



Servicio  
Meteorológico  
Nacional

## BOLETIN 5 - TEMPORADA DEL AGUJERO DE OZONO 2020

*Gerardo Carbajal Benítez<sup>1</sup>, Facundo Orte<sup>2</sup>, Elian Wolfram<sup>1,2</sup>,  
Eduardo Luccini<sup>3,4</sup>, María Elena Barlasina<sup>1</sup> y Héctor Ochoa<sup>5,6</sup>.*

1. Servicio Meteorológico Nacional.
2. CEILAP, UNIDEF (CITEDEF-CONICET),
3. CONICET - Centro de Excelencia en Productos y Procesos de Córdoba, Argentina.
4. Facultad de Química e Ingeniería del Rosario, Pontificia Universidad Católica Argentina.
5. Dirección Nacional del Antártico / Instituto Antártico Argentino.
6. Universidad Tecnológica Nacional FRBA

Diciembre, 2020



Ministerio de Defensa  
Presidencia de la Nación

### *Información sobre Copyright*

*Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.*

*La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.*

## INDICE

RESUMEN	4
ANTECEDENTES	5
1. Introducción.	6
2. CONDICIONES METEOROLOGICAS PREVALECIENTES	7
2.1 Temperaturas.	7
2.2 Área y volumen del NEP	9
2.3 Estabilidad del vórtice.	11
3. OBSERVACIONES DE OZONO	13
3.1 Observaciones Satelitales.	13
3.2 Estaciones en superficie.	15
3.2.1 Estación VAG USHUAIA.	15
3.2.2 Estación Antártica MARAMBIO.	17
3.2.3 Estación Antártica San Martin	19
3.2.4 Estación Antártica Belgrano II	21
4. ACTIVACION QUIMICA DEL VÓRTICE	23
4.1 Resultados de Modelo.	23
5. EL AGUJERO DE OZONO	24
5.1 El área del agujero de ozono.	24
5.2 Déficit de masa de ozono.	26
6. RADIACIÓN UV	27
7. CONCLUSIONES	29
8. AGRADECIMIENTOS	30
9. BIBLIOGRAFÍA	31

## RESUMEN.

El presente Boletín 5 del Agujero de Ozono, tiene por objetivo, establecer la evolución del Agujero de Ozono sobre la Antártida 2020. La temperatura de la estratosfera mínima media y zonal, se encuentran por debajo de los valores mínimos históricos del periodo 1979 al 2019, estableciendo récord histórico y las proyecciones muestran que poco a poco, la temperatura toma sus valores normales, hasta el 9 de diciembre. Las Nubes Estratosféricas Polares estarán presentes, pero ya no se producen, en este año su área y volumen de las NEP, superan los valores máximos histórico (Establecen récord), recordando que estas nubes, liberan principalmente cloro, que destruye al ozono. El flujo de calor, a través del movimiento de ondas atmosféricas, fue muy pobre, es decir, se presenta con muy poca actividad, de tal manera que el transporte de calor desde la troposfera a la estratosfera, es muy pequeña. El vórtice polar se debilita y poco a poco se diluirá conforme pase el tiempo. El área Agujero de Ozono, promediado del 7 de septiembre al 13 de octubre (23,5 millones de Km<sup>2</sup>), ha sido el 12º más grande de la historia. Su tamaño actual es de 19.3 millones de Km<sup>2</sup>, y ya supera los agujeros de ozono históricos, imponiendo otro récord, del periodo 1979 a 2019. A modo de comparación, actualmente el área del agujero de ozono casi podría abarcar Canadá y EEUU.

En cuanto a la radiación UV en la Antártida y Tierra del Fuego, lo más importante son los valores IUV = 14 que se presentan los días 1 y 2 de diciembre, pero es modulado por la nubosidad de la ciudad.

**Palabras Claves:** Ozono, Estratosfera, Antártida, Destrucción, Química y Meteorología-

## ABSTRACT.

The objective of this Bulletin 5th of the Ozone Hole is to establish the evolution of the Ozone Hole over Antarctica 2020. The average and zonal minimum stratosphere temperature is below the historical minimum values for the period 1979 to 2019, establishing a historical record and the projections show that little by little, the temperature takes its normal values, until December, 9. The Polar Stratospheric Clouds will be present, but they are no longer produced, in this year their area and volume of the NEP, exceed the historical maximum values (They establish a record), remembering that these clouds mainly release chlorine, which destroys ozone. The flow of heat, through the movement of atmospheric waves, was very poor, that is, it occurs with very little activity, in such a way that the transport of heat from the troposphere to the stratosphere is very small. The polar vortex weakens and will gradually dilute as time passes. The Ozone Hole area, averaged from September 7 to October 13 (23.5 million km<sup>2</sup>), has been the 12th largest in history. Its current size is 19.3 million km<sup>2</sup>, and it already exceeds historic ozone holes, setting another record, from 1979 to 2019. By way of comparison, currently the area of the ozone hole could almost encompass Canada, and the USA.

Regarding UV radiation in Antarctica and Tierra del Fuego, the most important are the IUV = 14 values that are presented on December 1 and 2, but it is modulated by the cloudiness of the Ushuaia city.

**Key Words:** Ozone, Stratosphere, Antarctica, Destruction, Chemistry y Meteorology

## ANTECEDENTES.

La estratósfera sobre la región Antártica sufre el deterioro de la capa de ozono año tras año, 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 ( $\text{Cl}_2$ ) y bromo ( $\text{Br}_2$ ), modulado por factores meteorológicos que permiten la estabilidad y fortalecimiento, inclusive debilitamiento 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 Atmospheric Watch (GAW) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Se espera que los agujeros de ozono antárticos sean recurrentes año tras año, mientras la estratosfera contenga excesos de sustancias destructoras de ozono (en inglés, Ozone Depleting Compounds (ODC'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 ODC'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 ODC's ( $\text{Cl}_2$  y  $\text{Br}_2$ ). Fuera de las regiones polares, el ozono en la estratósfera superior aumentó entre 1 y 3%, desde el año 2000 al 2018. 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) también regrese a valores de 1980. 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 muestran que el aumento de las concentraciones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y metano ( $\text{CH}_4$ ) considerados los principales gases de efecto Invernadero (GEI's) durante este siglo, hará que los niveles globales de ozono estratosférico aumenten, más allá del nivel de formación natural de ozono, durante 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 troposfera baja (calentamiento global), por lo que poca radiación alcanza la estratosfera 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 ( $\text{N}_2\text{O}$ ), otro GEI, será el principal contaminante del ozono estratosférico.

En el año 2019, el agujero de ozono en la Antártida, se presentó como uno de los más pequeños que se tienen registrado, debido a un calentamiento súbito de la estratosfera, provocado por un gran movimiento de ondas atmosféricas, originadas desde la troposfera hacia la estratosfera polar. Se considera que el agujero de ozono del año 2019 ha sido el 9° menor de los 40 años de monitoreo (1979 a 2019). Pero si tomamos el intervalo de tiempo entre el 7 de septiembre al 13 de octubre y promediamos, encontramos que la extensión fue 9.3 millones de  $\text{Km}^2$  por lo cual es el 6° agujero de ozono más chico, después del año 1979, 1980, 1981, 1982 y 1983

## 1. INTRODUCCIÓN

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

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  $-78^{\circ}\text{C}$  ( $194.6^{\circ}\text{K}$ ), empiezan a formarse nubes en la estratósfera, que consisten en una mezcla de agua y ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ). Estas últimas son llamadas NEPs del tipo I. Donde, en la superficie de partículas de la nube, tienen lugar reacciones químicas que transforman compuestos halógenos pasivos e inoocuos (por ej.  $\text{HCl}$  y  $\text{HBr}$ ) en las denominadas especies activas de cloro y bromo (por ej.  $\text{ClO}$  y  $\text{BrO}$ ). 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  $\text{ClO}$  puede destruir miles de moléculas de ozono antes de ser inhibidas, mediante la reacción con dióxido de nitrógeno. ( $\text{NO}_2$ ).

Cuando las temperaturas disminuyen abruptamente por debajo de los  $-85^{\circ}\text{C}$  ( $187.8^{\circ}\text{K}$ ), se formarán nubes que consisten en hielo de agua pura. Estas últimas son denominadas NEPs del 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 ( $\text{HNO}_3$ ). El ácido nítrico es considerado un reservorio que libera  $\text{NO}_2$  bajo condiciones de iluminación solar. Si el  $\text{NO}_2$  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 el NEP 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 (PSC).

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.

### 2.1. Temperaturas.

Las temperaturas estratosféricas sobre la Antártida para este año (2020) en la actualidad se mantienen por debajo del umbral de temperatura, necesaria para la formación de las Nubes Estratosféricas Polares (NEP). Las NEP tipo I han iniciado su formación por debajo de  $194.6\text{ K}$  desde el 12 de mayo, mientras que la NEP Tipo II se

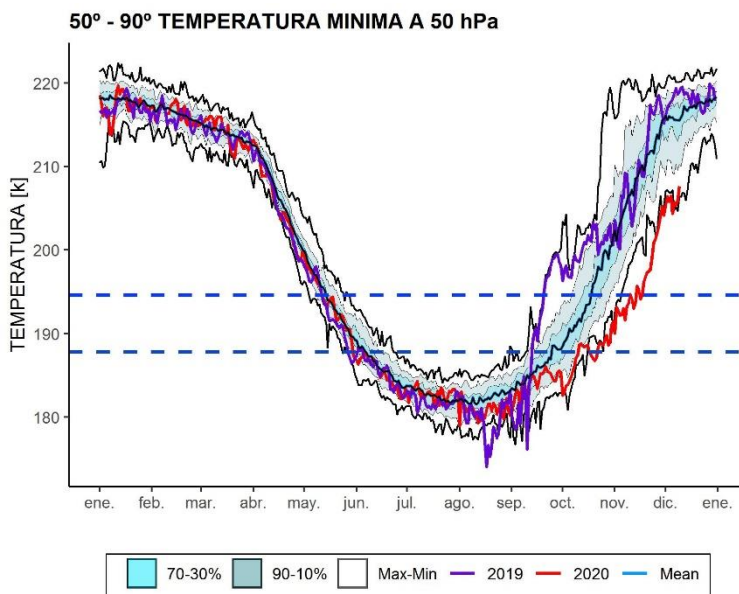
empiezan a formar por debajo del umbral de 187.8 K, desde el 27 de mayo del presente.

En la **Figura 1**, se muestra que, desde el primer semestre del año, las temperaturas diarias mínimas, en la altura de 50 hPa, han estado cercanas y oscilando alrededor de la media correspondiente al período 1979 a 2019. A partir del 12 de agosto, se nota un enfriamiento sostenido, que persiste hasta el 29 de noviembre. Este enfriamiento estratosférico ha rebasado la línea de temperatura mínima absoluta del periodo 1979 a 2019. Con este evento de enfriamiento se ha establecido un récord histórico, de tal manera que se continuó produciendo la NEP, como más adelante se mostrará.

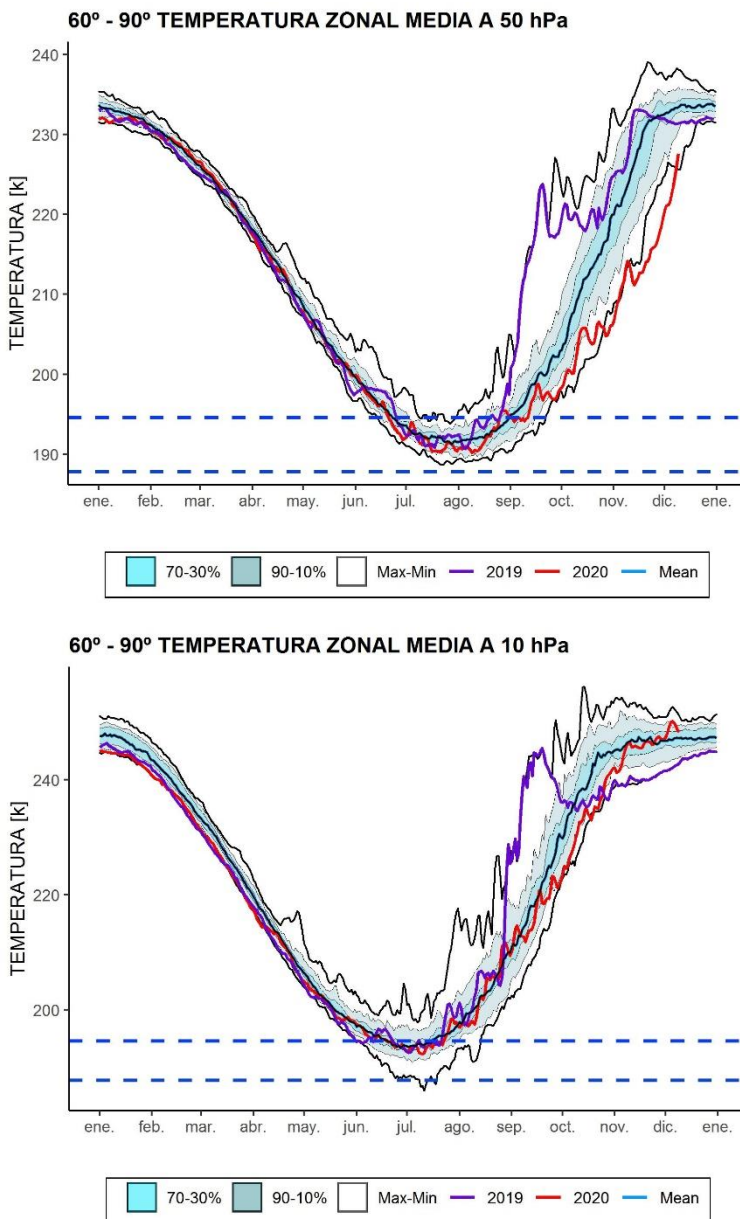
En la **Figura 2** se muestran la temperatura zonal media, a nivel de 50 hPa y entre la región de 60° a 90° S, donde el primer semestre y hasta el mes de septiembre, la línea de temperatura del 2020, ha estado oscilando alrededor de la media del periodo 1979 a 2019. A inicios del mes de octubre, se observa un enfriamiento sostenido que perdura hasta el 29 de noviembre. La segunda quincena de octubre, la línea de temperatura del 2020, rebasa los valores de temperatura de los mínimos históricos, para imponer un récord, pero se espera, según las proyecciones que, para la primera semana de diciembre, alcanzará a estar dentro de los valores históricos.

Al mismo tiempo en la **Figura 3**, a nivel de 10 hPa, la Temperatura Media Zonal y entre la región de 60° a 90° S, la temperatura en la estratosfera, durante el primer semestre y hasta la primera semana del mes octubre, ha estado oscilando alrededor de la media del periodo correspondiente de 1979 a 2019. A partir de la segunda semana de octubre, se observa un enfriamiento sostenido hasta el 29 de noviembre, donde la línea de temperatura del 2020, por momentos toca, pero no rebasa los valores mínimos históricos.

Finalmente se concluye de esta parte del análisis que la estratosfera está más fría que lo normal e incluso rompe récord comparada con las mínimas históricas del periodo 1979 a 2019. Por lo tanto, la estratosfera continúa fría.



**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 2020 hasta el 29 de noviembre y proyectado al 9 de diciembre. La línea morada representa al año 2019, la línea azul fuerte la media de 1979 a 2019. Las líneas externas negras, son los máximos y mínimos durante el periodo 1979 – 2019. Las líneas sombreadas en azul de adentro hacia afuera, son los percentiles de 70 – 30% y de 10 – 90%. Las líneas rectas punteada representan las nubes NEP tipo I 194,6 K (arriba) y NEP tipo II 187,8 (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 2020 hasta el 29 de noviembre y proyectado al 9 de diciembre. La línea morada representa al año 2019, la línea azul fuerte la media de 1979 a 2019. Las líneas externas negras, son los máximos y mínimos durante el periodo 1979 – 2019. Las líneas sombreadas en azul de adentro hacia afuera, son los percentiles de 70 – 30% y de 10 – 90%. Las líneas rectas punteada representan las nubes NEP tipo I (arriba) y NEP tipo II (abajo).

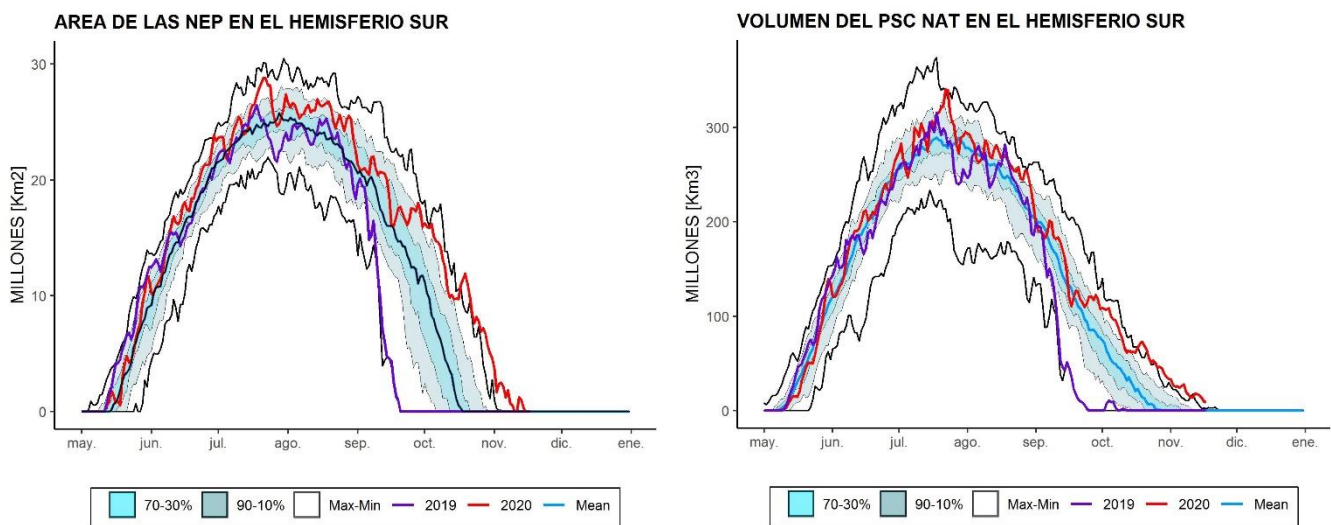
**Figura 3.** Temperatura zonal media a 10hPa, sobre la región de 60° a 90° S. La línea color roja, representa la evolución de la temperatura zonal media para el año 2020 hasta el 29 de noviembre y proyectado al 9 de diciembre. La línea morada representa al año 2019, la línea azul fuerte la media de 1979 a 2019. Las líneas externas negras, son los máximos y mínimos durante el periodo 1979 – 2019. Las líneas sombreadas en azul de adentro hacia afuera, son los percentiles de 70 – 30% y de 10 – 90%. Las líneas rectas punteada representan las nubes NEP tipo I (arriba) y NEP tipo II (abajo).

## 2.2 Área y Volumen del NEP

Desde la aparición de las NEP aproximadamente el 12 de mayo, la NEP se incrementa inicialmente y oscila sobre el valor medio del periodo 1979 a 2019. Posteriormente, debido al enfriamiento en la estratosfera, aumenta el tamaño de las NEP a partir del 15 de julio. Este aumento alcanza un máximo de 28,8 millones de Km<sup>2</sup> el 28 de julio y posteriormente desciende, pero su tamaño es superior a los valores medios. A finales de agosto, las NEP alcanzan su valor medio, pero con el enfriamiento continuo de la estratosfera se incrementa la formación de NEP y el día 11 de octubre el área se acerca al valor máximo histórico. Hasta inicios del mes de noviembre, con las temperaturas muy bajas, aún se continuaba produciendo NEP tipo I. Se observa que, hasta el 17 de noviembre, las NEP tipo I, pese a que descienden en tamaño, siguen por arriba de sus valores máximos históricos, imponiendo un récord de formación y persistencia.



El volumen NEP se incrementa a partir del 12 de mayo y oscila alrededor de la media del periodo 1979 a 2019, hasta el mes de julio. El 22 de julio alcanza su valor máximo con 340.00 millones de Km<sup>3</sup>, después los valores han oscilado alrededor de la media del periodo 1979 a 2019. Con el incremento de la temperatura estratosférica, el volumen del NEP crece y el 11 de octubre, el volumen es mayor al máximo histórico del periodo 1979 a 2019. Hasta inicios del mes de noviembre, con las temperaturas muy bajas, aún se continuaba produciendo NEP tipo I. Se observa que el 17 de noviembre, las NEP tipo I, pese a que descienden en volumen, siguen por arriba de sus valores máximos históricos. Ver [Figura 5](#).



**Figuras 4 y 5.** Área y volumen de las nubes estratosféricas polares (NEP), sobre la región Antártica. Las serie de tiempo donde la temperatura están suficientemente bajas para para la formación de las NEP Tipo I (ácido nítrico, trihidratado) en el nivel isentrópico de 460 K. En ambos gráficos, la línea color roja, representa la evolución del tamaño y volumen de las NEP's para el año 2020 hasta el día 29 de noviembre y proyectado al 9 de diciembre. La línea morada representa al año 2019, la línea azul fuerte la media de 1979 a 2019. Las líneas externas negras, son los máximos y mínimos durante el periodo 1979 – 2019. Las líneas sombreadas en azul de adentro hacia afuera, son los percentiles de 70 – 30% y de 10 – 90%.

El área o volumen con temperaturas lo suficientemente bajas para la existencia de NEPs, 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 HNO<sub>3</sub>.



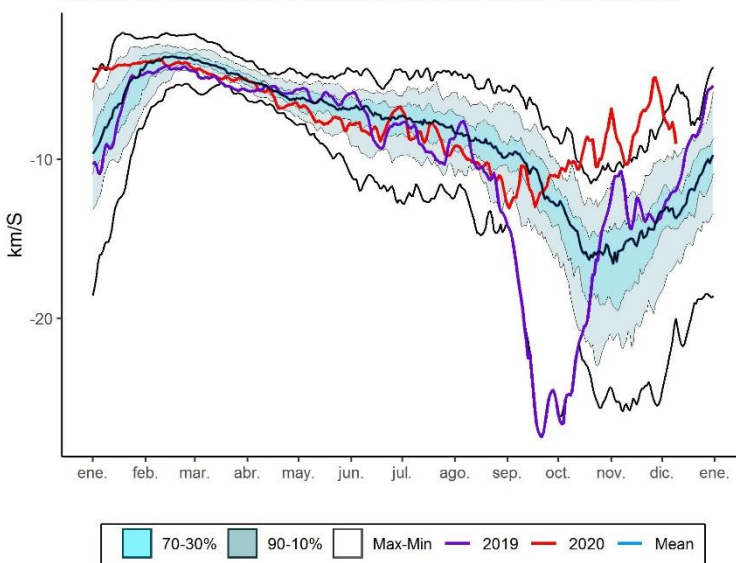
Nubes Estratosféricas Polares (NEP). Fotos: Sr. Diego Bordón, Pabellón Científico de la Estación Antártica Marambio, SMN 2020.

### 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 estratosfera. En la **Figura 6** 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 poco mayor a la media del periodo 1997 -2019. Desde mediados de octubre, hasta el día 29 de noviembre, se nota un flujo de calor es muy bajo, que supera incluso, los valores medios históricos y las predicciones hasta el 9 de diciembre, muestran que el flujo continúa disminuyendo, e incluso superarían los valores históricos, por lo tanto, se puede esperar que las temperaturas, como se mostró anteriormente, continúen bajas en la estratosfera.

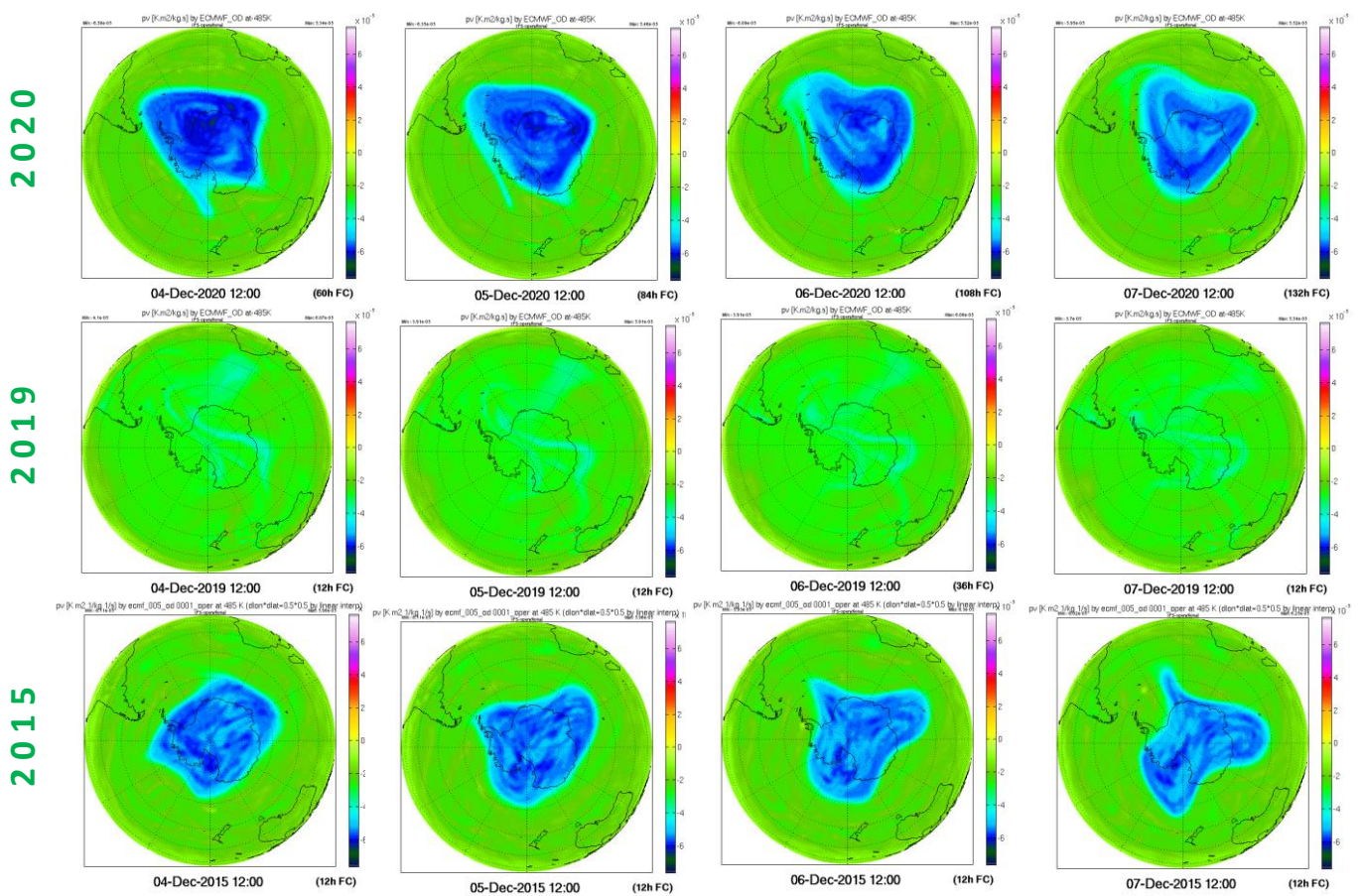
**MEDIA DE 45 DÍAS DE FLUJO DE CALOR 45°-75°S A 100 hPa**



**Figura 6.** Serie de tiempo del flujo de calor meridional promediado sobre la región entre 45-75°S. La curva roja muestra los datos para 2020 (actualizado hasta el 29 de noviembre y proyectado al 9 de diciembre). Por favor, 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 fuerte muestra la media de 1979 a 2019. Las líneas externas negras, son los máximos y mínimos durante el periodo 1979 – 2019. 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 2019.

La **Figura 7** se muestra los mapas de proyección de vorticidad potencial (PV) en el nivel isentrópico de 485 K para la fecha del 4, 5, 6 Y 7 de diciembre, para los años 2020 al 2019 y 2015 (de arriba a abajo). Este nivel corresponde a aproximadamente 19 km de altura. Se incluye el año 2015 debido a que en ese año se presentó uno de los tres agujeros de ozono más grandes registrados y el 2019 porque se presentó uno de los agujeros más pequeños comparables con los inicios de los 80's.

Se puede observar que el vórtice polar del 2020 hasta el momento, se empieza a debilitar y se desestabiliza, al igual como ocurrió en el año 2015. Mientras que el año 2019 se observa un vórtice para la misma fecha, ya está diluido. Los valores de PV más negativos, es indicativo que los vórtices están fortaleciéndose hasta el momento.



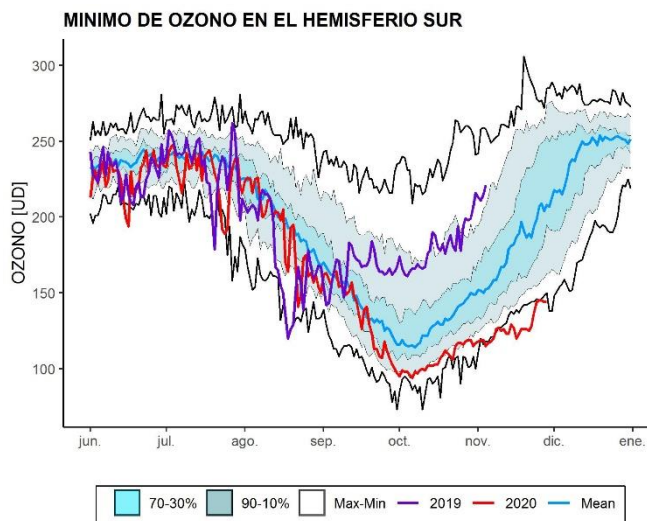
**Figura 7.** Mapas de proyecciones para la Vorticidad Potencial (PV) a una altura isentropica de 485 K. Para los días 10, 11, 12 y 13 de noviembre del 2015, 2019 y 2020 respectivamente.

### 3. OBSERVACIONES DE OZONO

#### 3.1 Observaciones Satelitales

Al inicio de la primavera austral, el sol empieza a retornar a la Antártida, ya que finaliza la noche. Tanto los datos satelitales, los datos de superficie y sondeos con globos muestran que el agujero de ozono, ya inició su formación temprana. A la fecha de hoy, ya se observa un declive en el agujero de ozono, debido a la cercanía del verano, el frío empieza a ceder en la estratosfera, los compuestos destructores de ozono se empiezan a agotar por el momento y el vórtice se debilita.

La **Figura 8** muestra la columna de ozono mínimo del 2020, tal como han sido medidas por el instrumento GOME-2 a bordo del MetOp en comparación con su media histórica 1979 a 2019. Se aprecia que en el 2020 (línea roja) oscila en torno a dicha media, durante el primer semestre del año y hasta septiembre, donde inicia una pérdida considerable de ozono, acercándose a los valores mínimos históricos, pero hasta la primera semana de noviembre, la destrucción es tal, que rebasa los valores mínimos históricos, estableciendo un récord de pérdida de ozono.



**Figura 8.** Mínimo diario de la columna total de ozono en el hemisferio sur, observado por GOME-2, y en el pasado por SCIAMACHY. Los datos son hasta el 29 de noviembre. La línea roja muestra las observaciones de GOME-2 para el año 2020, la línea morada representa al año 2019. La figura está adaptada desde un gráfico provisto por el Instituto Holandés de Meteorología (KNMI)

La **Figura 9** muestra los mapas de las columnas de ozono, tal como han sido medidas por el satélite OMI en comparación con datos del año del 2005 al 2020, todas son tomados los días 2 de diciembre. Se observa para esta fecha que el agujero de ozono continúa formado, estable y profundo, con gran pérdida de ozono.

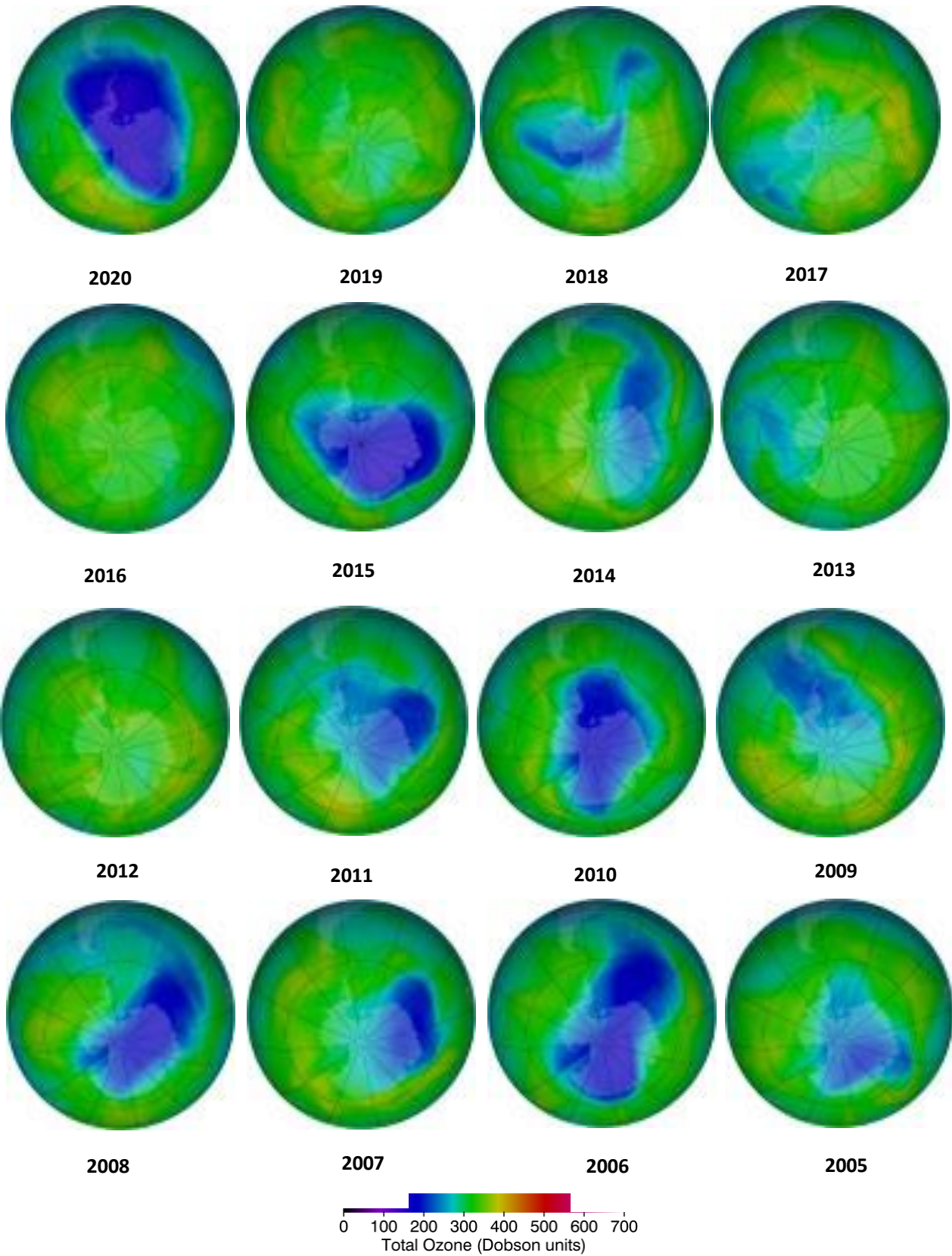


Figura 9. Mapas de columna total de ozono del 8 de noviembre, para cada año (2005 al 2020). Los mapas son obtenidos del OMI

## 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 ( $54^{\circ} 50' 54.46''\text{S}$ ,  $68^{\circ} 18' 37.52'' \text{O}$ ) Y mediciones con Espectrofotómetro Dobson de la Estación Antártica Marambio ( $61^{\circ} 14' 33.68'' \text{S}$ ,  $56^{\circ} 37' 36.98'' \text{O}$ ) dependientes del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Ozonosondeos y mediciones del espectrofotómetro Brewer de la Estación Antártica Belgrano II ( $77^{\circ}52'28''\text{S}$   $34^{\circ}37'37''\text{O}$ ), medidas con Espectrofotómetro Brewer de la Estación Antártica San Martín ( $68^{\circ}07'48'' \text{S}$ ,  $67^{\circ}06' 08'' \text{O}$ ), ambos laboratorios bajo la dependencia de la Dirección Nacional del Antártico/Instituto Antártico Argentino (DNA/IAA).

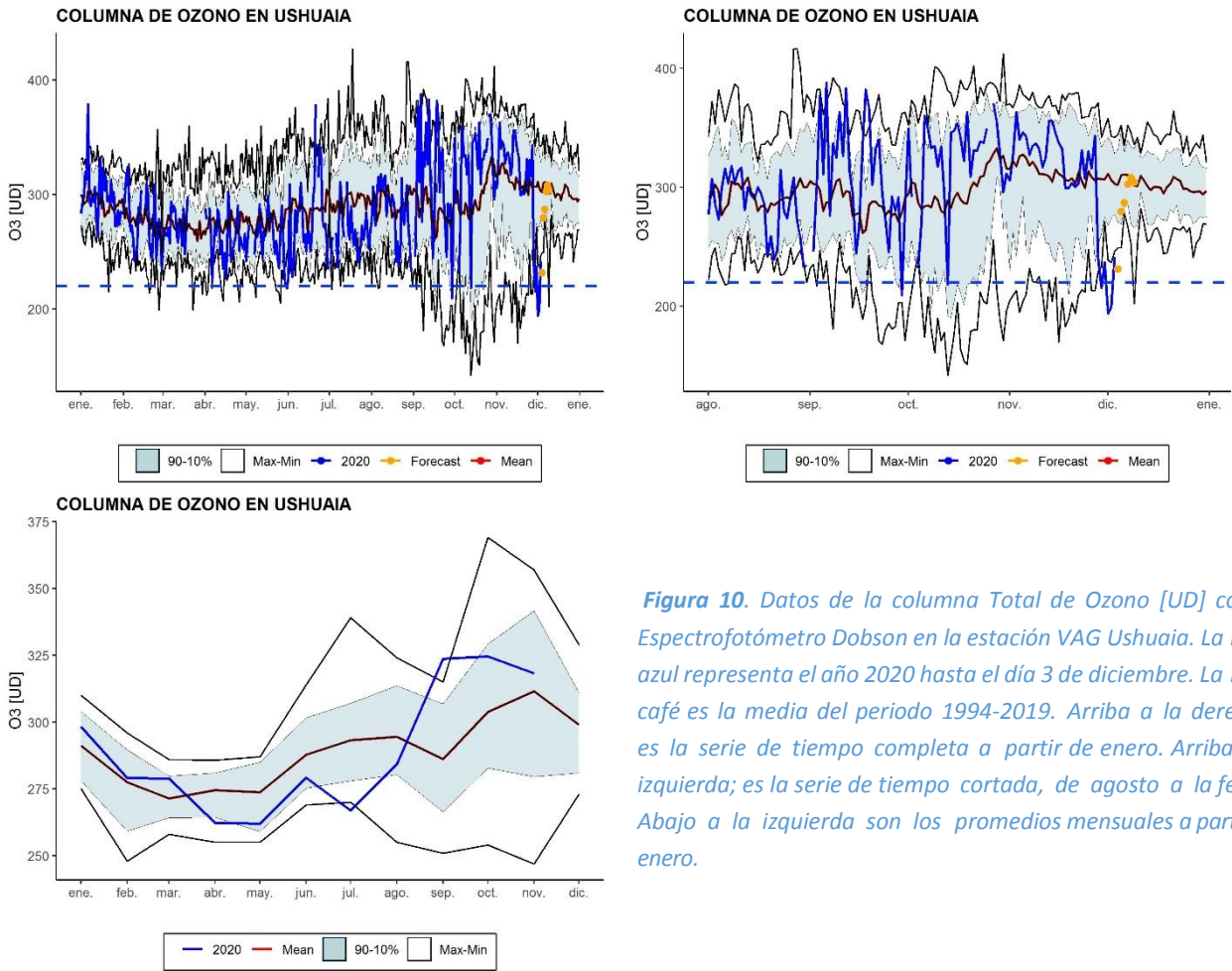
### 3.2.1. Estación VAG Ushuaia.



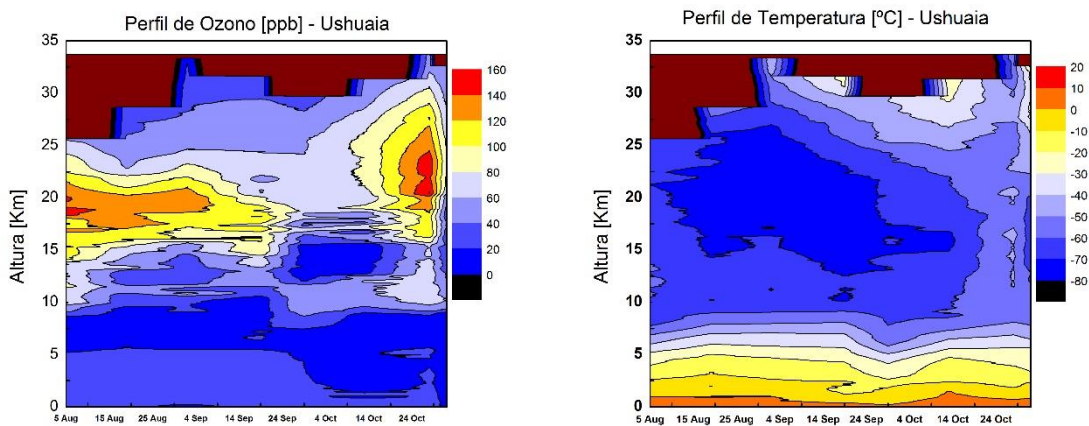
La Estación de Vigilancia Atmosférica Global (VAG) de Ushuaia forma parte de la red de medición de parámetros físicos y químicos de la atmosfera de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). La estación VAG de Ushuaia se localiza al borde del Vórtice Polar, de tal manera que, durante la temporada de 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 10**, se muestra la evolución de la columna total de ozono para el año en curso, comparado con su media histórica (1994-2019). Se presentan los datos diarios de la columna total de ozono. Arriba a la izquierda, se muestra toda la serie desde el primer día de enero hasta 30 de noviembre: Arriba a la derecha, es la misma serie, pero inicia en agosto hasta el 30 de noviembre del 2020. Se aprecia que, a partir del mes de septiembre, hay valores muy altos que superan los máximos históricos. Debido a que, en la zona, es típico del paso de masas enriquecidas con ozono y que circundan al vórtice polar, es decir el vórtice esta fortalecido y no permite que las masas de aire con ozono penetren, de tal manera que Ushuaia al estar en el límite del vórtice, reciba esas masas de aire ricas en ozono. Se observa en las gráficas, los puntos color naranja que son proyecciones para los siguientes 6 días. Abajo a la izquierda se presentan los promedios mensuales y se observa que durante octubre y noviembre (hasta el día 30) los valores, en su mayoría son altos y en algunos casos son superiores a los máximos históricos del periodo 1995 a 2019.

En la **Figura 11** se muestra 8 perfiles de ozono y de temperatura, producidos por los ozonosondeos realizados el 5, 19 de agosto, 2, 16, y 29 de septiembre, 13 y 28 de octubre y 1 de diciembre. Se puede observar que los últimos días de septiembre y durante octubre, el paso del agujero de ozono a una altura entre 12 y 16 Km de altura. En tanto la temperatura, se observa enfriamiento desde agosto y se extiende hasta la primera quincena de octubre, posteriormente la temperatura empieza a subir lentamente, hasta el 1 de diciembre.



*Figura 10. Datos de la columna Total de Ozono [UD] con el Espectrofotómetro Dobson en la estación VAG Ushuaia. La línea azul representa el año 2020 hasta el día 3 de diciembre. La línea café es la media del periodo 1994-2019. Arriba a la derecha; es la serie de tiempo completa a partir de enero. Arriba a la izquierda; es la serie de tiempo cortada, de agosto a la fecha. Abajo a la izquierda son los promedios mensuales a partir de enero.*



*Figura 11. Ozonosondeos realizados en la Estación VAG de Ushuaia, El Grafico de la derecha es la relación de mezcla del ozono expresado en unidades partes por billón [ppb]. El grafico de la izquierda es la temperatura expresada en grados centígrados.*

### 3.2.1 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, pero sus datos aún no están disponibles.

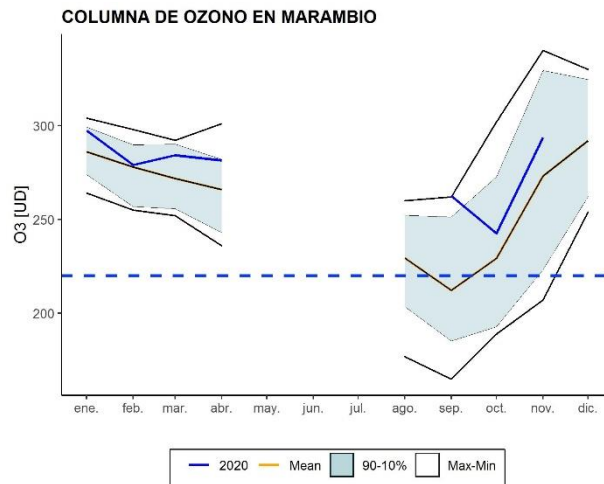
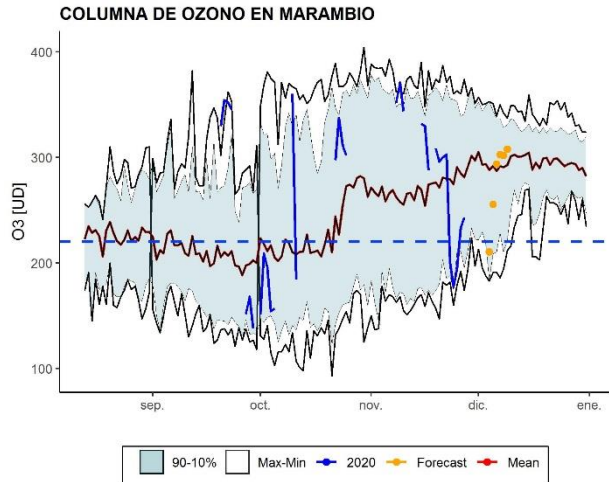
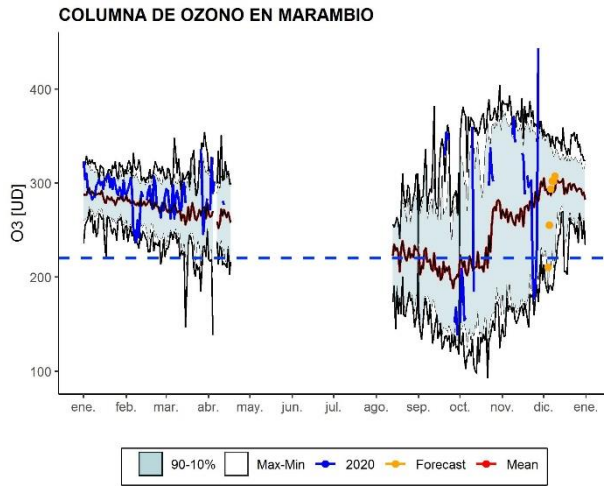
En convenio entre el SMN y el Instituto Finlandés de Meteorología (IFM) se mantiene el programa de ozonosondeos. Dichos sondeos se efectúan aproximadamente dos veces por semana durante el período de Agujero de Ozono. Pero aún no están disponibles.

El espectrofotómetro Dobson (*#D099*) mide todos los días, excepto durante el invierno polar (abril a septiembre) o debido a situaciones complicadas que impidan la medición, como vientos fuertes, lluvia, caída de Nieve, etc. Este año inicia tarde las mediciones debido a las inclemencias del tiempo, pero actualmente ya están regularizadas dichas mediciones hasta el 10 de noviembre.

En la **Figura 12**, se muestra la evolución de la columna total de ozono para el año en curso, comparado con su media histórica (1994-2019). Se puede observar que los valores diarios, la mayoría de las mediciones están muy cerca del valor máximo histórico y en algunos casos por debajo el umbral de los 220 UD. Esto indica que la estación ha estado más días fuera del agujero de ozono, situación que es poco común, si comparamos con la media histórica o con los valores mínimos. Esto se debe al desplazamiento del agujero de ozono que permanece más hacia el interior del Antártida. Los puntos color naranja, denotan las proyecciones que se esperan para los próximos 6 días y muestran el paso del agujero de ozono por la península Antártica.

Mientras que los valores medios mensuales permaneces también por arriba de la media. en septiembre y noviembre, están alcanzando los valores máximos históricos de la serie 1994-2019.





*Figura 12. Datos de la columna Total de Ozono [UD] con el Espectrofotómetro Dobson en la estación Antártica Marambio. La línea azul representa el año 2020 hasta el 29 de noviembre. La línea color café es la media del periodo 1986-2019. Arriba a la izquierda; es la serie de tiempo de ozono total diario a partir de enero hasta el 3 de diciembre Y arriba a la derecha; es la misma serie, pero inicia en agosto. Abajo a la izquierda, es la serie de tiempo mensual.*

### 3.3.3. Estación Antártica San Martín.

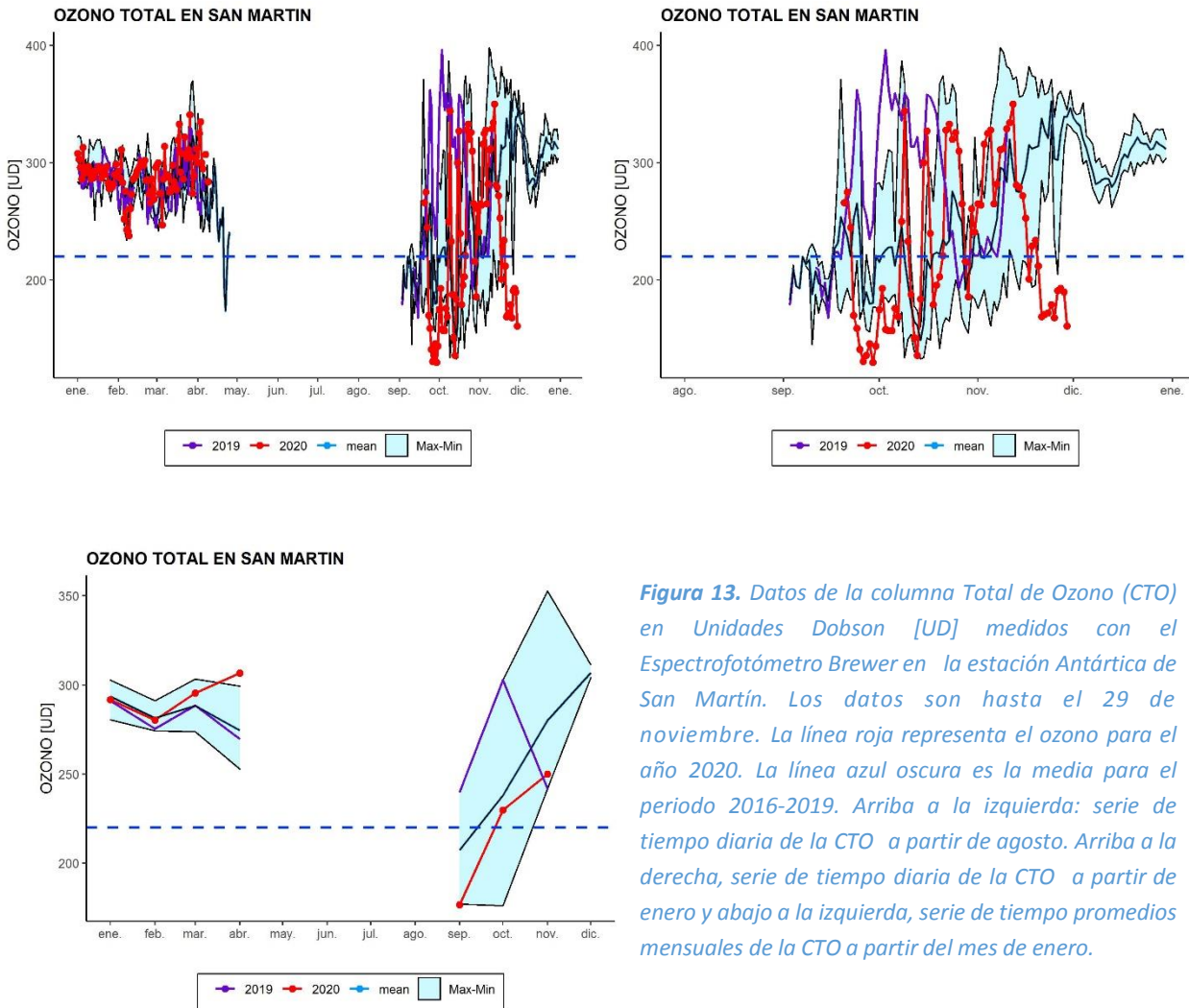


La estación Antártica San Martín se encuentra en la península Antártica y forma parte de la red de medición de ozono total del programa VAG de la OMM. El instrumento Brewer #162 utilizado para medir el ozono total en la estación y a partir del 1ro. de diciembre de 2020, sus datos serán parte de la red europea de instrumentos Brewer **EUBREWNET**. El Espectrofotómetro Brewer se encuentra bajo un convenio entre el **Instituto Antártico Argentino (IAA)** y el ex **Comando Antártico de Ejército**.

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 13**, se muestra la evolución de la columna total de ozono para el año en curso, hasta el 8 de noviembre, comparado con su media (2016-2019). Al tener registrado 4 años completos (2016 a 2019) y el año en curso, solo se presenta la media, máximos y mínimos, y lo que llevamos del año. En la **Figura 13** se observa que los datos diarios de ozono total (arriba, izquierda y derecha) a la fecha muestran que los valores por debajo de la línea azul punteada (umbral de los 220 UD) y una variación que alcanzan valores récord de mínimos de ozono durante el mes de septiembre, en el mes de octubre las fluctuaciones son notables, debido al paso del agujero de ozono por la península Antártica. Durante el mes de noviembre, se nota una baja en los valores ozono, debido al paso del agujero de ozono en ese mes, de tal manera que detectan valores muy por debajo de los valores mínimos de ozono.



*Test de lámpara y mantenimiento diario del espectrofotómetro Brewer de Base San Martín por el personal técnico del IAA Ezequiel Peschiera y Nahuel Solís Etchegoin.*



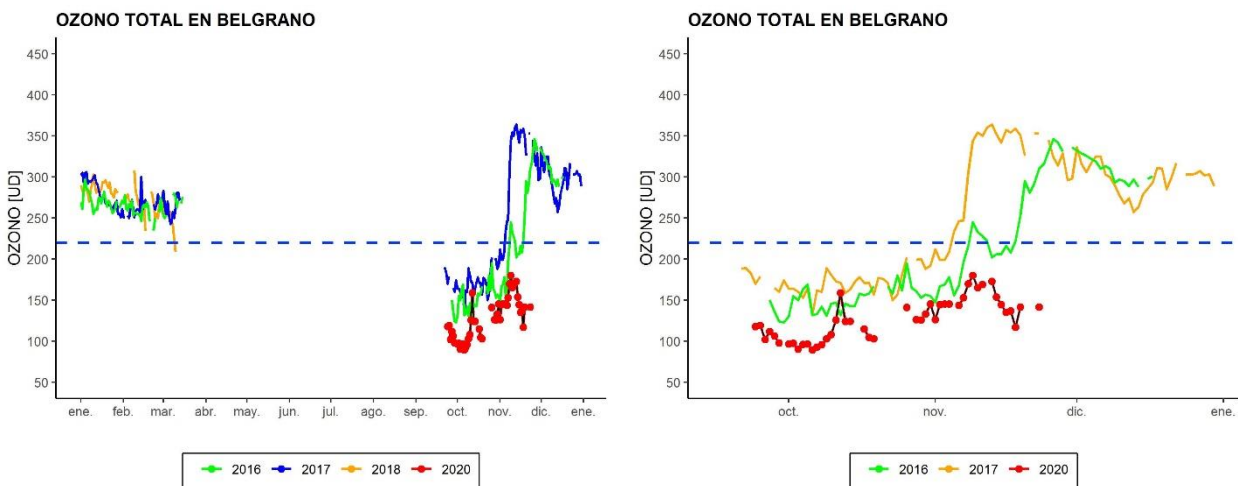
*Figura 13. Datos de la columna Total de Ozono (CTO) en Unidades Dobson [UD] medidos con el Espectrofotómetro Brewer en la estación Antártica de San Martín. Los datos son hasta el 29 de noviembre. La línea roja representa el ozono para el año 2020. La línea azul oscura es la media para el periodo 2016-2019. Arriba a la izquierda: serie de tiempo diaria de la CTO a partir de agosto. Arriba a la derecha, serie de tiempo diaria de la CTO a partir de enero y abajo a la izquierda, serie de tiempo promedios mensuales de la CTO a partir del mes de enero.*

### 3.3.4 Estación Antártica Belgrano II.



La estación Antártica Belgrano II se encuentra ubicada en el Nunatak Bertrab ubicado al sur del mar de Wedell en la Bahía Vahsel sobre la Costa Confin en la Tierra de Coats 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 MKIV desde 1992, Los datos del Brewer #99 desde el año 2020 son parte de la red europea de brewer **EUBREWNET**. El Espectrofotómetro Brewer es un instrumento que deriva del convenio de Colaboración Científica entre la Dirección Nacional del Antártico - **Instituto Antártico Argentino** (IAA) y el **Programma Nazionale di Ricerche in Antartide** (PNRA) de Italia a través del Instituto de Física Atmosférica de Roma (IFAR).

Los valores del Espectrofotómetro Brewer, se muestran en la **figura 14**, donde se observa claramente, que la estación permanece en condiciones y bajo la influencia del agujero de ozono. Particularmente, se puede observar que, el año 2020 ha sido el de más destrucción desde el 2016, debido a las condiciones de temperatura y un vórtice muy estable, además de poco flujo de calor desde el ecuador hasta la Antártida.

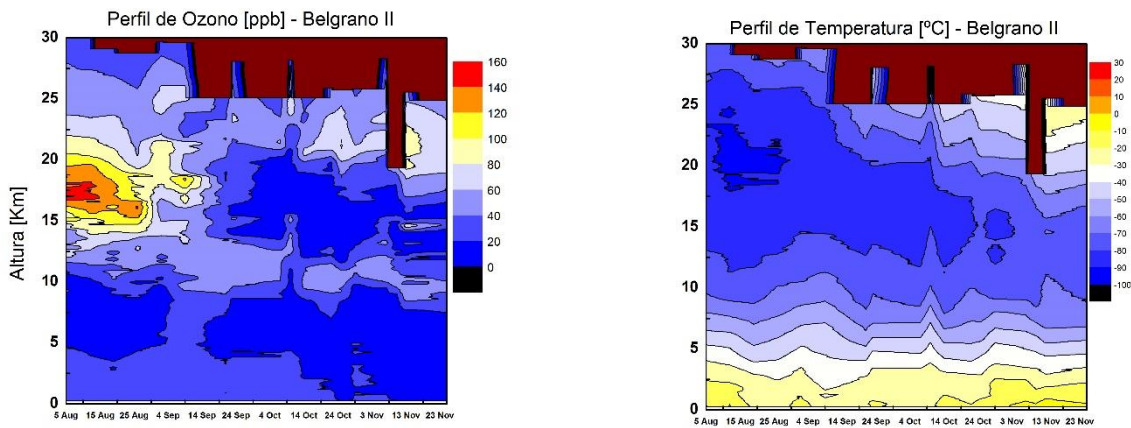


**Figura 14.** Ambos gráficos son mediciones del espectrofotómetro Brewer. En ambos gráficos, la línea punteada color rojo, es lo que va del año 2020 (29 de noviembre), mientras que el color verde es el año 2016, la línea azul representa al 2017 y la línea naranja al 2018.

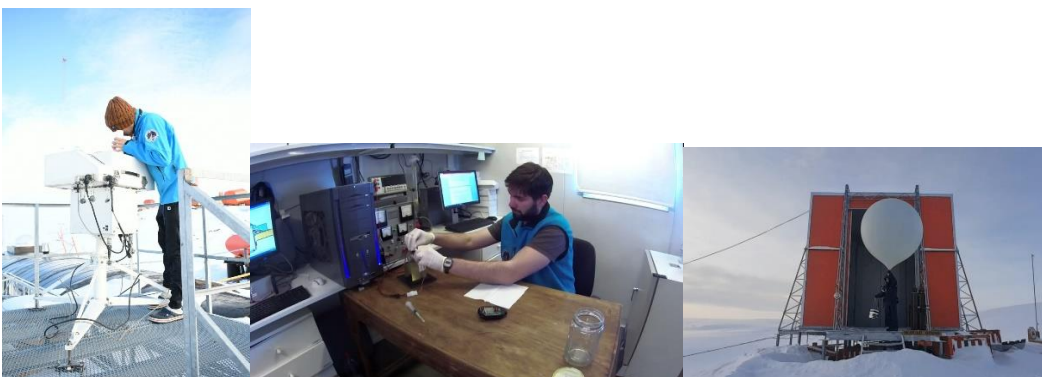
En la misma base desde 1994 se realizan mediciones de ozono total a través de espectroscopia de absorción diferencial con espectrofotómetros EVA y desde 1999 con lanzamientos de ozono sondas a través del Programa Conjunto de Cooperación Científica entre el **Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial** (INTA) y la Dirección nacional del Antártico –

Instituto Antártico Argentino. Durante este periodo se han logrado 18 lanzamientos de ozonosondeos, los cuales se presentan en la **figura 15**.

La **Figura 15**, el perfil de ozono muestra que durante el mes de agosto, a una altura aproximada de 13 a 18 Km de altura, aún no se forma el agujero de ozono y se muestran valores arriba de 140 ppb. Posteriormente a mediados de septiembre, ya se observa pérdida de ozono, indicativo de la presencia del agujero de ozono, que se extiende hasta el 25 de noviembre. Mientras que, en el perfil de temperatura, se observa desde agosto una estratosfera fría, particularmente los primeros días de agosto cercanos a los 100°C. Posteriormente, la baja temperatura una lengua se extiende hasta mediados de octubre y en la alta estratosfera, va elevando la temperatura. Conforme avanza el tiempo, mediados de octubre y hasta finales de noviembre, poco a poco la estratosfera va cediendo e inicia un ascenso de temperatura.



**Figura 15.** Gráficos de 18 perfiles de ozono en la Estación Antártica Belgrano. Del lado izquierdo es la relación de mezcla de ozono, expresada en partes por billón [ppb]. Del lado derecho, es la temperatura expresado en grados centígrados.



*Operación de Espectrofotómetro Brewer, preparación y lanzamiento de ozonosonda en Base Belgrano II por los Técnicos del IAA, Guillermo Maidana, Ezequiel Molina y Pablo Signorelli.*

## 4. ACTIVACIÓN QUÍMICA DEL VÓRTICE

### 4.1 Resultados del Modelo.

La **Figura 16** muestra la progresión de las tres especies principales, que son reservorios dentro de las NEP, para la destrucción de ozono en la estratosfera y de la concentración de ozono con unidades [ppb]. Los mapas son en el nivel de 50 hPa para los días 15 de cada mes (junio a octubre). 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, así como especies relacionadas con el mismo para la estratósfera. La versión usada en esta edición ha sido originalmente desarrollada dentro del marco del programa GSEPROMOTE de la Agencia Espacial Europea. El sistema de asimilación de datos BASCOE asimila el conjunto de datos offline (nivel-2. V3.3) obtenidos del instrumento Aura-MLS. A pesar de haber sido suministrado en poco y días más tarde que la corriente NRT, el conjunto de datos offline incluye varias especies:  $O_3$ ,  $H_2O$ ,  $HNO_3$ ,  $HCl$ ,  $ClO$ ,  $(ClO)_2$ ,  $HCIO$  y  $N_2O$ . Anterior información acerca de los proyectos MACC del modelo BASCOE con referencias, se pueden encontrar en [http://macc.aeronomie.be/4\\_NRT\\_products/3\\_Models\\_changelogs/BASCOE.php](http://macc.aeronomie.be/4_NRT_products/3_Models_changelogs/BASCOE.php).

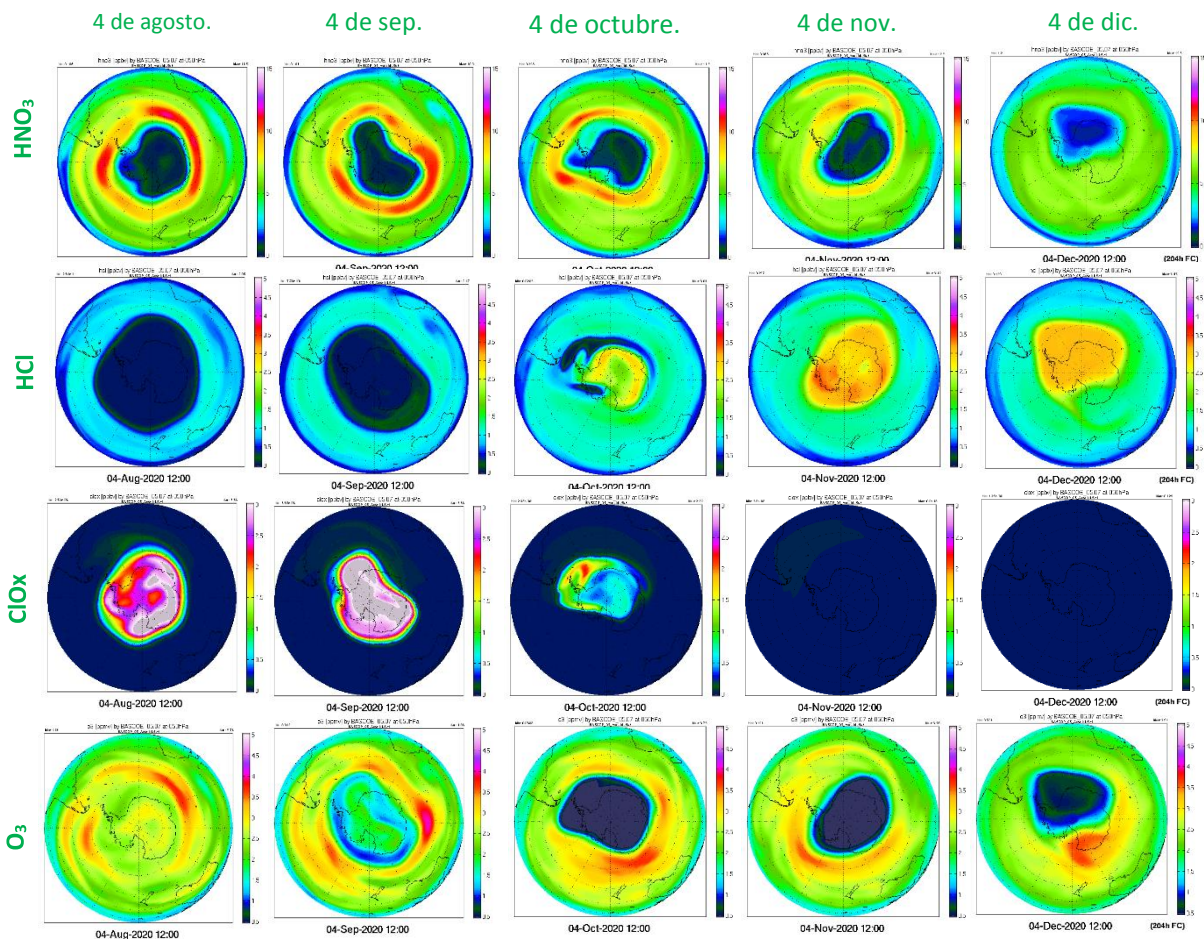
Se puede apreciar a partir de la **Figura 16** como el ácido nítrico gaseoso ( $HNO_3$ ) es removido gradualmente, comenzando en mayo cuando las temperaturas NEP se asentaron y continuando hasta junio y julio. La remoción del  $HNO_3$  se encuentra esencialmente completa el 11 de noviembre, dentro del vórtice, pero la concentración mayor se encuentra en límite del vórtice. Los primeros días de diciembre, aun se observa esta sustancia dentro del vórtice, aunque poco a poco se diluye. La remoción de  $HNO_3$  gaseoso es una indicación de que este compuesto se condensa en la forma de nubes estratosféricas polares (ácido nítrico trihidratado;  $HNO_3 \cdot 3H_2O$ ).

Al mismo tiempo, el ácido clorhídrico ( $HCl$ ) aumenta su concentración, dado que deriva de la reacción del nitrato de cloro ( $ClONO_2$ ) y forma cloro activo. Se puede apreciar como el ácido clorhídrico (segunda fila) está aumentando, puesto que es convertido en partículas NEP. La conversión extensa del  $HCl$  ya ha tenido lugar y se observa claramente de septiembre a octubre, todo el vórtice se encuentra esencialmente con gran concentración de  $HCl$ . El 11 de noviembre, se observa que la concentración aumenta, muy probablemente debido al enfriamiento de la estratosfera y a la presencia de NEP que se extienden en área y volumen. A inicios de diciembre, aún hay  $HCl$  que continuara destruyendo ozono, hasta mediados de diciembre o más.

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 ( $Cl_2O_2$ ). El dímero es fácilmente descompuesto 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 ( $ClO$ )<sub>2</sub>, el cual no es observado por el Aura-MLS, pero es calculado por el modelo BASCOE. Observando la suma del monómero y dímero ( $ClO + 2Cl_2O_2$ ) se puede obtener una mejor impresión del grado de activación del cloro. Esto se muestra en la tercera fila de la figura. Los primeros signos de activación son visibles, desde el mes de agosto. El grado máximo de activación tiene lugar durante del mes de septiembre, pero el 11 de octubre, se observa ya un decrecimiento en la concentración de este compuesto, muy probablemente a la interacción con el ozono dentro del vórtice, para el 4 de diciembre, este compuesto se encuentra totalmente activado.

En la última fila se muestra la razón de mezcla del ozono [ppb] en el nivel de 50 hPa. Hasta el 4 de diciembre

ya hay indicación de disminución del ozono, hasta el 4 de diciembre, todavía se observa destrucción de ozono, aunque cada vez va a disminuir esta actividad.



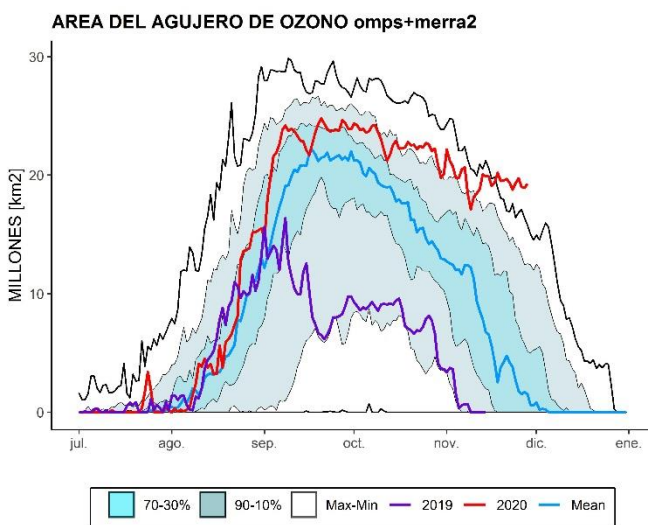
*Figura 16. Resultados del modelo de asimilación BASCOE a 50 hPa. Este modelo se usa como parte del proyecto macc-II, ahora el NRT Análisis de ozono y especies relacionadas con el ozono. La primera fila (arriba) muestra la relación de mezcla del ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ). La segunda fila muestra 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 ( $\text{ClOx} = \text{ClO} + 2\text{Cl}_2\text{O}_2$ ). La última fila (abajo) muestra la relación de mezcla del ozono.*

## 5. El Agujero de ozono

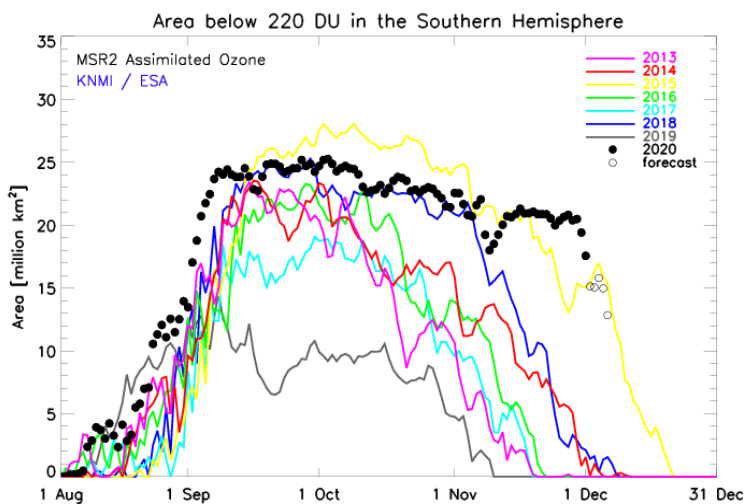
### 5.1 El área del agujero de ozono

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 (Definido por la comunidad científica como "Agujero de Ozono" tal como es deducida por el instrumento GOME-2 a bordo del Metop (y SCIAMACHY en el Envisat). Se muestra, el inicio y crecimiento del agujero de ozono, donde es superior

al de la media (1997 – 2018). Esto significa que el agujero tiene una aparición temprana, situación que se observa en el gráfico del déficit de ozono, iniciando la destrucción. El valor máximo se alcanzó el día 20 de septiembre con 24.8 millones de Km<sup>2</sup>. Actualmente, el tamaño del Agujero de ozono ya es comparable al del 2015 y se acerca a los valores máximos históricos de 22.4 millones de Km<sup>2</sup>. Para el día 18 de noviembre, el tamaño del agujero de ozono, rebasa su dimensión máxima histórica, teniendo un tamaño de 20,2 millones de Km<sup>2</sup> y hasta el 29 de noviembre, continúa teniendo valores superiores al tamaño máximo histórico con 19,3 millones de Km<sup>2</sup>. Es decir, esta estableciendo récord de tamaño histórico. Actualmente y a modo de comparación el área del agujero de ozono casi podría abarcar, casi el territorio de Canadá y EEUU. Según las proyecciones de la **Figura 17b**, a mediados de diciembre alcanzara el tamaño que tenía en la misma fecha el agujero del año 2015.



**Figura 17a.** Área (millones de km<sup>2</sup>) donde la columna total de ozono es menos de 220 unidades Dobson. El año 2020 es mostrado en rojo (hasta el 29 de noviembre). El año 2019 se muestra en morado. La línea azul fuerte es el promedio de 1979-2019. 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 29 de noviembre es 19,27 millón de km<sup>2</sup>. El gráfico está hecho en la SMN basado en datos descargados del sitio web de Vigilancia del ozono de la NASA.



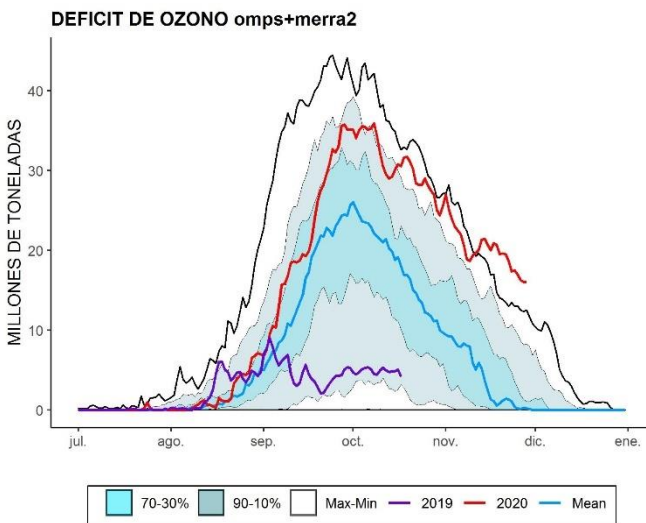
**Figura 17b.** El área de agujero de ozono desde los años 2013 a 2020. La línea punteada y en color negro, representa el área actual del agujero de ozono y los puntos vacíos, representan la proyección y se nota que el tamaño es muy similar al del 2015. El área de agujero de ozono es el área de la región 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.



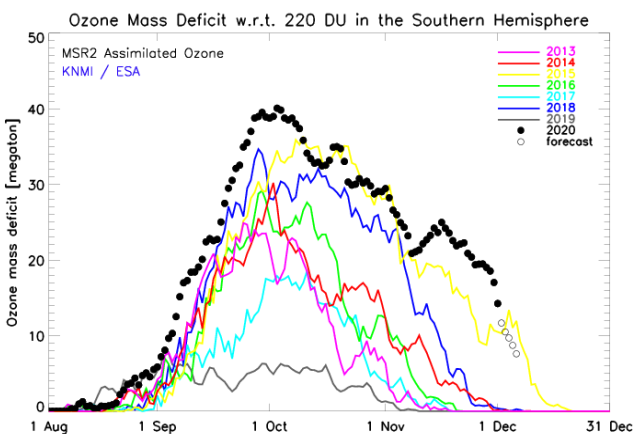
## 5.2 Déficit de masa de ozono.

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 18a y la Figura 18b** se muestra el déficit de la masa de ozono, tal como es deducido del GOME-2 Y OMI, respectivamente. El desarrollo de este parámetro está muy separado a la derecha a la curva de la media (1979-2019) lo que significa un déficit más temprano que otros años.

Los datos del KNMI y de la NASA son muy parecidos y en ambos casos se muestra una tendencia a ir acercándose, la **Figura 18a** muestra que el déficit de ozono del 2020, ha sido muy superior a la media del periodo 1979 al 2019 y actualmente ha superado la pérdida histórica estableciendo un récord, es decir se requiere de una cantidad de ozono récord para alcanzar las 220 UD. Mientras que en la **Figura 18b**, se observa que el déficit de ozono ya ha sido superior al del 2015, de tal manera que el agujero de ozono es muy profundo, es decir con gran pérdida de ozono y hasta el momento es el mayor de esta década, de tal manera que fortalece aún más el vórtice Antártico. Las proyecciones muestran que continuará esa pérdida de ozono, por lo que puede persistir el agujero de ozono durante más tiempo de lo normal, tal vez hasta mediados de diciembre en lo que podría alcanzar los valores del año 2015.



**Figura 18a.** Déficit de masa de ozono para 2020, hasta el 29 de noviembre y proyectado hasta el 9 de diciembre (curva roja). La línea color morado, representa el año 2019. La línea azul fuerte es la media del periodo 1979-2019. 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 – 2019. Este gráfico es producido por el SMN basado en datos descargados del sitio web de Vigilancia del ozono de la NASA.



**Figura 18b.** Déficit de masa de ozono para 2020. La curva con puntos negros, muestran la actualidad y los puntos vacíos son pronóstico de 5 días. Algunos otros años seleccionados con una baja sustancial de ozono se muestran para ser comparados. La línea gris gruesa es la media de 1979-2019. Los datos son provistos por KNMI y están basados en los datos de los satélites GOME-2 y SCIAMACHY-

## 6. RADIACIÓN UV.

Uno de los mayores impactos de la formación del agujero de ozono es la filtración de la radiación UV. Actualmente, el agujero de ozono ha pasado por la ciudad de Ushuaia (*Figura 19*), estableciendo record histórico (*Figura 20a y 20b*) con valores del IUV = 14 (Extremo) pero se ve modulado por la nubosidad prevaleciente en la ciudad. Después el agujero de ozono ha pasado y los valores vuelven a su normalidad IUV = 8 (Muy Alto).

En la Estación Antártica Marambio y San Martín, ambas se encuentran en la península Antártica, por lo que sus valores de UV son muy similares y el agujero de ozono terminará de pasar hasta el 4 de diciembre, dejando valores de IUV en un rango de 11 a 15 (Extremo) en Marambio, estableciendo un récord con el IUV de 13 el 1 de diciembre y de 15 con para el 2 de diciembre, mientras que los valores IUV son de 10 a 13 (Muy Alto a Extremo) en San Martín, posteriormente los valores del IUV se normalizan entre 5 y 8 (Moderado a Muy Alto). En Marambio también se establece récord de IUV elevados, pero modulados por la nubosidad (*Figura 21a y 21b*).

Finalmente, la estación Belgrano II permanentemente, se encuentra bajo la influencia del agujero de ozono (*Figura 19*), pero los valores de IUV están entre 5 y 6 (Moderado a Alto).

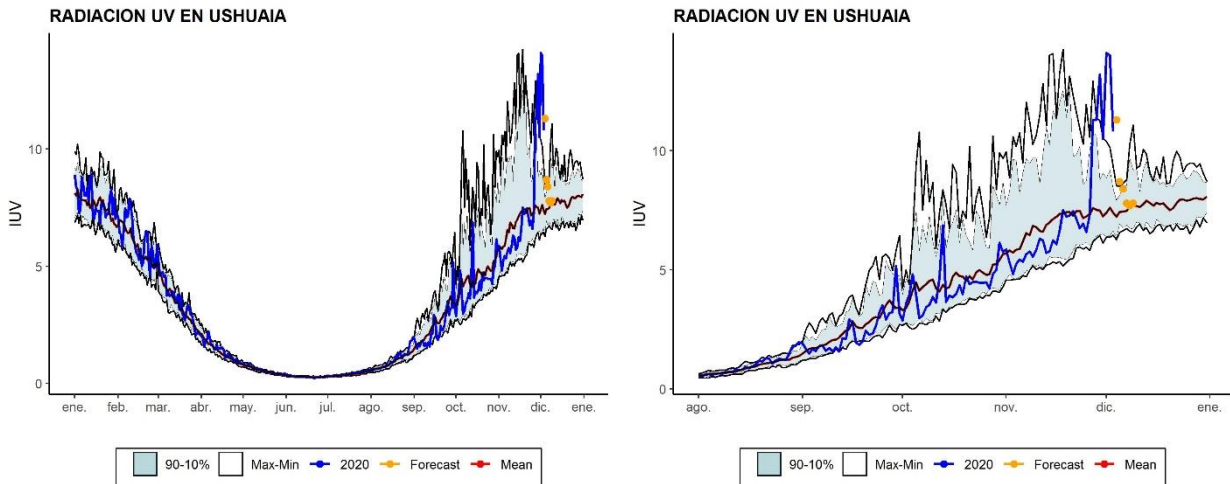
Date	UV index	ozone column
4 Dec 2020	11.3	231.5 DU
5 Dec 2020	8.7	279.7 DU
6 Dec 2020	8.4	287.1 DU
7 Dec 2020	7.8	302.7 DU
8 Dec 2020	7.7	308.1 DU
9 Dec 2020	7.8	304.1 DU
grid cell centre data: lon, lat = -68.375, -54.875 elevation = -54.875 (± 228) m		

Date	UV index	ozone column
4 Dec 2020	11.6	210.6 DU
5 Dec 2020	8.9	255.5 DU
6 Dec 2020	7.4	293.8 DU
7 Dec 2020	7.1	302.5 DU
8 Dec 2020	7.2	301.8 DU
9 Dec 2020	7.0	307.7 DU
grid cell centre data: lon, lat = -61.125, -56.375 elevation = -56.375 (± 0) m		

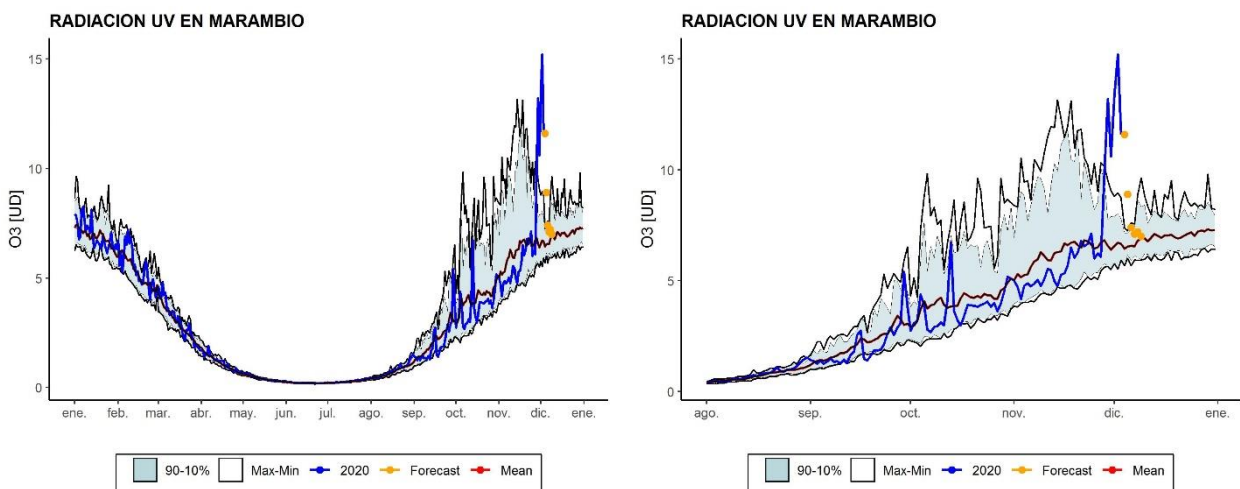
Date	UV index	ozone column
4 Dec 2020	11.2	179.4 DU
5 Dec 2020	7.4	242.8 DU
6 Dec 2020	5.6	301.0 DU
7 Dec 2020	5.4	311.3 DU
8 Dec 2020	5.1	325.5 DU
9 Dec 2020	6.5	270.3 DU
grid cell centre data: lon, lat = -67.125, -68.125 elevation = -68.125 (± 144) m		

Date	UV index	ozone column
4 Dec 2020	7.1	163.0 DU
5 Dec 2020	6.4	177.8 DU
6 Dec 2020	6.2	182.7 DU
7 Dec 2020	5.7	195.2 DU
8 Dec 2020	5.6	200.1 DU
9 Dec 2020	5.6	200.4 DU
grid cell centre data: lon, lat = -34.625, -77.875 elevation = -77.875 (± 232) m		

*Figura 19. Valor de Índice UV y de ozono total proyectados a 5 días. Arriba a la Izquierda, Estación VAG Ushuaia. Arriba a la derecha es la Estación Antártica Marambio. Abajo a la izquierda es la Estación Antártica San Martín. Abajo a la derecha, es la Estación Antártica Belgrano II.*



**Figura 20a y 20b.** Serie de tiempo del Índice UV para la estación VAG Ushuaia. A la izquierda, la serie desde enero hasta 29 de noviembre. A la derecha. La serie inicia en agosto hasta el 3 de diciembre. La línea color azul representa el año 2020. La línea color café, representa la media del periodo 2002 a 2019. Líneas negras son los máximos y mínimos. Los puntos naranjas son las proyecciones que se esperan.



**Figura 21a y 21b.** Serie de tiempo del Índice UV para la estación Antártica Marambio. A la izquierda, la serie desde enero hasta 29 de noviembre. A la derecha. La serie inicia en agosto hasta el 3 de diciembre. La línea color azul representa el año 2020. La línea color café, representa la media del periodo 2002 a 2019. Líneas negras son los máximos y mínimos. Los puntos naranjas son las proyecciones que se esperan

## 7. CONCLUSION

La actividad de destrucción de ozono en la estratósfera, continua presente y se manifiesta en el agujero de ozono de la Antártida. Las temperaturas mínimas actuales (29 de noviembre) y proyectas al 9 de diciembre superan los valores mínimos históricos del periodo 1979 a 2019, es decir se establecen récord histórico.

Actualmente ya no hay formación de Nubes Estratosféricas Polares, pero la química, a través las sustancias destructores de ozono continúa destruyendo ozono y es muy probable que continúe hasta mediados de diciembre.

El vórtice polar Antártico poco a poco se debilita, conforme avanza el tiempo y nos acercamos al verano, pero aún es estable con respecto a otros años.

El tamaño del agujero de ozono presenta el día 20 de septiembre, un máximo de 24.8 millones de Km<sup>2</sup>, igual al del 2018, pero no supera al del 2015 (26.97 millones de Km<sup>2</sup>) Es decir, puntualmente este año sería el segundo agujero de ozono más grande de la década, junto con el del año 2018. Pero si tomamos el promedio desde 7 de septiembre al 13 de octubre, el área es de 23,5 millones de Km<sup>2</sup>, considerado el 12º Agujero mas grande desde que se tiene registro. Actualmente, el tamaño del Agujero de ozono ya es superior al del 2015 y ha superado los valores máximos históricos (nuevo récord) de 22.4 millones de Km<sup>2</sup>, mientras para este año es 19.3 millones de Km<sup>2</sup> (29 de noviembre). A modo de comparación, actualmente el área del agujero de ozono casi podría abarcar Canadá y EEUU.

La estación de Vigilancia Atmosférica Global (VAG) de Ushuaia, presenta 2 días con paso del agujero de ozono (1 y 2 de diciembre), por lo que los Índices de UV en esos días, los valores son de 16 (Extremo), pero es modulado por la nubosidad de esos días. Las estaciones de medición de San Martín y Marambio, muestran valores de ozono total muy similares, debido a que ambas se localizan en la península Antártica, pero ambos con una variación significativa, en su paso del agujero de ozono hasta el 4 de diciembre, se tienen valores superiores a 11 (Extremo) y después del paso del agujero de ozono, los valores vuelven a su normalidad.

Debido a lo presentado, se espera que agujero de ozono, vaya recuperándose con el paso del tiempo, pero se puede esperar una recuperación hasta después de la mitad del mes de diciembre.

**El informe final se actualizará aproximadamente, antes del día 31 de diciembre 2020.**

## 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 (CAMS).

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

Se agradece los datos de las ozonondas de Belgrano II del convenio entre el instituto Antártico Argentino (IAA) dependencia de la Dirección Nacional del Antártico de Argentina (DNA) y el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) de España.

Se agradece al Instituto Finlandés de Meteorología, por el soporte de las ozonondas 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; **Ing. Lino Fabián Condori, Sr. Emiliano Petruzzi y Sr. Gonzalo Gambarte.**

Se agradece a los observadores Antárticos del Pabellón Científico de Marambio; **Sr. Pedro Díaz y Diego Bordón.**

Se agradece a los observadores Antárticos de San Martín del Laboratorio LASAN: **Sr. Nahuel Leandro Solís Etchegoin y Ezequiel Peschiera.**

Se agradece a los observadores Antárticos de Belgrano II del Laboratorio LABEL; **Sr. Pablo Signorelli, Sr. Guillermo Maidana y Sr. Ezequiel Molina.**

## 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. Chabrillat, 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.
- Carbajal Benítez Gerardo, Facundo Orte, Elian Wolfram, Eduardo Luccini y Fernando Nollas. Boletines 1, 2, 3, 4 e Informe Final del Agujero de Ozono 2019.
- Carabajal Benitez Gerardo; Cupeiro Manuel; Sánchez Ricardo; Agüero Juan Daniel; Barlasina María Elena y Nollas Fernando. Caracterización de la Columna Total de Ozono medido con el Espectrofotómetro Dobson en cuatro estaciones en la Argentina. ISBN 978-987-1323-36-4

LINK de datos:

<https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/SH.html>

<https://atmosphere.copernicus.eu/>

<http://www.temis.nl/uvradiation/nrt/placenames.html>