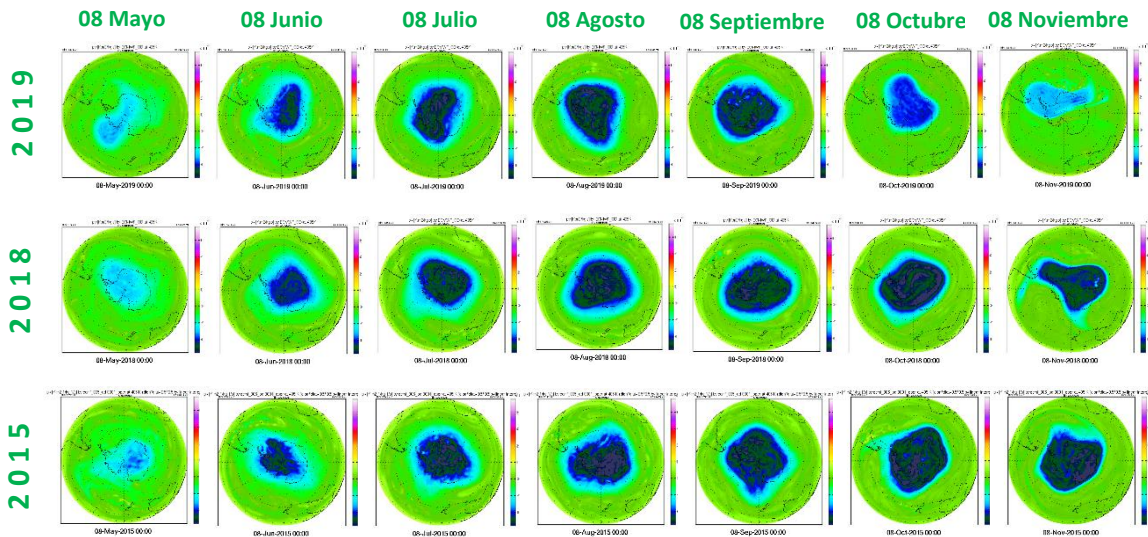


Figura 8. Mapas de vorticidad potencial (PV) a una altura isentrópica de 485 K, para los días 8 de cada mes (mayo - noviembre) para los años 2015, 2018 y 2019, respectivamente. Los valores negativos más cercanos a cero, indican un vórtice débil (tono de color más claro).

3. OBSERVACIONES DE OZONO

3.1 Observaciones Satelitales

Con el retorno del sol al inicio de la primavera austral en la Antártida, tanto los datos satelitales, los datos de superficie y sondeos con globos, muestran que el agujero de ozono, inicia una formación temprana del agujero de ozono y en esas fechas se encuentra en etapa de crecimiento y fortalecimiento. Lentamente se empiezan a mostrar en algunas de las observaciones.

La **Figura 9** muestra las columnas de ozono mínimas tal como han sido medidas por el instrumento GOME-2 a bordo del MetOp en comparación con su media del periodo 1979-2018. Se aprecia que en los primeros días de agosto hay una tendencia a disminuir el ozono, es decir a la destrucción del mismo, que casi alcanza al mínimo histórico, muy probablemente debido a una estratosfera muy fría y la persistencia de las NEP que son reservas que contienen sustancias destructoras de ozono. Pero al final del mismo mes, hay una recuperación del ozono, debido a la poca formación de las NEP (calentamiento estratosférico), que son reservas de las sustancias destructoras de ozono. A mediados de agosto e inicios de octubre, muestra una recuperación de la cantidad de ozono muy atípica, coherente con la disminución casi total de las NEP que son reservas de las sustancias destructoras de ozono, siendo fluctuaciones constantes, hasta el día de hoy.

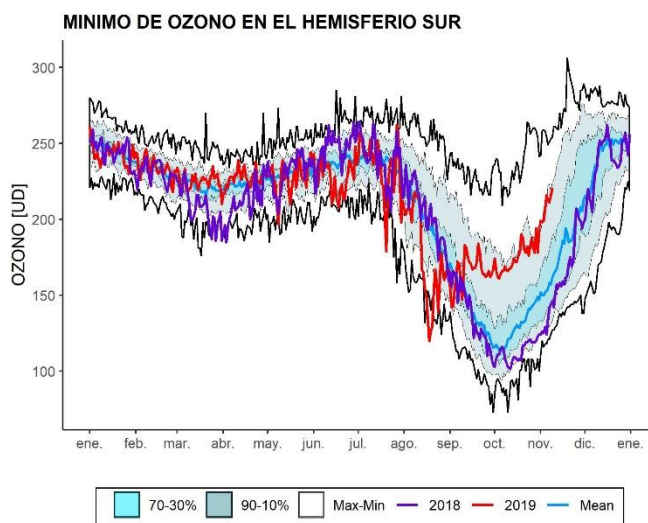


Figura 9. *Mínimo diario de la columna total de ozono en el Hemisferio Sur observado por GOME-2, y en el pasado por SCIAMACHY. La línea roja muestra las observaciones de GOME-2 para el año 2019, la línea morada representa al año 2018. El pronóstico para los siguientes días muestra que el mínimo de ozono continuará creciendo. La figura está adaptada desde un gráfico provisto por el Instituto Holandés de Meteorología (KNMI).*

La **Figura 10** muestra los mapas de las columnas de ozono total de las observaciones del satélite OMI (2000-2019) donde se observa la situación del día 8 de septiembre, donde el agujero de ozono de este año, presenta su máxima extensión, cuando las extensiones máximas son del 7 de septiembre e al 13 de octubre de cada año.

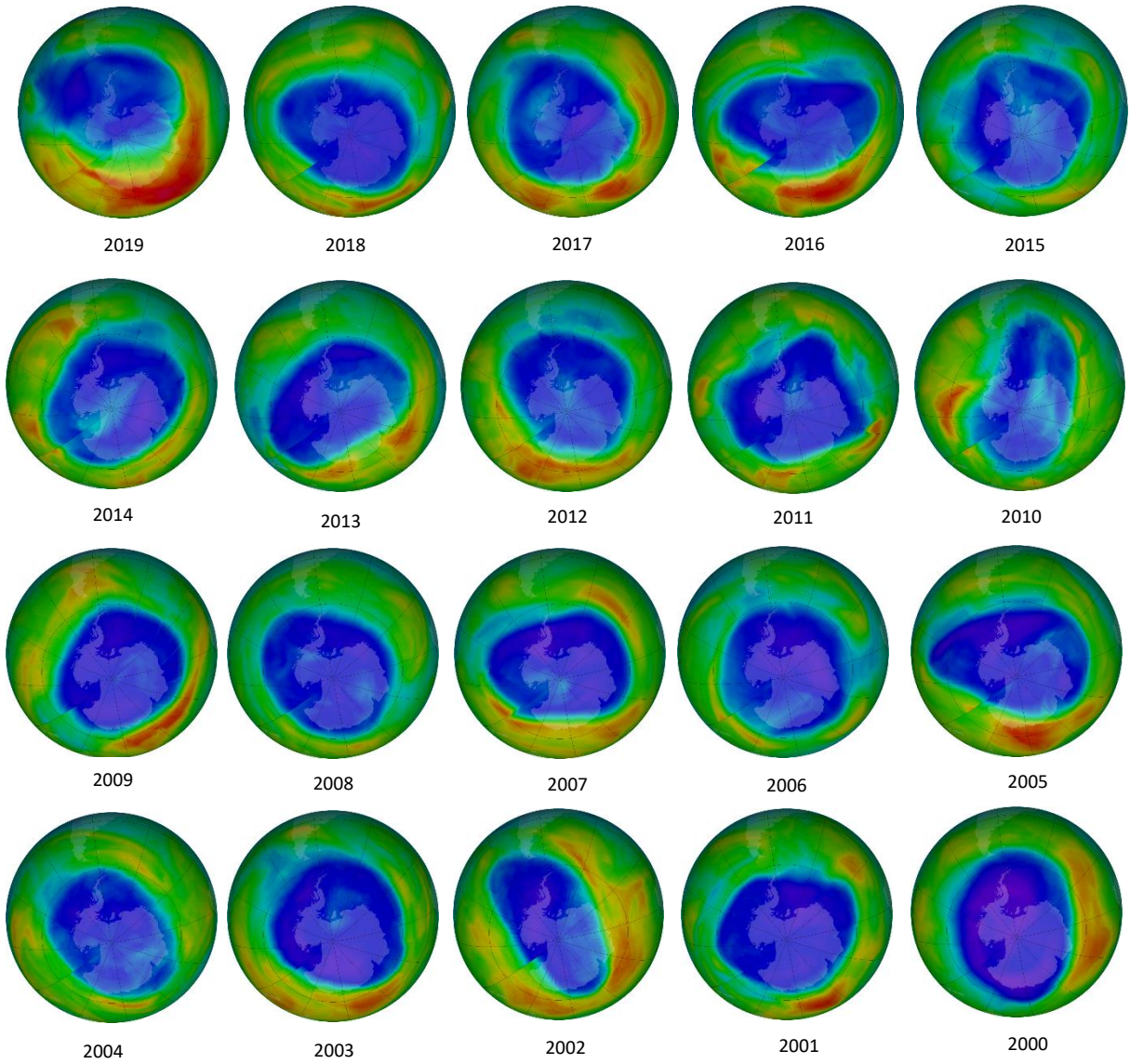


Figura 10. Mapas de columna total de ozono del 8 de septiembre, donde el Agujero de ozono tuvo un área máxima para el este año (2000 al 2019). Los mapas son obtenidos del OMI.

3.2 Observaciones en superficie.

Por ahora, solo se usan, mediciones en superficie obtenidos mediante el Espectrofotómetro Dobson y ozonosondeos de la Estación GAW Ushuaia ($54^{\circ} 50' 54.46'' S$, $68^{\circ} 18' 37.52'' O$) y la Estación Antártica Marambio ($61^{\circ} 14' 33.68'' S$, $56^{\circ} 37' 36.98'' O$) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Además de la Estación Antártica San Martín ($67^{\circ} 07' 48'' S$, $67^{\circ} 06' 08'' O$), dependencia de la Dirección Nacional Antártica/Instituto Antártico Argentina (DNA/IAA).

3.2.1 Estación VAG-USHUAIA.



La Estación de Vigilancia Atmosférica global (VAG) de Ushuaia forma parte de la red de medición de parámetros físicos y químicos de la atmósfera de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). La estación VAG de Ushuaia se localiza al borde del Vórtice Polar, de tal manera que en temporada de agujero de ozono, éste puede pasar por arriba de la ciudad de Ushuaia e incluso adentrarse hacia el norte de la Provincia de Tierra del Fuego.

El espectrofotómetro Dobson (#D131) mide todos los días y en la [Figura 11](#), se muestra la evolución de la columna total de ozono para el año en curso, comparado con su media histórica (1994-2018). Algunos días faltantes debido a que se realizó una campaña de calibración (Intercompración)

En la [Figura 11](#) se observa que los datos oscilan fuertemente alrededor del valor medio, debido a la alta variabilidad que hay en la zona, que es típico del paso de masas enriquecidas con ozono y que circundan al vórtice polar. En otras palabras, puede pasar masas de aire con mucho ozono o pasar masas de aire con muy poco ozono (Agujero de Ozono), produciendo dicha variabilidad. Durante los primeros días del mes de septiembre (3 al 10 y del 14 al 16), la ciudad de Ushuaia, estuvo prácticamente todos los días bajo el agujero de ozono, pero después, la segunda quincena, muestra valores muy altos, indicativo del paso de masas de aire muy rico en ozono y circundando a un pequeño agujero de ozono. El mes de septiembre se caracteriza por una tendencia a subir los valores de ozono total y durante octubre, la tendencia de los valores de ozono total fue a la baja.

Los valores medios mensuales muestran una tendencia a caer, hasta el mes de septiembre, tal como se ha observado, si regresamos a la [Figura 11](#), posteriormente en el mes de septiembre, aumenta el valor del promedio mensual de la columna total de ozono y en octubre tiende a caer. Finalmente, el mes de noviembre se calcula en promedio hasta el día 12 de noviembre, día que se elabora este informe.

En la [Figura 12](#) se muestra los 6 perfiles de ozono durante los ozonosondeos, y se observa alguna pérdida de ozono entre los 15 y 19 Km de altura, para el día 03/09/2019 (187.71 UD), aunque el perfil aún está bien definido y se mide ozono total de 272 UD para el día 28/08/2019 entre la integración y el residual. Para los días 9 y 16 de septiembre (2017

y 182 UD, respectivamente), se observa un perfil disminuido (paso del agujero de ozono) pero no en su totalidad, lo que muestra que es un agujero débil.

Es importante mencionar que la temperatura en la estratosfera es fría durante los dos primeros ozonosondeos y después se observa el calentamiento en los días siguientes (9 y 16 de septiembre) Por lo tanto se puede concluir que aún no pasa el agujero de ozono por la Patagonia sur.

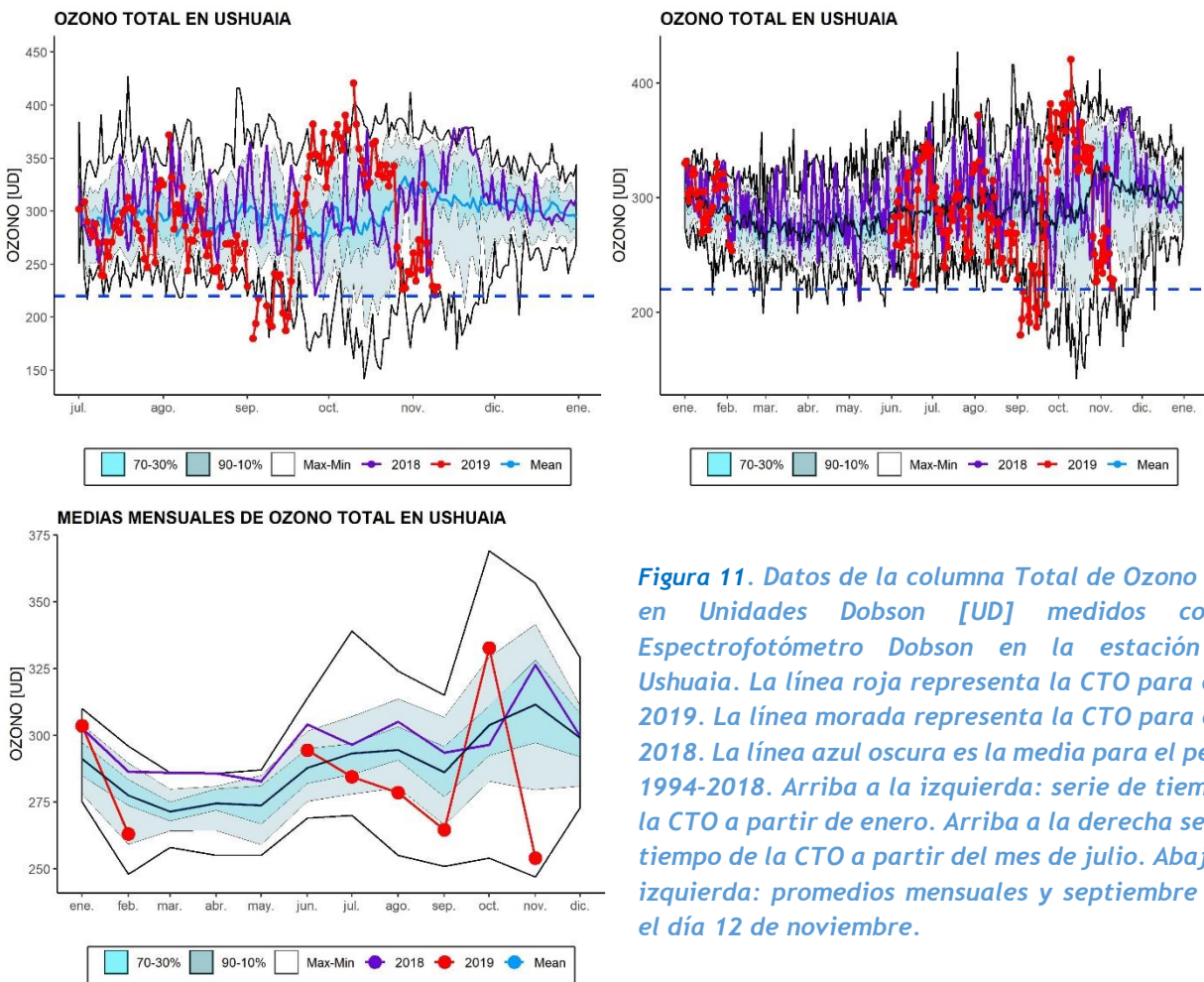


Figura 11. Datos de la columna Total de Ozono (CTO) en Unidades Dobson [UD] medidos con el Espectrofotómetro Dobson en la estación VAG Ushuaia. La línea roja representa la CTO para el año 2019. La línea morada representa la CTO para el año 2018. La línea azul oscura es la media para el periodo 1994-2018. Arriba a la izquierda: serie de tiempo de la CTO a partir de enero. Arriba a la derecha serie de tiempo de la CTO a partir del mes de julio. Abajo a la izquierda: promedios mensuales y septiembre hasta el día 12 de noviembre.

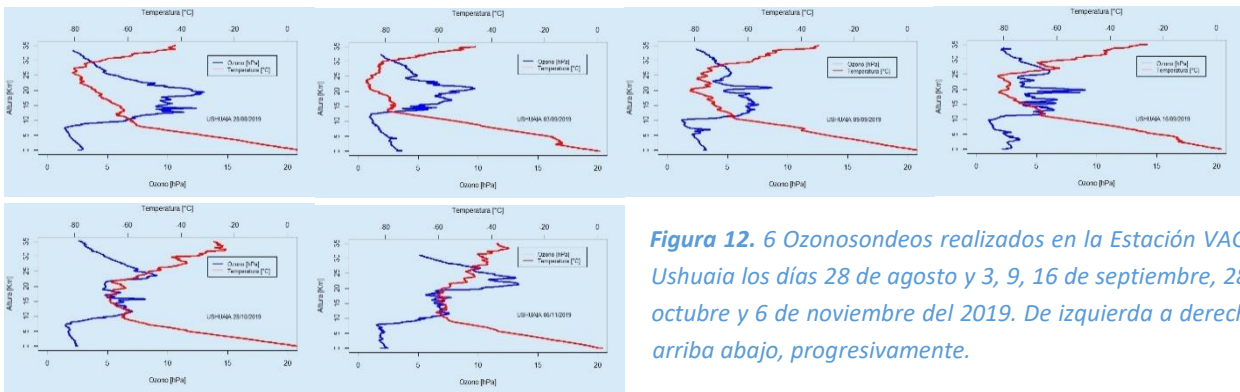


Figura 12. 6 Ozonosondeos realizados en la Estación VAG de Ushuaia los días 28 de agosto y 3, 9, 16 de septiembre, 28 de octubre y 6 de noviembre del 2019. De izquierda a derecha y arriba abajo, progresivamente.

3.2.2 Estación Antártica MARAMBIO.



La estación Antártica Marambio se encuentra en la península Antártica y forma parte de la red de medición de ozono total de programa VAG de la OMM. El ozono total se mide con espectrofotómetro Dobson (#D099), pero sus datos aún no están disponibles, hay un espectrofotómetro Brewer en convenio entre el instituto Antártico Argentino (IAA) y el Instituto Checo de Meteorología.

En convenio entre el SMN y el Instituto Finlandés de Meteorología (IFM) se mantiene el programa de ozonosondeos. Los sondeos se efectúan aproximadamente dos veces por semana durante el período de disminución del ozono, es decir, en temporada de agujero de ozono.

El espectrofotómetro Dobson (#D099) mide todos los días, excepto durante el invierno polar (abril a agosto) o debido a situaciones complicadas que impidan la medición, como vientos fuertes, lluvia, etc. En la **Figura 13**, se muestra la evolución de la columna total de ozono para el año en curso, comparado con su media histórica (1994-2018). Algunos días faltantes, se deben a que se realizó una campaña de calibración (Intercompración) y el Dobson tuvo que estar en Buenos Aires.

La **Figura 13**, se muestra que desde mediados del mes de agosto hasta la penúltima semana de septiembre, los valores han permanecido por debajo del agujero de ozono, indicativo que agujero de ozono estuvo por encima de la península antártica durante varios días, casi de forma permanente. La última semana de septiembre y hasta el 21 de octubre, ya muestra valores muy por arriba del umbral de los 220 UD, indicando que el agujero se movió y masas de aire rico en

ozono circundan el agujero y a la estación antártica Marambio. La tercera semana de octubre y las dos primeras de noviembre, se caracterizan por oscilar entre el umbral de los 220 UD, es decir entra y sale del agujero de ozono. Los valores medios mensuales, hasta septiembre, parecen normales, pero en octubre se ve un valor máximo que coincide con el máximo del periodo 1987-2018. Posteriormente, en noviembre se toma la media hasta el día 12 de noviembre, que es cuando se elabora el presente informe.

En la **Figura 14**, se muestran los perfiles de ozono para once distintos días del año y en la **tabla 1** se presentan los resultados de la columna total de ozono, para cada ozonosondeo.

Tabla 1. Ozono Total de las ozonosondas realizadas antes, durante y después del paso del Agujero de Ozono

Fecha	19/ mayo	19/ junio	21/ agosto	28/ agosto	4/ septiembre	9/ septiembre	19/ septiembre	24/ septiembre	5/ octubre	9/ noviembre	12/ noviembre
UD	321.4	296.8	210.3	200.3	155.7	194.8	202.8	327.6	368.3	215.5	297.6

El día 21/agosto, ya se observa una disminución de ozono, con respecto a los días de mayo (286.95 UD) y junio (321.43 UD), un perfil más acotado y menos espeso, pero aún conserva la forma y conforme el agujero continuo en crecimiento, se observara una deformación y pérdida del perfil en los ozonosondeos. Para el día 28/08/2019, ya hay una pérdida más sustancial, el perfil muestra ya varios mordiscos. Otra característica importante es que ya se nota, el calentamiento progresivo en el perfil de las temperaturas de la estratosfera (4, 9, 19 y 24 de septiembre). Mientras que para el día 5/octubre, el perfil muestra que está en una situación normal para la misma fecha que años anteriores. El día 9/11/2019 hay un valor bajo que rebasa hacia abajo del umbral del 200 UD, indicativo que Agujero de ozono está arriba de Marambio y finalmente el día 12/11/2019, ya hay una recuperación de ozono y al parecer el agujero de ozono se cierra.

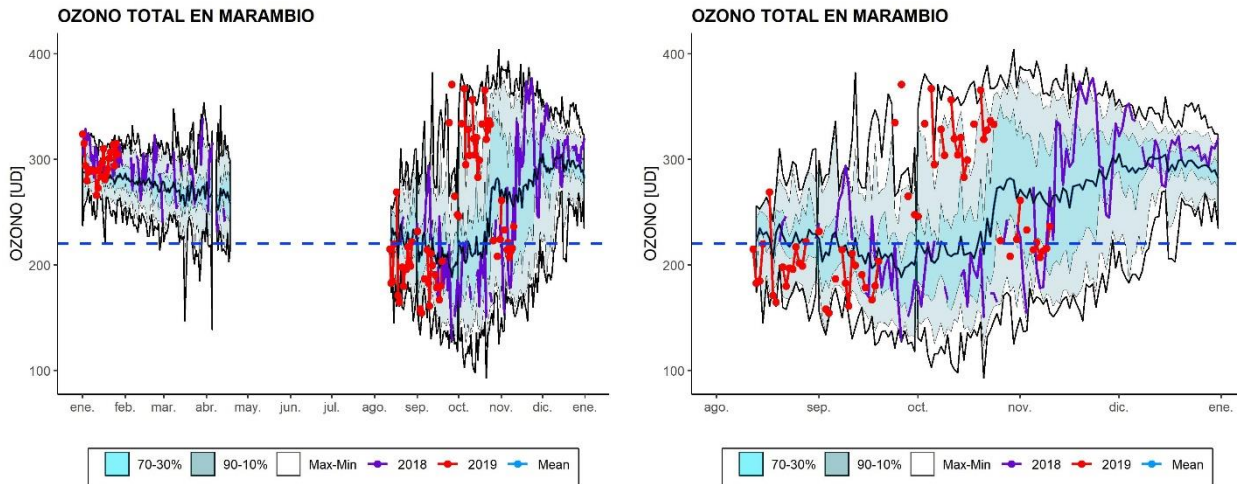


Figura 13.

Datos de la columna Total de Ozono (CTO) en Unidades Dobson [UD] medidos con el Espectrofotómetro Dobson en la estación antártica Marambio. La línea roja representa la CTO para el año 2019. La línea morada representa la CTO para el año 2018. La línea azul oscura es la media para el periodo 1986-2018. Arriba a la izquierda: serie de tiempo de la CTO a partir de enero. Arriba a la derecha: serie de tiempo de la CTO a partir del mes de julio. Abajo a la izquierda: promedios mensuales y septiembre hasta el día 12 de noviembre.

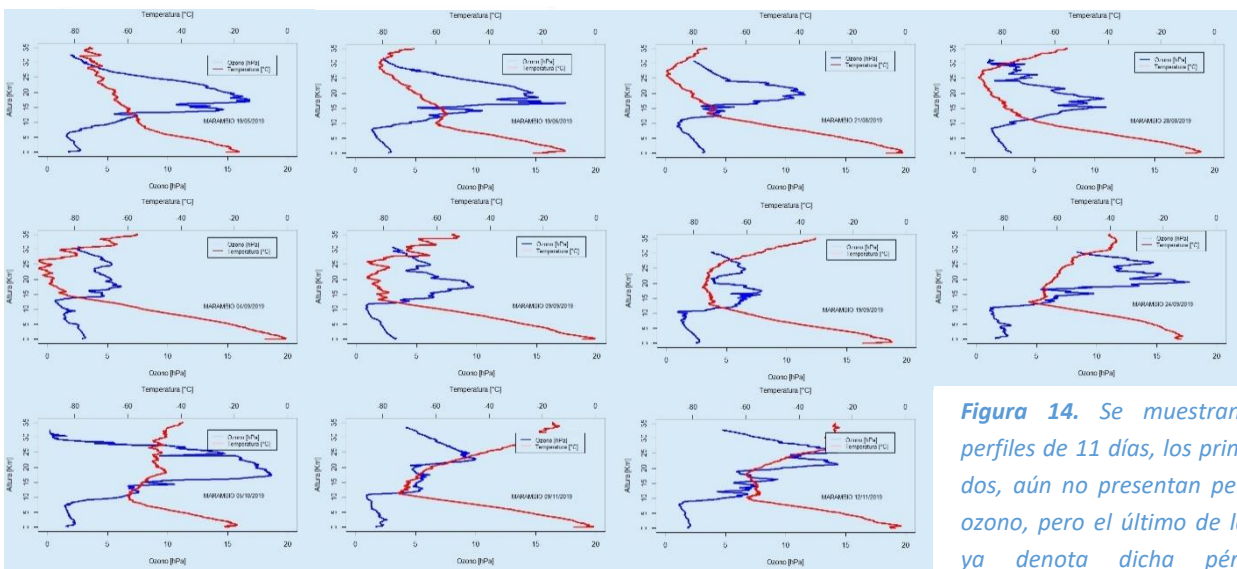
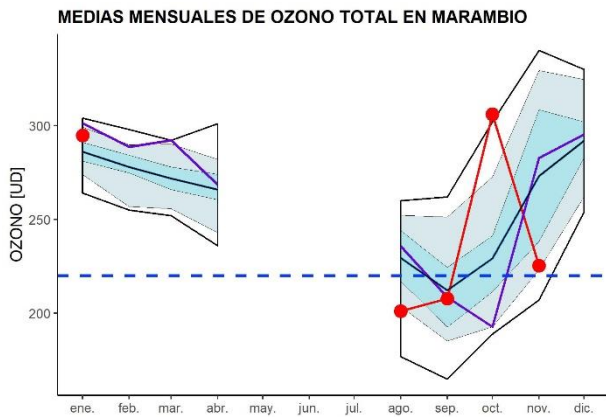


Figura 14. Se muestran los perfiles de 11 días, los primeros dos, aún no presentan pérdida ozono, pero el último de la fila ya denota dicha pérdida, mientras que el último ya indica una recuperación y cierre del agujero de ozono.

3.2.3 Estación Antártica SAN MARTÍN.



La estación Antártica San Martín se encuentra en la península Antártica y forma parte de la red de medición de ozono total de programa VAG de la OMM. El ozono total se mide con espectrofotómetro Brewer pero sus datos aún no están disponibles, hay un Espectrofotómetro Brewer en convenio entre el instituto Antártico Argentino (IAA) y el Instituto Italiano de Meteorología.

El espectrofotómetro Brewer mide todos los días, excepto durante el invierno polar (abril a agosto) o debido a situaciones complicadas que impidan la medición, como vientos fuertes, lluvia, etc. En la **Figura 15**, se muestra la evolución de la columna total de ozono para el año en curso, comparado con su media (2016-2018). Al tener registrado 3 años completos (2016 a 2018) y el año en curso, solo se presenta la media, máximos y mínimos, y lo que llevamos edl 2019.

En la **Figura 15** se observa que los últimos días de agosto y los primeros días de septiembre, los valores permanecen bajo el umbral de los 220 UD (menores a ese valor, agujero de ozono) por lo que es consistente con lo sucedido en Marambio. El agujero de ozono permaneció estacionario durante todos esos días y posteriormente, los últimos días de septiembre se presentan valores altos, que indican que agujero se movió y masas de aire rico en ozono circundan al agujero y a la península antártica. Durante el mes de octubre la tendencia fue a perder ozono progresivamente, hasta rebasar el umbral de los 220 UD. La última semana de octubre y la primera de noviembre, la recuperación fue lenta y se acelera durante la segunda semana de noviembre.

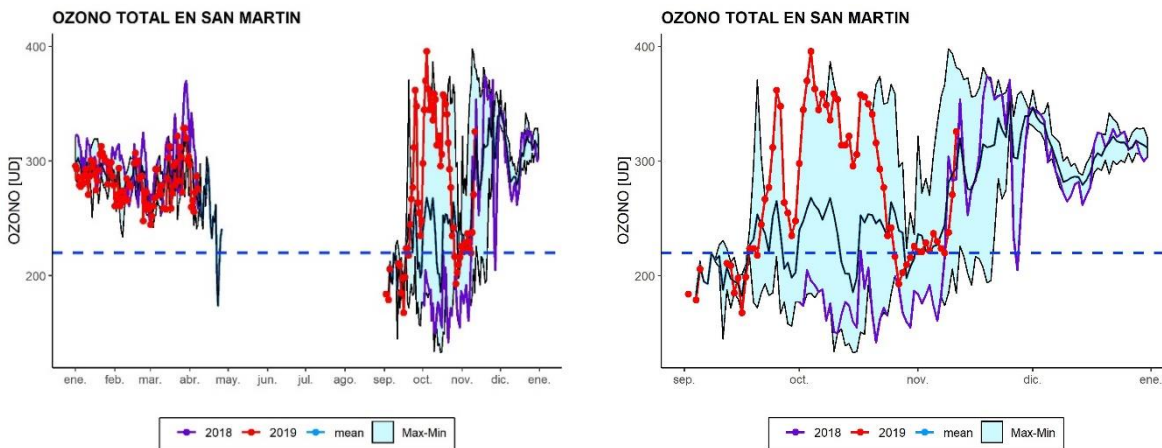


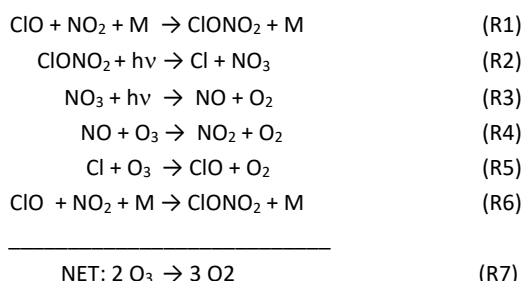
Figura 15. Datos de la columna Total de Ozono (CTO) en Unidades Dobson [UD] medidos con el Espectrofotómetro Brewer en la estación antártica de San Martín. La línea roja representa la CTO para el año 2019. La línea morada representa la CTO para el año 2018. La línea azul oscura es la media para el periodo 2016-2018. A la izquierda: serie de tiempo de la CTO a partir de enero. Arriba a la derecha serie de tiempo de la CTO a partir del mes de julio.

4. ACTIVACIÓN QUÍMICA DEL VÓRTICE

4.1 Resultados del Modelo.

La **Figura 16** muestra el comparativo de las cuatro especies químicas de 5 años (1915-2019) en el nivel de 50 hPa. Los gráficos han sido realizados a partir de la salida del modelo BASCOE en el Instituto Belga para la Aeronomía Espacial (BIRA-IASB). Este último está a cargo del monitoreo y evaluación de los productos de composición estratosférica suministrados por los proyectos MACC europeos. En este contexto, el sistema de asimilación BASCOE ha sido dispuesto para suministrar en tiempo casi-real, análisis y pronósticos del ozono, además de especies relacionadas con el mismo en la estratósfera. La versión usada en esta edición ha sido originalmente desarrollada dentro del marco del programa GSEPMOTE de la Agencia Espacial Europea. El sistema de datos BASCOE, asimila el conjunto de datos offline (nivel-2. V3.3) obtenidos del instrumento Aura-MLS. El conjunto de datos offline incluye varias especies: O₃, H₂O, HNO₃, HCl, ClO, (ClO)₂, HOCl y N₂O. La información acerca de los proyectos MACC del modelo BASCOE con referencias, se pueden encontrar en la dirección web: http://macc.aeronomie.be /4_NRT_products/3_Models_changelogs/BASCOE.php.

Las reacciones heterogéneas son procesos que involucran distintas fases como gases, sólidas y líquida, estas son extremadamente significativas en la estratosfera Antártica, debido que promueven la formación de compuestos clorados que se encuentran en reservorio en las NEP. La importancia de tales reacciones, es la liberación de cloro y son removidos por especies de nitrógeno (NO_x) que en su forma más estable está como ácido nítrico (HNO₃) A través de varios mecanismos de las reacciones, los NO_x atrapan cloro activo y lo transforman en reservorios Y posteriormente con la radiación UV, liberan cloro e inicia la destrucción del ozono, a través de ciclos catalíticos:



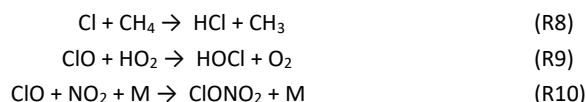
Donde la reacción R7 es el resultado final, donde dos moléculas de ozono, se destruyen para formar 3 moléculas de oxígeno con la intervención del ClO y liberación de Cl activo.

Se puede apreciar a partir de la **Figura 16** como el ácido nítrico (HNO₃) el día 8 de septiembre para los 5 años, que fue el día máximo del tamaño del Agujero de Ozono para el 2019. Se puede observar que para el año 2019 tiene un área menor que los años anteriores, es decir las NEP no se han desarrollado como los otros años, por lo tanto hay menos disponibilidad de sustancias destructoras de ozono.

El HNO₃ es removido gradualmente, comenzando desde el mes de mayo y junio (ver Boletín 2), cuando las temperaturas se asentaron y continuando hasta junio y julio. La remoción del HNO₃ se encuentra esencialmente completa el 1 de agosto, pero esa remoción se ve disminuida para el día 1 de octubre, debido a que se concentra en un área más pequeña, que se va diluyendo con el paso de los días (Ver Boletín 4). La remoción temprana de HNO₃ gaseoso es una indicación

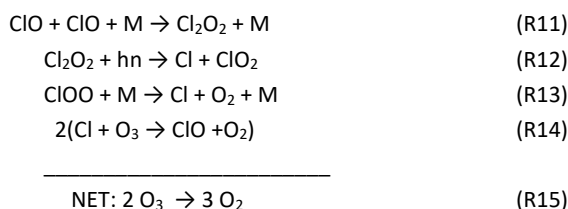
de que este compuesto se condensa en la forma de nubes estratosféricas polares (ácido nítrico, trihidratado, $\text{HNO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$).

El ácido clorhídrico (HCl) es otra sustancia que tiene la capacidad de atrapar al cloro activo en un reservorio, conjuntamente con el NOx y el Metano (CH_4) durante el invierno polar:



En la segunda fila de la **Figura 16** (de arriba hacia abajo) representa al ácido clorhídrico (HCl) que es muy similar a los otros años. Hasta ese momento, viene un comportamiento muy similar que después termina activando menos cloro para la destrucción de ozono, debido a la poca formación de NEP. Para ir viendo su evolución, ver los boletines anteriores.

Un buen indicador de la activación del vórtice, es la cantidad de óxido de cloro (ClO). Sin embargo, se debe observar que el ClO se dimeriza y forma ($2\text{Cl}_2\text{O}_2$). El dímero reacciona fácilmente en la presencia de luz solar. El ClO estará presente en las partes del vórtice iluminadas por el sol, mientras que las áreas oscuras serán llenadas con ($2\text{Cl}_2\text{O}_2$), el cual no es observado por el Aura-MLS, pero es calculado por el modelo BASCOE. Observando la suma del monómero y dímero ($\text{ClO} + 2\text{Cl}_2\text{O}_2$) se puede obtener una mejor impresión del grado de activación del cloro:



En la reacción R15, nuevamente se observa que dos moléculas de ozono se transforman en 3 moléculas de oxígeno, a partir del ciclo de reacciones catalíticas.

Esto se muestra en la tercera fila de la **Figura 16**, donde se observa un área total, muy similar a los años anteriores pero, con una cantidad de ClO muy similar a todos los años para la activación del cloro.

Para la actual temporada, los primeros signos de activación son ya visibles el desde el 1 de junio. El grado máximo de activación tiene lugar durante del mes de agosto y septiembre, pero se observa una casi finalización para el primero de octubre (Ver Boletines anteriores).

En la última fila de la **Figura 16** se muestra la columna total de ozono para el día 8 de septiembre de los últimos 5 años, donde para el 2019, se observa un área no muy definida, al igual que los años anteriores, la diferencia es que este día ha sido el área máxima para este año, mientras que para los otros años, este día, aún es de crecimiento y formación.

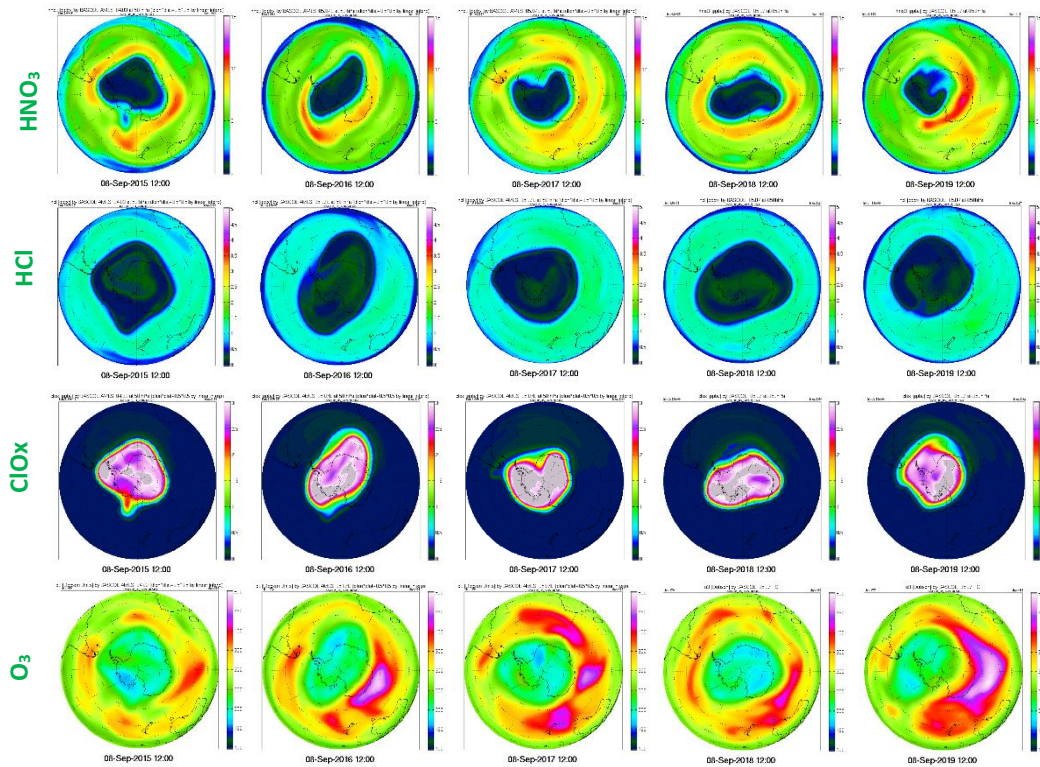


Figura 16. Resultados del modelo de asimilación BASCOE a 50 hPa. Este modelo se usa como parte del proyecto macc-II, ahora el NRT Análisis de ozono y especies relacionadas con el ozono (http://macc.aeronomie.be/4_NRT_products/5_Browse_plots/1_Snapshot_maps/index.php?src=BASCOE&spc=o3&l=at-050hPa). La primera fila (arriba) muestra la relación de mezcla del ácido nítrico (HNO_3). La segunda fila muestra la relación de mezcla para el ácido clorhídrico (HCl). La tercera fila, muestra la relación de mezcla para el óxido de cloro y su dímero ($\text{ClO}_x = \text{ClO} + 2\text{Cl}_2\text{O}_2$). La última fila (abajo) muestra la relación de mezcla del ozono.

5. El Agujero de ozono

5.1 El área del agujero de ozono

En la **Figura 17a y 17b** se muestra el área de la región en la que el ozono total es menor a las 220 UD (Agujero de Ozono) tal como es deducida por el instrumento GOME-2 a bordo del Metop (y SCIAMACHY en el Envisat en el pasado). Un gráfico similar basado en datos del instrumento OMI.

En dichas figuras, se muestra el inicio y crecimiento del agujero de ozono, que a inicios fue muy similar al del año pasado, pero después de la segunda semana de agosto se ha acercado a la curva que representa la media (1997 – 2018). Esto significa que el agujero tiene una aparición temprana, pero las proyecciones, hasta ese momento, mostraban que su desarrollo se hacía más paulatino y no se desarrolló como en otros años.

El día 8 de septiembre, el agujero de ozono, alcanza tamaño máximo, con apenas 16,36 millones de Km², mientras que la media para ese día es de 19,55 millones de Km², pero posteriormente hay una reducción del tamaño y se espera que se reduzca aún menos que el mínimo histórico. Hasta mediados de octubre, se mantiene fluctuando entre los mínimos históricos del periodo 1979 -2018. Pero en la **Figura 17b**, las proyecciones muestran una disminución del tamaño y es muy probable que para este año, el agujero de ozono, se cierre antes de lo normal.

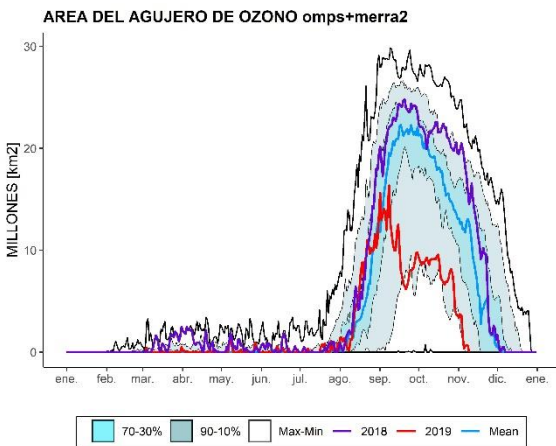


Figura 17a. Área (millones de km²) donde la columna total de ozono es menos de 220 unidades Dobson. El año 2019 es mostrado en rojo (hasta el 12 de noviembre). El año 2018 se muestra en morado. La línea azul fuerte es el promedio de 1979-2018. El área sombreada azul agua representa los percentiles 30 a 70 y el área sombreada en azul transparente representa los percentiles 10 a 90. El área de agujero de ozono el 8 de septiembre es 16.36 millones de km². El gráfico está hecho en la SMN basado en datos descargados del sitio web de Vigilancia del ozono de la NASA, los cuales están basados en datos de NOAA/NCEP.

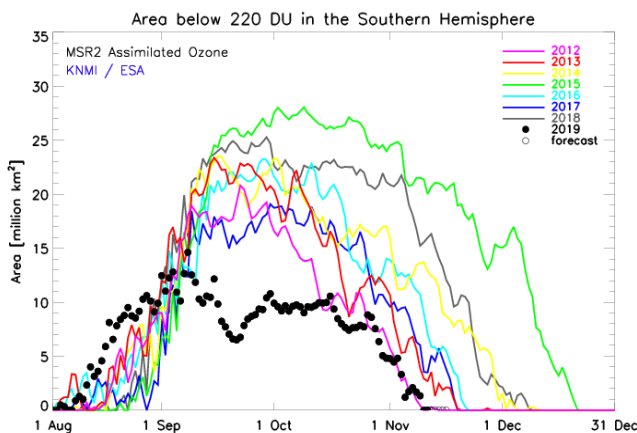


Figura 17b. El área de agujero de ozono para desde los años 1997 a 2018. El área de agujero de ozono es el área de la región donde el ozono total está por debajo de las 220 UD. Los datos son provistos por KNMI y están basados en los datos de los satélites GOME-2 y SCIAMACHY.

Si hacemos un comparativo de todos los años de las áreas de Agujero de Ozono desde el año 1979 (**Figura 18 izquierda**), notamos que las áreas por debajo del año 2019, han sido solo 8 años, mientras que en 31 años, las áreas del agujero de ozono han sido superiores (excepto 1995). En este sentido, podemos concluir que el área máxima del agujero de ozono para este año, ha sido el 9° menor de los 39 años de monitoreo. Las áreas con mayor extensión de agujeros de ozono, se observan en los años 1998, 2000 (el mayor de todos), 2003, 2006 y 2015. Si consideramos una media de todas las áreas de agujeros de ozono 21.35 millones de Km², por lo cual en Agujero de Ozono de este año es inferior en 4.95 millones de Km² (76.8% comparado con la media). En la **Figura 18 derecha**, se presentan los valores mínimos diarios de ozono, para cada año, presentándose el valor menor, el día 30 de septiembre de 1994 con 73 UD. El día 2 de septiembre se presenta el valor más bajo de temporada para este año, apenas con 142 UD.

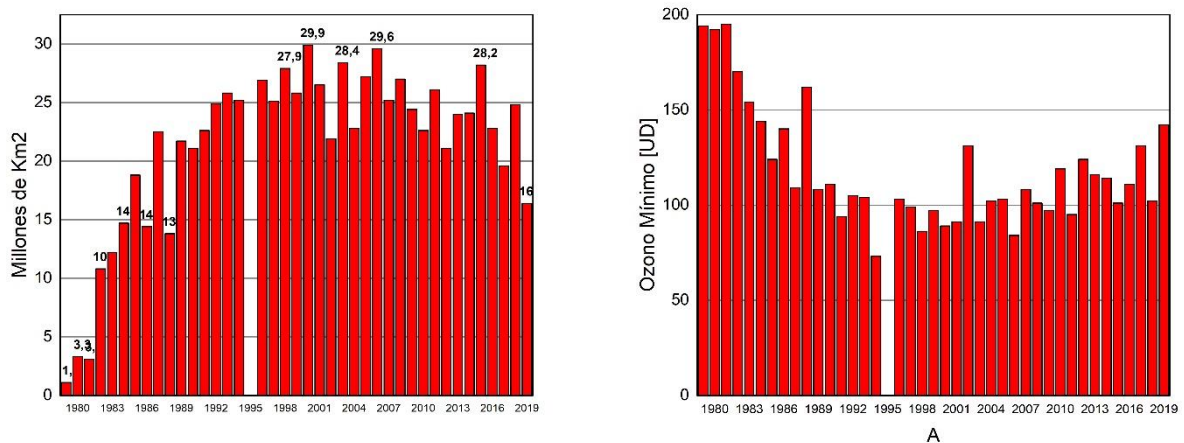


Figura 18. Izquierda; records anuales del área máxima de agujero de ozono año con año desde 1999 a 2019 (Millones de Km²). Derecha; records anuales de los valores mínimos ozono por temporada 1999 a 2019.

Ahora, si tomamos el intervalo de tiempo en el que se presentan los valores máximos de las áreas del agujero de ozono en toda la serie (7 de septiembre al 13 de octubre) y tomamos la media, observamos que la media para el año 2019 ha sido de 9.3 millones de Km² por lo cual es el 6° agujero de ozono más chico y solo 5 años han estado por debajo, 1979, 1980, 1981, 1982 y 1983. La media de toda la serie es de 18.9 millones de Km², por lo tanto el agujero de ozono de este año ha sido casi menor al 50% respecto a la media (**Figura 19 izquierda**).

En la **Figura 19** derecha, se presentan los valores medio de los mínimos de ozono, para el intervalo de tiempo del 21 de septiembre al 16 de octubre, que son los días donde se han presentado los valores menores mínimos de ozono. Para el año 1994 se tiene el valor más pequeño con 92.3 UD, mientras que para el año 2019 tenemos un valor promedio de 167 UD.

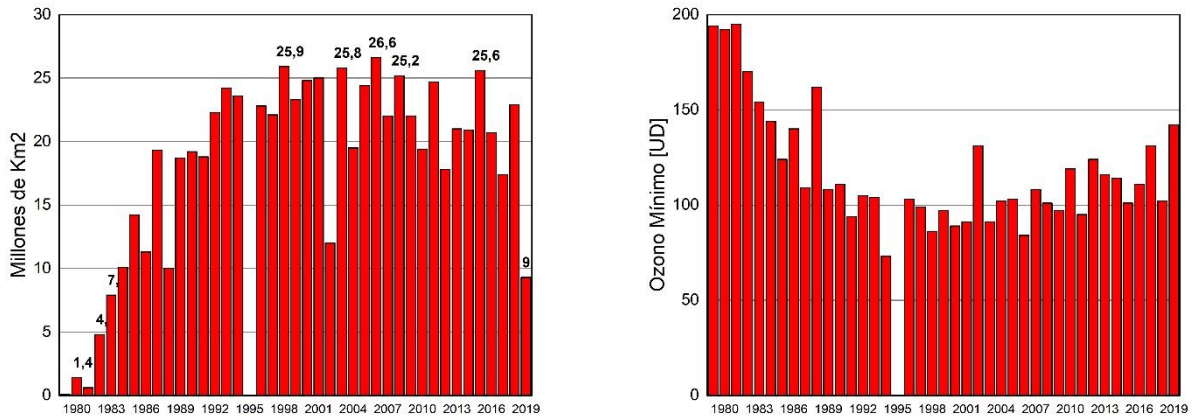


Figura 19. Izquierda; media del área para los agujero de ozono (Millones de Km²) en el intervalo de 7 de septiembre al 13 de octubre desde 1999 al 2019. Derecha; media para los valores mínimos ozono en el intervalo de tiempo del 21 de septiembre al 16 de octubre desde 1999 al 2019.

5.2 Déficit de masa de ozono.

El déficit de la masa de ozono se define como la cantidad de ozono medida en megatonnes que debe ser agregada al agujero, de tal manera que el ozono total llegue a 220 UD en aquellas regiones en las que se encuentra por debajo de este umbral. La **Figura 20a y 20b** se muestra el déficit de la masa de ozono, tal como es deducido del GOME-2 Y OMI, respectivamente. El desarrollo de este parámetro, al inicio está muy separado a la derecha a la curva de la media (1979-2018) lo que significa un déficit temprano que otros años, pero después se observa una recuperación parecida al del año pasado y a la media. Posteriormente, no hay tanta destrucción debido a la poca formación de las NAT, por lo tanto muy poca pérdida de ozono. A la fecha de hoy (mediados de octubre) se observa que el déficit ha sido casi constante y de muy poca pérdida de ozono. En la **Figura 20b** se observa que el déficit tiene a disminuir, concordante con el cierre del agujero de ozono.

Los datos del KNMI y de la NASA son muy parecidos y en ambos casos se muestra una tendencia a ir acercándose a los otros años, y a la media (1979 - 2018)

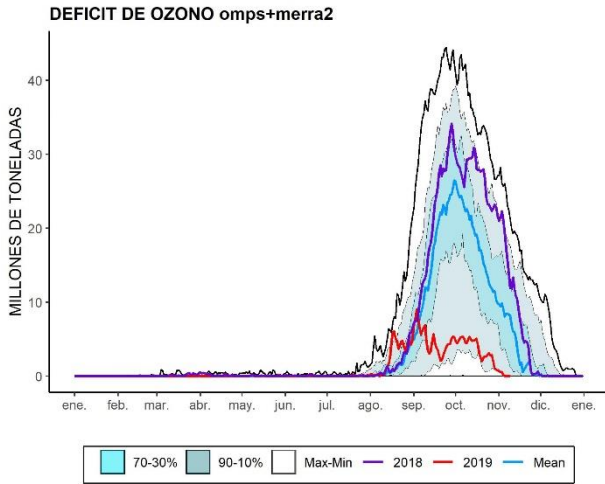


Figura 20a. Déficit de masa de ozono para 2019 (curva roja). La línea color morado, representa el año 2018. La línea azul fuerte es la media del periodo 1979-2018. Las líneas sombreadas en azul es el percentil de 30% y 70%, mientras que las líneas sombreadas con azul claro y transparente es el percentil de 10% y 90%. Finalmente, las líneas externas en negro son los máximos y mínimos históricos del periodo 1979 – 2018. Este gráfico es producido por el SMN basado en datos descargados del sitio web de Vigilancia del ozono de la NASA, los cuales están basados en datos

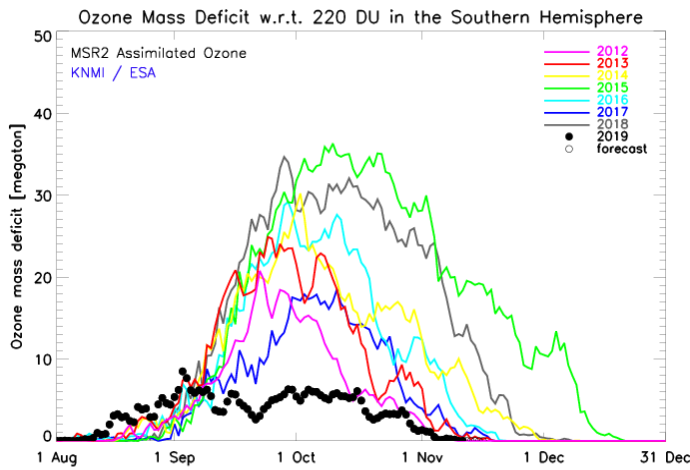


Figura 20b. Déficit de masa de ozono para 2019 (curva y puntos negros (pronóstico de 5 días). Algunos otros años seleccionados con una baja sustancial de ozono se muestran para ser comparados. Los círculos abiertos representan el pronóstico para los siguientes cinco días. La línea gris gruesa es la media de 1979-2018. Este gráfico es producido por la OMM y está basado en datos del sitio web del TEMIS del KNMI.

6. RADIACIÓN UV.

Uno de los mayores impactos de la formación del agujero de ozono es la filtración de la radiación UV. Para este año, al haber mayores concentraciones de ozono, absorben mayor radiación UV y sea poco lo que alcanza la superficie, tanto dentro como a fuera del Agujero de ozono, de tal manera que los valores del Índice UV (IUV), han estado oscilando entre 1, 2; bajo y en algunos casos 3; moderado.

7. CONCLUSION

La actividad de destrucción y a la vez formación del agujero de ozono, ha iniciado tempranamente, debido a un vórtice fortalecido y una estratosfera fría, que favorece la formación de la NEP I y II y con la primera luz del sol empiezan a liberar las especies cloradas para la destrucción de ozono.

La actividad de las ondas atmosféricas, se han mostrado intensa, de tal manera que favorece el calentamiento de la estratosfera y se da un fenómeno poco usual en latitudes Antárticas, que es un “calentamiento súbito de la estratosfera”, común en el hemisferio norte, debido a la gran cantidad de masa continental. En el año 2002, se presentó una situación similar y como resultado fue un agujero de ozono muy pequeño y deformado.

En base a la situación anterior, se observa la temperatura en la estratosfera continua en aumento y consecuentemente, no hay más NEP, es decir, poca y nada de liberación de sustancias destructoras de la capa de ozono. De tal manera que el tamaño del agujero de ozono es mucho menor que el de otros años.

Las estaciones de medición con ozonosondas, muestran una destrucción de ozono, pero no muestran dicha destrucciones como en años anteriores, mientras que los perfiles de temperatura muestran un calentamiento en la estratosfera y a esas temperaturas es muy poco favorable para la formación de las NEP, por lo tanto la destrucción de ozono sería a través de sustancias residuales y esto puede traer como consecuencia, un cierre temprano del agujero de ozono, siendo proyectado como el más pequeño desde el año 1988.

En la medición con los espectrofotómetros Dobson y Brewer en la Antártida, muestran en que un periodo de tiempo, que el agujero de ozono ha sido estacionario y consecuentemente con una alta variabilidad, con valores por debajo del umbral de los 220 UD a mediados de septiembre y altos valores en estas dos primeras semanas de octubre, después las dos semanas siguientes, caen los valores por debajo de los 220 UD e inician nuevamente su recuperación a inicios de Noviembre.

A inicios del mes de noviembre, la temperatura estratosférica, el transporte de calor hacia la estratosfera y muy pocas sustancias destructoras de ozono, ya están dentro de lo normal, pero al haber poca destrucción de ozono, se muestran que el agujero se empieza a cerrar y al 13 de noviembre ya se ha cerrado el Agujero de Ozono.

El tamaño y cierre del agujero de ozono para este año, no es un indicativo de las tendencias a disminuir su tamaño, debido al cumplimiento del Protocolo de Montreal, sino se debe a un calentamiento atípico de la estratosfera, debido al transporte de calor, desde la troposfera hacia la estratosfera, a través de ondas atmosféricas, poco común en el Hemisferio Sur.

Se requiere y recomienda, hacer estudios del impacto en el Modo Anular del Sur (SAM) debido a que su fase positiva y negativa, son determinantes para la frecuencia de frentes fríos en latitudes medias o bajas en Sudamérica.

8. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Oficina de Asimilación y Modelo Global (GMAO) de la NASA (MERRA).

Se agradece al Centro Europeo para Pronósticos del Tiempo de Medio Alcance (ECMWF), Instituto Noruego para Investigación del Aire (NILU) y a la Agencia Espacial Europea (ESA).

Se agradece a Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAM5).

Se agradece a Centro Climático de TOKIO, considerado Centro regional de Clima (R11, Asia).

Se agradece al instituto Antártico Argentino (IAA) dependencia de la Dirección Antártica Argentina (DNA), especialmente al Ing. Héctor Ochoa por la gentileza y aporte de datos de la Estación Antártica san Martín.

Se agradece al Instituto Finlandés de Meteorología, por el soporte de las ozonosondas en la Estación Antártica Marambio (Convenio con el SMN).

Se agradece al Prof. Juan Daniel Agüero y Osvaldo Blanco, por el aporte y control de los datos históricos de la Estación Antártica Marambio.

Se agradece al personal de la Estación VAG-Ushuaia por su dedicación a hacer de manera excelente, las actividades (Ing. Lino Fabián Condori, Emiliano Petrucci y Gonzalo gambarte)

Se agradece al Servicio Meteorológico Nacional, Argentina.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Geir Braathen, “Boletín de Ozono Antártico”, Editado por la WMO.
- Newman (NASA), E. Nash (SSAI), R. McPeters (NASA), S. Pawson (NASA) National Aeronautics and Space Administration - Goddard Space Flight Center - NASA Ozone Watch.
- Veefkind, J.P., J.F. de Haan, E.J. Brinksma, M. Kroon and P.F. Levelt, Total Ozone from the Ozone Monitoring Instrument (OMI) Using the DOAS technique, IEEE Trans. Geo. Rem. Sens., 2006, Vol. 44, No. 5, 1239-1244, doi:10.1109/TGRS.2006.871204.
- H. J. Eskes, R. J. van der A, E. J. Brinksma, J. P. Veefkind, J. F. de Haan, and P. J. M. Valks, Retrieval and validation of ozone columns derived from measurements of SCIAMACHY on Envisat, Atmos. Chem. Phys. Discuss, 5, 4429-4475, 2005.
- Valks, P.J.M., J.F. de Haan, J.P. Veefkind, R.F. van Oss and D.S. Balis, TOGOMI: An improved total ozone retrieval algorithm for GOME, XX Quadrennial Ozone Symposium, 1/6/2004-8/6/2004, C.S. Zerefos (Ed), 2004, Athens, University of Athens, 129-130.
- E. Botek, S. Chabrilat, Y. Christophe (BIRA-IASB) “Report on 2014 Antarctic ozone hole studies” MACC-III project (Monitoring Atmospheric Composition and Climate - III) 2014.
- Scientific Assessment of Ozone Depletion 2018 – Executive Summary – WMO UNO environment, NOAA, NASA, European Commission.
- Manuel Gil Ojeda “El ozono estratosférico” Tethys, 3, 47–58, 2006. DOI:10.3369/tethys.2006.3.06