



Servicio  
Meteorológico  
Nacional

# BOLETIN 1 - TEMPORADA DEL AGUJERO DE OZONO 2023

***Gerardo Carbajal Benítez<sup>1</sup>, Héctor A. Ochoa<sup>2,3</sup>, Eduardo Luccini<sup>4,5</sup>,  
Facundo Orte<sup>6</sup>, Elian Wolfram<sup>1,6</sup> y Héctor Estévez Pérez<sup>7</sup>.***

*1. Servicio Meteorológico Nacional, Argentina.*

*2. Dirección Nacional del Antártico / Instituto Antártico Argentino.*

*3. Universidad Tecnológica Nacional FRBA, Argentina.*

*4. CONICET - Centro de Excelencia en Productos y Procesos de Córdoba, Argentina.*

*5. Facultad de Química e Ingeniería del Rosario, Pontificia Universidad Católica Argentina.*

*6. CEILAP, UNIDEF (CITEDEF-CONICET), Argentina.*

*7. Instituto de Geofísica, UNAM, México.*

Septiembre, 2023



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 las NEP	8
2.3 Estabilidad del vórtice.	9
3. OBSERVACIONES DE OZONO	10
3.1 Observaciones Satelitales.	10
3.2 Estaciones en superficie.	11
3.2.1 Estación VAG USHUAIA.	12
3.2.2 Estación Antártica MARAMBIO.	13
3.2.3 Estación Antártica San Martin	14
3.2.4 Estación Antártica Belgrano II	15
4. EL AGUJERO DE OZONO	17
4.1 El área del agujero de ozono.	17
5. VOLCAN Hunga Tonga-Hunga Ha'apai	19
6. CONCLUSIONES	19
7. AGRADECIMIENTOS	20
8. BIBLIOGRAFÍA	20

## RESUMEN.

El presente Boletín 1, tiene por objetivo, establecer la evolución del Agujero de Ozono sobre la Antártida para el año 2023. La temperatura de la estratosfera mínima y zonal (50 – 90°S). Estas, han oscilado alrededor de la media hasta el mes de agosto que presenta un enfriamiento muy cercano a los mínimos históricos y más frío que el año 2022. En el mes de septiembre, esta situación cambia y se observa un incremento de la temperatura, debido a que se intensifica el flujo de calor que viene desde el trópico, a través de ondas atmosféricas. Las Nubes Estratosféricas Polares (NEP) se forman durante inicios del invierno Antártico y superan la media del periodo 1979 a 2021, pero debido a la intensidad del flujo de calor, estas van disminuyendo en su área y volumen, pero no alcanzan la media del periodo 1979 a 2021. Las NEP han alcanzado su máxima extensión en área (25,97 millones de km<sup>2</sup>) y volumen (357,32 millones de km<sup>3</sup>) para el día 5 y 16 de julio, respectivamente. Pero aún permanecen las Tipo I y Tipo II en la Estratosfera Antártica. El área Agujero de Ozono, hasta el 28 de septiembre oscila, según las mediciones satelitales entre 28.98 y 26,15 millones de km<sup>2</sup>, por encima de su media hasta ese mismo día que es 10,4 millones de km<sup>2</sup>, Y muy cercano al máximo del año 2022 con 26,5 millones de km<sup>2</sup>. Es evidente que hay vapor de agua en la estratosfera, detectado por las ozonosondas, lo que contribuye a la destrucción de ozono y crecimiento del agujero de ozono, a través de procesos químicos y formación de radicales OH que interactúan con el ozono.

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

## ABSTRACT.

The objective of Bulletin 1 is to establish the evolution of the Ozone Hole over Antarctica for the year 2023. The minimum, and zonal stratosphere temperatures (50 – 90°S). These have oscillated around the average until August, which presents a cooling very close to the historical minimums and colder than the year 2022. In September, this situation changes and an increase in temperature is observed, due to the intensified flow of heat coming from the tropics, through atmospheric waves. The Polar Stratospheric Clouds (NEP) form during the beginning of the Antarctic winter and exceed the average for the period 1979 to 2021, but due to the intensity of the heat flow, they decrease in area and volume but do not reach the average for the period. 1979 to 2021. The NEP reached its maximum extension in area (25.97 million km<sup>2</sup>) and volume (357.32 million km<sup>3</sup>) on July 5 and 16, respectively. But Type I and Type II remain in the Antarctic Stratosphere. The Ozone Hole area, until September 28, ranges, according to satellite measurements, between 28.98 and 26.15 million km<sup>2</sup>, above its average until that same day, which is 10.4 million km<sup>2</sup>, and very close to the maximum by 2022 with 26.5 million km<sup>2</sup>. There is water vapor in the stratosphere, detected by ozonesondes, which contributes to the destruction of ozone and the growth of the ozone hole, through chemical processes and the formation of (OH) radicals that interact with ozone.

**Keywords:** Ozone, Stratosphere, Antarctica, Destruction, Chemistry and Meteorology.

## ANTECEDENTES.

El descubrimiento de un agujero de la capa de ozono durante la primavera en la Antártida a mediados de la década de 1980, reveló la amenaza que representan las sustancias que agotan la capa de ozono producidas por el hombre. El daño causado por estos compuestos expone a las personas y los ecosistemas de la Tierra a la dañina radiación ultravioleta. Dentro de los 10 artículos más relevantes de la revista **nature**, se encuentra “El Descubrimiento del Agujero de Ozono en la Antártida” que cambió la perspectiva de las ciencias de la atmósfera y arrojó una de las políticas ambientales más exitosas de la historia, a nivel mundial, como lo es el **Protocolo de Montreal**. En 1985 Joe Farman, Brian Gardiner y Jonathan Shanklin reportan con 20 años de datos de ozono total de las Estaciones Antárticas Haley y Faraday, que los niveles de ozono comenzaron a descender (Agujero de Ozono) en los meses de primavera austral hacia fines de la década de 1970. Ellos sugieren y atribuyen a que esa disminución de ozono se debe a compuestos de origen antropogénico llamados Clorofluorocarbonos (CFC's) los cuales provienen del uso de aerosoles y accesorios para refrigerar. En 1974 sugieren que el monóxido de cloro (ClO) se produce a partir de los CFC's y por lo tanto son destructores de ozono. A principios de la década de 1980, las mejores proyecciones de los modelos estratosféricos indicaron que, la producción continua de CFC's en grandes cantidades, pone en riesgo la destrucción de entre el 2% y el 4% de la capa de ozono para fines del siglo XX. Pero aún no se sugiere que el ozono en latitudes polares fuera especialmente sensible.

En 1974, Molina y Rowland publican los resultados de sus investigaciones en un artículo dentro de la revista **Nature**. En él advertían de la creciente amenaza que el uso de los gases CFC representan para la capa de ozono, aviso que en aquel momento fue criticado y considerado excesivo por un sector de investigadores. Sin embargo, la tenacidad y el convencimiento que depositaron en sus propias teorías conquistaron las mentes más incrédulas. Tras arduas deliberaciones, Molina y Rowland consiguieron la aprobación a sus tesis en encuentros científicos internacionales y estuvieron presentes en las reuniones en las que se fijaron los parámetros de control que debían hacer cada país en la emisión de CFC. El 4 de diciembre de 1995, Molina, Rowland y Crutzen fueron premiados con el **NOBEL** además por el Programa de la ONU para el Medioambiente (UNEP), por su contribución a la protección de la capa de ozono.

El agujero de ozono planteaba situaciones como el incremento de cáncer de piel, debido al aumento de la radiación ultravioleta y algunos otros daños en la ecología. Por lo tanto, los encargados de la formulación de políticas internacionales concluyeron que se necesitaba una estrategia cautelosa de protección del ozono y en marzo de 1985, se firmó la **Convención de Viena de las Naciones Unidas para la Protección de la Capa de Ozono**. Donde se pidió más investigación sobre la capa de ozono, pero no contenía objetivos legalmente vinculantes para la reducción de CFC's. El informe de Farman y sus colegas sobre la pérdida de un tercio de la capa de ozono primaveral sobre la Antártida se publicó unos meses después. La respuesta de los formuladores de políticas fue inicialmente bien recibida. Sin embargo, argumentaron que los principios de precaución eran parte de la convención y firmaron el **Protocolo de Montreal de 1987** sobre sustancias que agotan la capa de ozono. Este fue un acuerdo para detener el crecimiento de la producción y el consumo de sustancias que agotan la capa de ozono a las tasas vigentes en ese momento, y cumplir con el tiempo para

considerar si disminuir la producción. Posteriormente se ratificó notablemente rápida en 1989 y a enmiendas posteriores (comenzando con **la Enmienda de Londres en 1990**) que incluyeron restricciones cada vez más estrictas sobre la producción y el consumo mundial de sustancias que agotan la capa de ozono. El Protocolo de Montreal condujo a la eliminación mundial de la producción y el consumo de CFC's para 2010, y ahora el agujero de ozono antártico se está recuperando paulatinamente. Por tanto, el protocolo evitó que la capa de ozono colapsara y es una historia de éxito emblemática para la política medioambiental mundial. Debido a que los CFC's tienen una vida útil atmosférica de 50 años o más, la atmósfera no se recuperará por completo hasta después de 2050, incluso en ausencia de más emisiones (Solomon, 2017).

## 1. INTRODUCCIÓN

Un efecto relacionado e inesperado, se reveló a principios de la década de 2000, cuando los estudios mostraron que el agujero de ozono antártico ha afectado la circulación atmosférica en la superficie en el hemisferio sur, siendo notable el corrimiento de la corriente en chorro hacia el polo. Sin embargo, las observaciones y el modelado computacional confirman que la corriente en chorro troposférica es sensible a los cambios en los vientos estratosféricos y que el enfriamiento de la estratosfera polar está asociado con un desplazamiento hacia los polos de la corriente en chorro troposférica.

Para el final del siglo XX, se tiene la certeza de que, durante el verano, la corriente en chorro en la troposfera se ha desplazado 2° de latitud hacia el polo. Esto genera alteraciones en el transporte de calor y humedad en la atmósfera, produciendo un calentamiento en la Península Antártica, La Patagonia y Nueva Zelanda, además poca humedad (sequía) en el oeste de Tasmania y Nueva Zelanda. También, afecta la temperatura y salinidad del Océano Austral. Después de varias simulaciones por modelos, que incluyen efectos antropogénicos como aerosoles, gases de efecto invernadero, cambios de ozono en distintas capas de la atmósfera y Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SAO) y factores naturales como erupciones volcánicas y ciclos solares. En primer lugar, los resultados muestran que, al menos durante los últimos 20 años, la recuperación del ozono ejerció una fuerza lo suficientemente fuerte sobre la circulación troposférica como para superar el efecto opuesto de los aumentos de gases de efecto invernadero.

Esta es una contribución crucial al debate de larga data sobre el papel relativo de estos dos factores en las tendencias de circulación pasadas y futuras. A medida que los niveles de ozono continúen recuperándose, su tasa de cambio y la influencia asociada sobre el clima se debilitarán, aumentando el papel relativo de los aumentos de los gases de efecto invernadero, especialmente en escenarios de "solo negocios como hasta ahora" en los que no se hace nada para mitigar los efectos del efecto invernadero para el futuro. Por lo tanto, tales aumentos de emisiones podrían dominar los cambios futuros de la circulación troposférica y empujar la corriente en chorro hacia el polo. En segundo lugar, los hallazgos se suman a la evidencia de que los cambios estratosféricos pueden afectar el clima en la troposfera. Esto es importante porque, a pesar de décadas de investigación, el mecanismo exacto de estratosfera-troposfera es poco entendido. Por último, los resultados proporcionan una señal clara de que las acciones humanas pueden afectar el clima de la Tierra: el Protocolo de Montreal ha detenido el cambio climático asociado con el agotamiento del ozono. Esta es una

lección práctica sobre cómo debe reaccionar la comunidad internacional a los desafíos ambientales globales. Restringir las emisiones peligrosas y cambiar las prácticas comerciales es también la forma de combatir el calentamiento global causado por los gases de efecto invernadero (Karpechko, 2020).

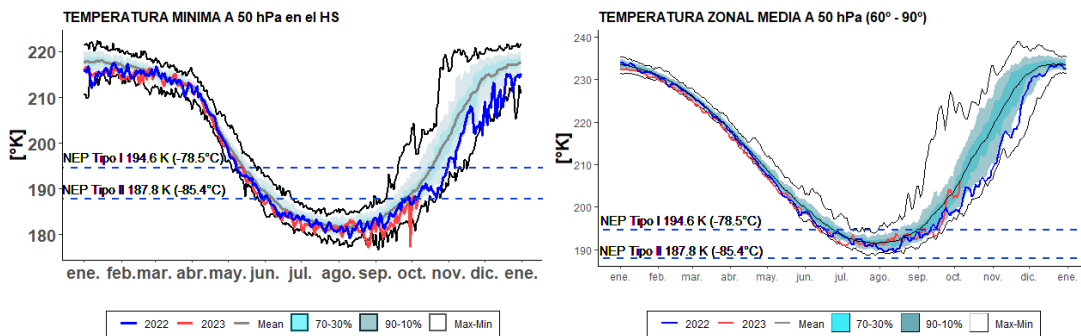
El objetivo del presente Boletín del Agujero de Ozono en la Antártida es monitorear la formación, evolución y finalización de la destrucción de ozono durante la primavera austral, a través de la evaluación de la Temperatura Estratosférica a nivel de 50 hPa y en latitudes polares, de 60° a 90° a 50 y 70 hPa, el análisis del área y volumen de las Nubes Estratosféricas Polares (NEP), así como la estabilidad del vórtice. Se incluye el análisis de observaciones satelitales y de superficie, la activación química del vórtice y el tamaño del Agujero de ozono. Finalmente, el impacto de la radiación ultravioleta en la Antártida y las conclusiones.

## 2. CONDICIONES METEOROLÓGICAS PREVALECIENTES.

### 2.1. Temperaturas.

Haciendo un análisis de la temperatura mínima en la estratosfera del Hemisferio Sur (HS) a 50 hPa y las temperaturas zonales en latitudes polares (60° a 90°) a 50 hPa, encontramos que la temperatura en la estratosfera a lo largo de lo que va del año han sido bajas, pero muy cercanas a la media y al año 2022, Probable que se deba a la variabilidad estratosférica, ya que los valores están dentro del percentil de 90%. Recientemente se observa un repentino enfriamiento, seguido de calentamiento en la estratosfera. En la parte del vórtice polar se puede explicar esta situación (*Figura 1*).

Fuente de datos: [https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/temp\\_2023\\_MERRA2\\_SH.html](https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/temp_2023_MERRA2_SH.html)



**Figura 1.** *Izquierda:* Temperatura mínima promedio en el HS a 50hPa. *Derecha:* Temperatura zonal a 50 hPa. Las temperaturas zonales sobre la región de 60° a 90° S. La línea color naranja, representa la evolución de las temperaturas para el año 2022 hasta el 28 de septiembre. La línea azul es el año 2022 La línea roja representa la media del periodo, 1979 a 2022. Las líneas externas negras, son los máximos y 1 mínimos del mismo periodo. Los sombreados en azul-verde de adentro hacia afuera, son los percentiles de 70 – 30% y de 10 – 90%.

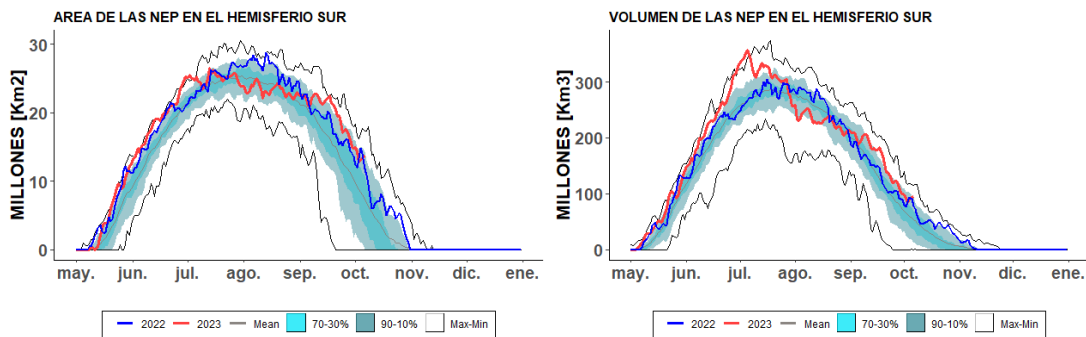
## 2.2 Área y Volumen de las NEP.

Las Nubes Estratosféricas Polares (NEP) se forman a través de las bajas temperaturas en la estratosfera; se considera Tipo I (ácido nítrico trihidratado) las que se forman a partir de una temperatura mínima inferior a 194,6 K (-78,5°C) a nivel isentrópico de 460 K y las Tipo II por debajo de los 187,7 K (-85,3°C). Los mecanismos de formación son a través de reacciones heterogéneas en la estratosfera.

En la *Figura 2* se puede observar que el área de las NEP para este año y hasta el momento (28 de septiembre), las NEP empiezan a decaer, debido a la radiación solar ya presente (Primavera Polar) alcanzado su máxima extensión en área de 25,97 km<sup>2</sup> (día, 16 de julio) y volumen de 357,32 millones de km<sup>3</sup> para el día 5 de julio.

El volumen de la BEO presenta un máximo histórico hacia el mes de julio, después decaen rápidamente liberando los compuestos que destruyen al ozono (CFC y NOx, principalmente) Actualmente, las temperaturas son favorables para continuar la producción pero es contrarrestada por la presencia de la radiación solar.

Fuente de datos: [https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/temp\\_2023\\_MERRA2\\_SH.html](https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/temp_2023_MERRA2_SH.html)



*Figuras 2. Área de las nubes estratosféricas polares (NEP), sobre la región Antártica. La línea color naranja, representa la el año 2023 hasta el día 28 de septiembre. La línea azul es el año 2022. La línea roja representa la media del periodo 1979 a 2022. Las líneas externas negras, son los valores máximos y mínimos durante el periodo 1979 – 2019. Las líneas sombreadas en azul-verde de adentro hacia fuera, son los percentiles de 70 – 30% y de 10 – 90%.*





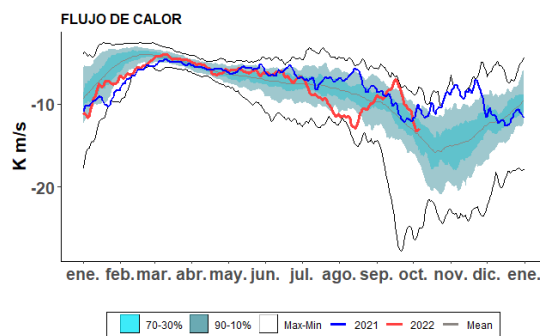
Nubes Estratosféricas Polares (NEP). Fotos: Sr. Diego Bordón, Pabellón Científico de la Estación Antártica Marambio, SMN 2020.

## 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 3** se muestra el desarrollo del flujo de calor. Lea el subtítulo para mayores detalles de cómo interpretar el gráfico.

Se puede observar en la **Figura 3** que a mediados de agosto, una disminución del flujo de calor y tiende hacia la calma, pero hacia la segunda semana de septiembre hay un flujo de calor repentino, que hace que la temperatura en la estratosfera aumente y diluya más rápido a las NEP y libere las sustancias agotadoras de ozono.

Fuente de datos: [https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/flux\\_2023\\_MERRA2\\_SH.html](https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/flux_2023_MERRA2_SH.html)



**Figura 3.** Serie de tiempo del flujo de calor. La curva naranja muestra los datos para 2023 (hasta el 28 de septiembre), la línea azul corresponde al año 2022 y las líneas externas negras, son los valores máximos y mínimos durante el periodo 1979–2022. Las líneas sombreadas en azul-verde de adentro hacia fuera, son los percentiles de 70–30% y de 10–90%.

En la **Figura 4** se observa el vórtice polar y su estabilidad, a través del Potencial de Vorticidad (PV), en una superficie isoentrópica de Temperatura Potencial a 475K, correspondiente a la baja estratosfera donde la destrucción de

ozono se lleva a cabo. Los valores entre más negativos, implican mayor estabilidad del vórtice polar. Y para finales del mes de septiembre, ya se observa un vórtice que día a día se estabiliza, además de que ya cubre el continente en su totalidad al continente Antártico (Grafico izquierda y centro).

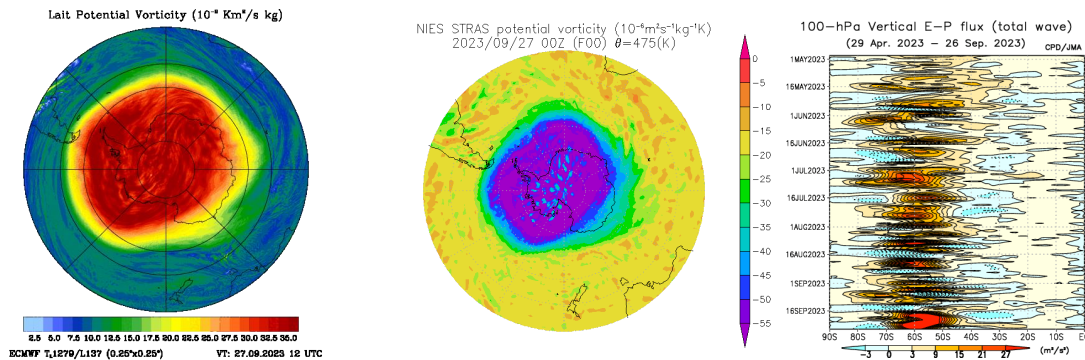
En el gráfico derecho del flujo Eliassen – Palm (E-P) se observa que después de la primera quincena de agosto, la actividad de onda no es intensa y poca perturbación se observa dentro del vórtice, acorde al flujo de calor en ese momento y tiene como consecuencia que, baja la temperatura en la estratosfera polar. Ya a mediados del mes de septiembre, puede observarse una la onda total se intensifica u permutaba al interior del vórtice, llevando calor y elevando la temperatura de la estratosfera, tal como se mostró en el apartado del análisis de las temperaturas.

Fuente de datos:

<http://www.pa.op.dlr.de/arctic/ecmwf.php?im=23>

<https://db.cger.nies.go.jp/gem/stras/en/forecast.html?date=20220830&polar=s&k=475>

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



**Figura 4.** Mapas de Vorticidad Potencial (PV) a una altura isentrópica de 475 K. Para el día 28 de septiembre. *Izquierda*, el mapa se construye con datos del ECMWF. *Centro*, el mapa se construye con datos del NCEP. *Derecha*, es la actividad de onda total atmosférica desde abril de este año.

### 3. OBSERVACIONES DE OZONO

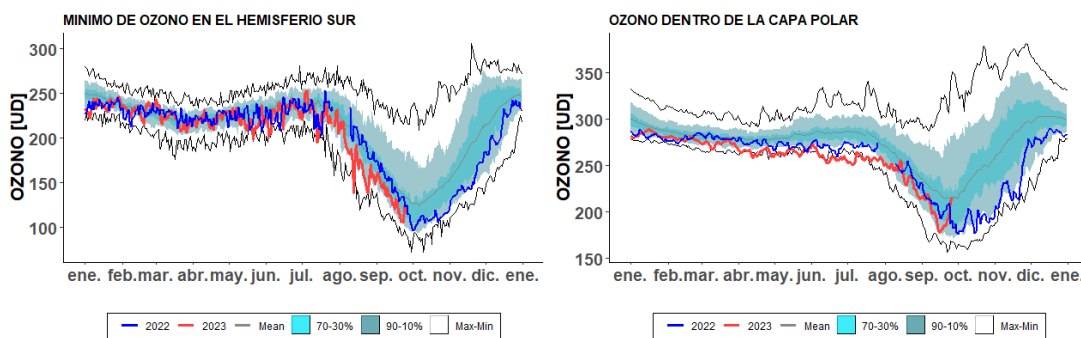
#### 3.1 Observaciones Satelitales

Al inicio de la primavera austral, el sol empieza a retornar a la Antártida, ya que finaliza la noche polar. Tanto los datos satelitales, los datos de superficie y sondeos con globos muestran que el agujero de ozono, ya inició su formación. A la fecha de hoy, ya se observa la destrucción de ozono en la estratosfera a través de los SAO albergados en las NEP.

La **Figura 5** muestra la columna de ozono mínimo en Hemisferio Sur (HS) y el Ozono dentro de la capa polar del 2023, tal como han sido medidas por el TOMS, OMI y OMPS, en comparación con su media del periodo 1979 a 2023.

Tal como se observó anteriormente, un vórtice estable durante el invierno polar, con una estratosfera fría y en calma, es decir con muy poco flujo de calor, produce NEP por arriba de la media y muy cercano a los máximos y genera los ingredientes propicios para una mayor destrucción de ozono. El mínimo de ozono en HS se encuentra oscilando alrededor de la media hasta antes del final de la noche polar. A inicios de la primavera, ya inicia la destrucción de ozono y se observa que es intensa, mayor que la media del intervalo de 1979 a 2022, e inclusive hay más destrucción que el año pasado, pero estos últimos días de septiembre, el calentamiento en la estratosfera hace que no haya tanta destrucción y que tienda a regresar a los niveles del año pasado (2022).

Fuente de datos: <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/monthly/SH.html>



**Figura 5.** *Izquierda*, mínimo diario de la columna total de ozono en el hemisferio sur. *Derecha*, es la columna total de ozono dentro de la capa polar. En ambos casos, la línea naranja muestra el año 2023 hasta el 28 de septiembre, la línea azul representa al año 2022. La línea roja es la media del periodo 1979 a 2022. Las líneas externas negras, son los valores máximos y mínimos durante el periodo 1979 – 2019. Las líneas sombreadas en azul-verde de adentro hacia fuera, son los percentiles de 70 – 30% y de 10 – 90%.

### 3.2 Observaciones en superficie

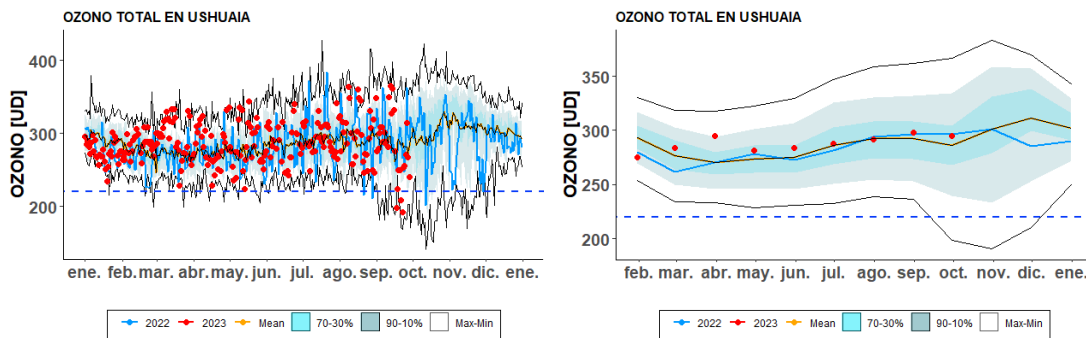
Por ahora, solo se usan, mediciones en superficie obtenidos mediante el Espectrofotómetro Dobson y ozonosondeos de la Estación GAW Ushuaia (54° 50' 54.46''S, 68° 18' 37.52'' O) Y mediciones con Espectrofotómetro Dobson de la Estación Antártica Marambio (61° 14' 33.68'' S, 56° 37' 36.98'' O), dependientes del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Ozonosondeos y mediciones del espectrofotómetro Brewer de la Estación Antártica Belgrano II (77°52'28''S 34°37'37''O). Este año no se toman mediciones de base San Martín ya que el Espectrofotómetro Brewer participará de la campaña de intercomparación de Brewers en latinoamerica que se llevará a cabo en Brasil durante el mes de noviembre de 2023. Los laboratorios multidisciplinarios LABEL y LASAN de las estaciones Belgrano II y San Martín dependen de la Dirección Nacional del Antártico/Instituto Antártico Argentino (DNA/IAA).

### 3.2.1. Estación VAG Ushuaia.

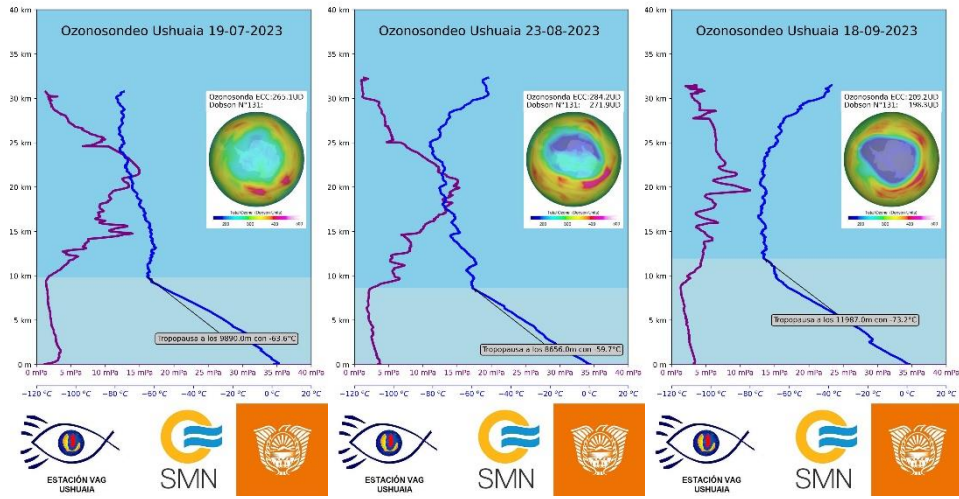


El espectrofotómetro Dobson (D131) mide todos los días y en la **Figura 6**, se muestra la evolución diaria de la columna total de ozono y las medias mensuales para el año en curso, comparado con su media histórica (1994-2022). Los datos diarios oscilan como todos los años, con gran amplitud y alrededor de la media, Tres días han superado y están por debajo del umbral de los 220 UD , tal es el caso de los días 18, 21 y 23 de septiembre.

En la **Figura 7** se muestra los primeros 3 perfiles de ozono y de temperatura, producidos por los ozonosondeos realizados el 19 de julio, 23 de agosto y 18 de septiembre. El día 18 de septiembre se lanza la ozonsonda el día que el agujero de ozono está presente sobre la ciudad de Ushuaia y se observa una reducción en el perfil con respecto a los otros dos días. El día 19 de julio y 23 de agosto muestra una temperatura inferior a los  $-78,5^{\circ}\text{C}$  y muy cercano a los  $-85^{\circ}\text{C}$ , en tal sentido se forman Nubes Estratosféricas Polares.



**Figura 6.** Datos de la columna Total de Ozono [UD] con el Espectrofotómetro Dobson en la estación VAG Ushuaia. En ambos gráficos los puntos rojos son los datos del año 2023. La línea naranja corresponde al año 2022, la línea axil oscura es la media del período 1994 a 2022.



*Figura 7. Ozonondeos realizados en la Estación VAG de Ushuaia. En los dos gráficos, la línea morada es la relación de mezcla del ozono expresado en unidades partes por billón [ppb] en cada nivel de la atmósfera. Y la curva roja es el perfil de la temperatura en [°C].*

### 3.2.1 Estación Antártica MARAMBIO.



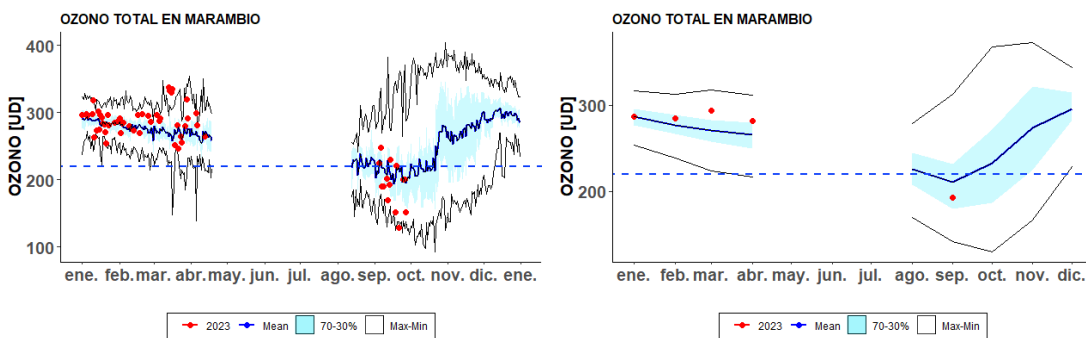




*Operadores del Pabellón Científico del Servicio Meteorológico Nacional (campana Antártica de Invierno 2023) Ing. Daniel Rios y Téc. Gabriel Arias.*

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.

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. A inicios del mes de septiembre, reinician las mediciones diarias y se observa que en el gráfico diario de la **Figura 8**, que las medidas oscilan alrededor de la media del periodo 1979 a 2022 durante el primer periodo del año, mientras que en el mes de septiembre, las pocas mediciones que se han podido hacer, se encuentran a menor altura de las mediciones están por abajo del umbral de los 220 UD, indicativo que el agujero de ozono cubre por completo la Península Antártica.



*Figura 8. Medición de ozono total en la estación Antártica Marambio Derecha, valores diarios. Izquierda, Promedios mensuales.*

### 3.3.3. Estación Antártica San Martín.



La estación Antártica San Martín se encuentra en la península Antártica San Martín ( $68^{\circ}07'48''$  S,  $67^{\circ}06' 8''$  O) 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 también es parte de la red europea de instrumentos Brewer **EUBREWNET**. El Espectrofotómetro Brewer se encuentra operando en la estación 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 septiembre) o debido a situaciones complicadas que impidan la medición, como vientos fuertes, lluvia, etc. Actualmente se no ha iniciado las mediciones para el monitoreo del agujero de ozono.

Los espectrofotómetros Brewer deben ser calibrados en forma rutinaria con la finalidad de tener un dato comparable. Para ello se cuentan con instrumentos patrones que se utilizan para calibrar a los instrumentos que conforman la red de Brewers. La calibración puede realizarse a través de empresas que cuentan con los instrumentos patrones o a través de campañas de calibración.

Durante este año 2023 el Brewer #162 participará de la campaña de calibración que se desarrollará en la localidad de Santa María, Brasil para todos los Brewers de Latinoamérica.

### 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 ozonosondeos que se realizan en esta base son realizados a través del convenio de Colaboración Científica entre la Dirección Nacional del Antártico - **Instituto Antártico Argentino** (IAA) y el instituto Nacional de Tecnología Aeroespacial (INTA) de España desde 1994 (**Figura 9**), donde se inicia la colaboración con el monitoreo de la capa de ozono y el NO<sub>2</sub> con el Espectrómetro Visible por Absorción (EVA), utilizando la técnica DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy). También se trabaja con el espectrómetro NEVA II que utiliza la técnica Max DOAS.

Belgrano salió de la noche polar a mediados de agosto y los instrumentos como el Brewer, no pueden operar por tener aún un ángulo solar muy alto. Por eso, al igual que Marambio y San Martín, se espera que el programa de medición inicie, según las condiciones meteorológicas lo permitan.



*Operadores del Instituto Antártico Argentino en la estación Belgrano II laboratorio LABEL. Ronaldo Porco, Elías Finck y Martín Juan Nosedá (Campaña Antártica de Invierno 2023) y lanzamiento de una ozonosonda.*

En la Figura 9 la evolución del agujero de ozono se muestra a través de los ozonosondeos, donde el día 6 de septiembre ya muestra una separación en los niveles de la capa de ozono (efecto mordisco) y para el día 31 de septiembre hay una disminución en la capa de ozono, denotando la presencia del agujero de ozono-



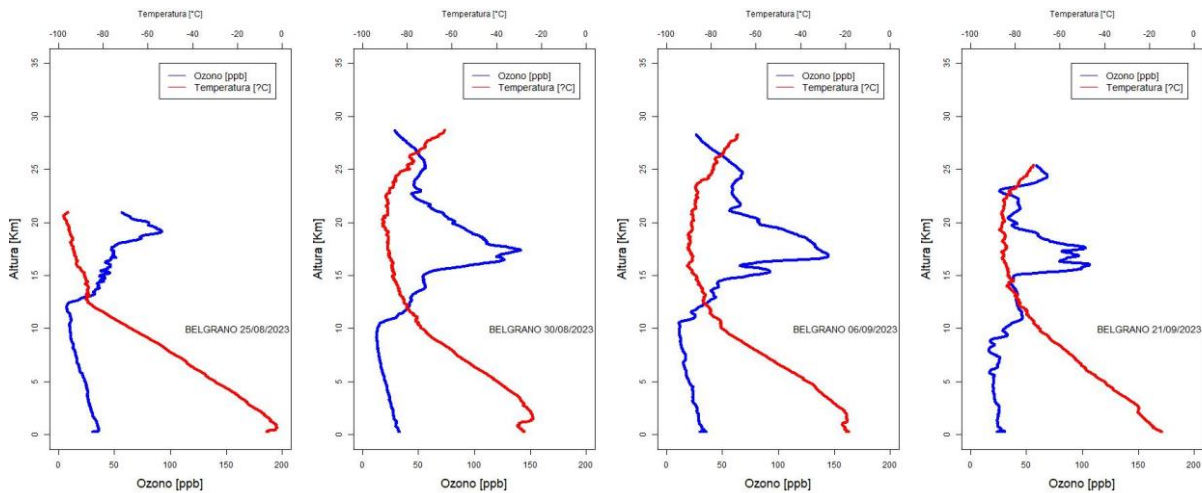


Figura 9. Ozonosondeos realizados en la Estación Antártica Belgrano II. En los dos gráficos, la línea azul es la relación de mezcla del ozono expresado en unidades partes por billón [ppb] en cada nivel de la atmósfera. Y la curva roja es el perfil de la temperatura en [°C].

## 4. El Agujero de ozono

### 4.1 El área del agujero de ozono

En la **Figura 10** se muestra el área de la región en la que el ozono total es menor a los 220 UD (Definido por la comunidad científica como Agujero de Ozono). Cuatro son los portales que reportan el área del agujero de ozono, los cuales reportan que, cualitativamente el comportamiento es muy similar y cuantitativamente difieren muy poco entre ellos. El consenso indica que están entre 28.98 y 26,15 millones de km<sup>2</sup>, cercano al máximo del 2022 con 26,5 Millones de Km<sup>2</sup>.

Fuente de datos:

[https://www.temis.nl/protocols/o3hole/o3\\_size.php?date=20230922&lang=0](https://www.temis.nl/protocols/o3hole/o3_size.php?date=20230922&lang=0)

<https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/monthly/SH.html> y <https://www.temis.nl/index.php>

<https://atmosphere.copernicus.eu/monitoring-ozone-layer>

[https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/polar/gif\\_files/ozone\\_hole\\_plot\\_N20.png](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/polar/gif_files/ozone_hole_plot_N20.png)

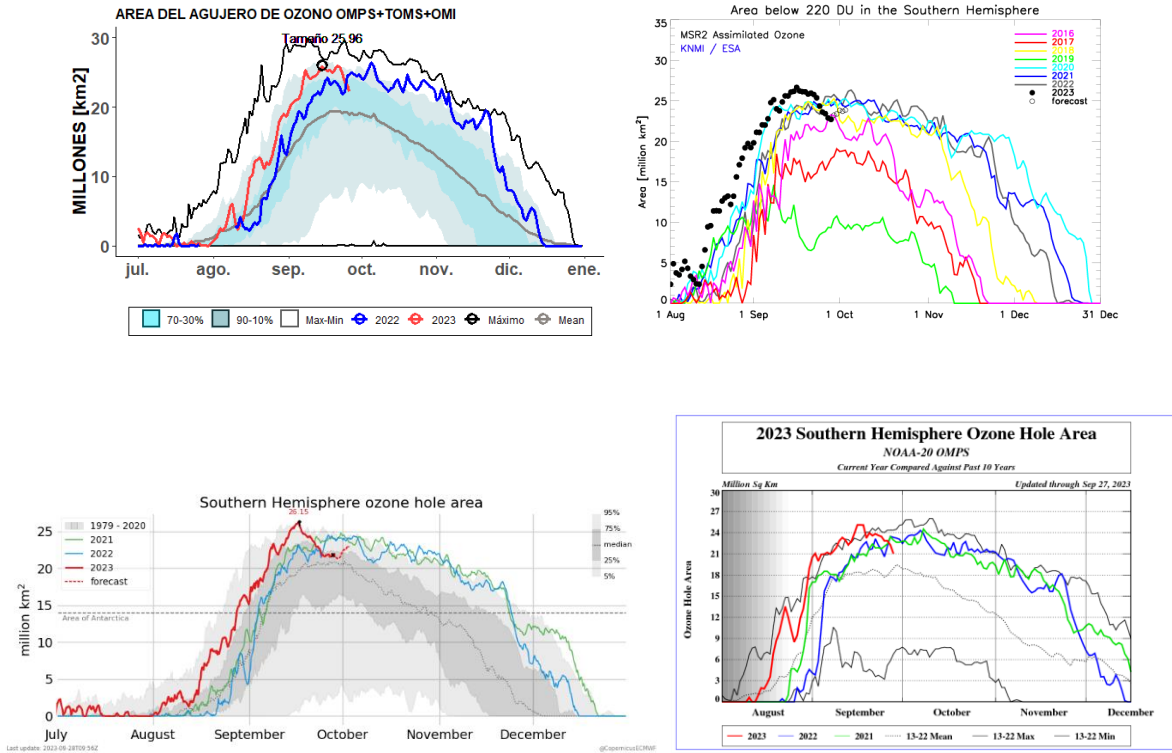


Figura 10. Área del Agujero de Ozono (millones de km<sup>2</sup>). Arriba a la Izquierda; son datos del TEMIS, Datos de la ESA (Agencia Espacial Europea). Arriba a la Derecha. Es el consenso de satélites de la NASA, EEUU (TOMS+OMI+OMPS). Abajo a la Izquierda, es el monitoreo del COPERNICUS ATMOSPHERE MONITORING SERVICE (CAMS) del Centro Europeo ECMWF- Abajo a la Derecha, el gráfico de la NOAA, solo del equipo OMPS.

En la Figura 11, se observa de manera global, el crecimiento del agujero de ozono durante los próximos 5 días (del 29 y 30 de septiembre, 1, 2 y 3 de octubre). Se espera que el 1 de octubre el agujero de ozono pase por el sur de la Patagonia.

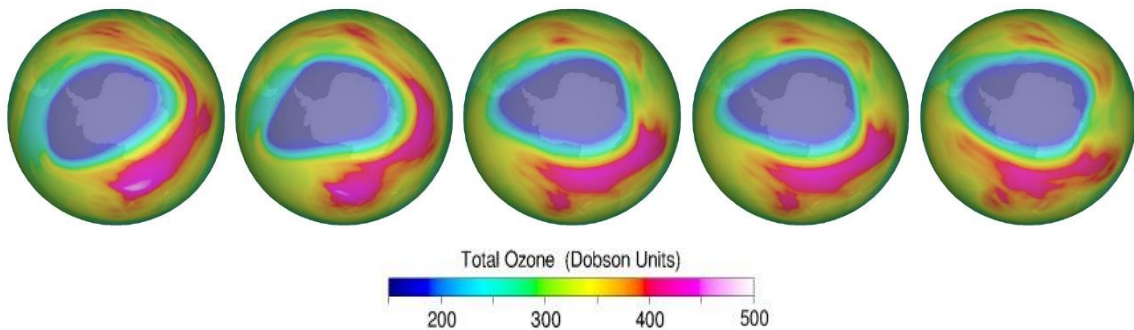


Figura 11. Proyecciones para los próximos 4 días a partir del día 26 de septiembre y muestran la evolución y crecimiento del agujero de ozono.

Animación de la evolución del agujero de ozono, sede 1 de Julio hasta a fecha: <https://atmosphere.copernicus.eu/antarctic-ozone-hole-starts-amid-questions-about-impact-hunga-tonga-eruption>

## 5- VOLCAN Hunga Tonga-Hunga Ha'apai

La erupción submarina de este volcán, arrijo aerosoles y vapor de agua hasta la estratosfera pero el año pasado no se detectó contenido de vapor de agua en la estratosfera a través de los ozonosondeos que se realizaron en Ushuia y Belgrano II (Ver Boletín Final de la Temporada del Agüero de Ozono 2022) Pero este año si encontró vapor de agua a través de la humedad relativa en los sondeos de ozono, tal es el caso de Belgrano II en la Figura 12. Donde la humedad relativa alcanza hasta más del 50%. De tal manera que esto contribuye a la destrucción de ozono.

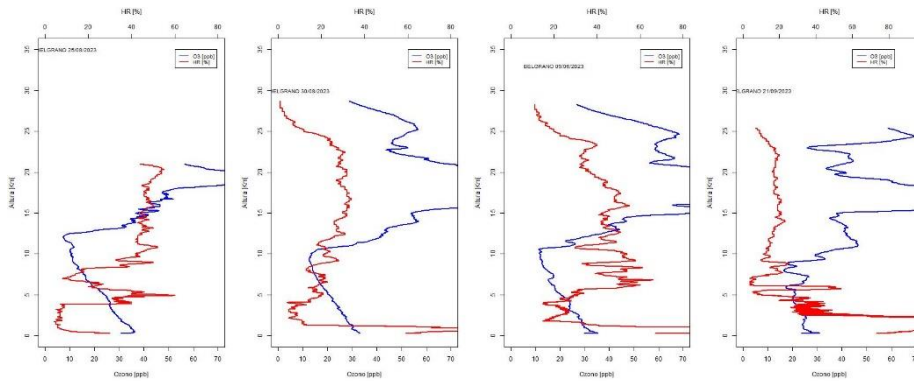


Figura 12. Perfil de ozono u Humedad Relativa (%) En la Estación Antártica Belgrano II.

## 6. CONCLUSION

El agujero de ozono se está actualmente desarrollando y evolucionando. Las condiciones meteorológicas de la estratosfera y el vórtice, ponen las condiciones físicas para su desarrollo, modulando su crecimiento, mientras que las condiciones químicas, a través de las NEP, inician con la destrucción del ozono total antártico.

Las temperaturas mínimas muestran un enfriamiento en la estratosfera antártica, por debajo de la media. Las NEP se han formado y se encuentran por arriba de la media histórica de tal manera que, continua la activación química del agujero de ozono, es decir especies de cloro, bromo y nitrógeno, han iniciado las reacciones catalíticas de destrucción de ozono. Las observaciones en superficie ya han empezado a medir, con excepción de la Estación Antártica de San Martín (se envía en equipo a calibrar). Los sistemas de medición muestran que, el máximo esta según las mediciones, en el rango de 28.98 y 26,15 millones de  $\text{km}^2$ , muy cercano al del año anterior, 2022 que fue de 26,5 millones de  $\text{km}^2$ .

Es evidente que hay vapor de agua en la estratosfera, detectado por las ozonosondas, lo que contribuye a la destrucción de ozono y crecimiento del agujero de ozono, a través de proceso químicos y formación de radicales OH que interactúan con el ozono.

**El próximo boletín se estima, antes del día 10 de octubre 2023.**

## 7. 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 - ECMWF).

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

Se agradece los datos de las ozonsondas 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 **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; **Ing. Daniel Rios y Téc. Gabriel Arias.**

Se agradece a los observadores Antárticos de Belgrano II del Laboratorio LABEL; **Téc. Elías Finck, Téc. Ronaldo Porco y al Téc. Martín Juan Nosedá.**

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Banerjee, A., Fyfe, J. C., Polvani L. M., Waugh, D., And Chang K. A pause in Southern Hemisphere circulation trends due to the Montreal Protocol, *Nature*, Vol 579, 544-548.
- 
- 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.
- 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.
- Karpechko, A., Y. (2020). Jet stream stops shifting as ozone layer recovers, Nature, Vol 579, 544-501.
- Solomon, S. (2019). The discovery of the Antarctic ozone hole, Nature, Vol 575, 46-47.
- 
- 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