



Servicio
Meteorológico
Nacional

BOLETIN 2 - TEMPORADA DEL AGUJERO DE OZONO 2022

Gerardo Carbajal Benítez¹, Héctor Ochoa^{2,3}, María Elena Barlasina¹, Eduardo Luccini^{4,5}, Facundo Orte⁶, Héctor Estévez Pérez⁷ y Elian Wolfram^{1,6}.

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, 2022

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 PREVALECENTES	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.	11
3.2.2 Estación Antártica MARAMBIO.	13
3.2.3 Estación Antártica San Martín	14
3.2.4 Estación Antártica Belgrano II	15
4. EL AGUJERO DE OZONO	16
4.1 El área del agujero de ozono.	16
5. CONCLUSIONES	17
6. AGRADECIMIENTOS	17
7. BIBLIOGRAFÍA	18

RESUMEN.

El presente Boletín 2, tiene por objetivo, establecer la evolución del Agujero de Ozono sobre la Antártida para el año 2022. La temperatura de la estratosfera mínima y zonal (50 – 90°S) en los últimos días muestra oscilaciones alrededor de la media (1979 - 2021), incluso por arriba de ella, aunque las proyección predicen nuevamente un enfriamiento que se prolonga hasta el 30 de septiembre. Posteriormente, la intensidad del flujo de calor se encuentra muy cercano a lo normal para estas fechas. Las Nubes Estratosféricas Polares (NEP) se forman durante inicios del invierno Antártico ya están en pleno descenso (Normal en estas fechas), tanto en área como en volumen, aunque la temperaturas indica que sigue la formación, pero esta es en un grado menor. Las NEP en este año han alcanzado su máxima extensión en área (27,79 km²) y volumen (287,80 millones de km³) para el día 14 y 13 de agosto, respectivamente. Pero aún permanecen las Tipo I y Tipo II en la Estratosfera Antártica pero en menor grado. La destrucción de ozono continúa presente debido a la liberación de las sustancias agotadoras de ozono, como el óxido de cloro (ClO). Si analizamos el ozono en la estratosfera de la Antártida, muestran que hay un poco más destrucción que la media del periodo 1979 a 2021, pero es muy parecido al año 2020 y 2021. El área Agujero de Ozono, hasta el 20 de septiembre es de 23,7 millones de km², por encima de su media hasta ese día que es 19,2 millones de km². Aún es muy temprano para establecer la tendencia y desarrollo del agujero de ozono hasta el final de la temporada.

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

ABSTRACT.

The objective of this Bulletin 2 is to establish the evolution of the Ozone Hole over Antarctica for the year 2022. The temperature of the minimum and zonal stratosphere (50 – 90°S) in recent days shows oscillations around the mean (1979 - 2021), even above it, although the projections again predict a cooling that lasts until September 30. Subsequently, the intensity of the heat flux is very close to normal for these dates. The Polar Stratospheric Clouds (PSE) are formed during the beginning of the Antarctic winter and are already in full decline (Normal at this time), both in area and volume, although the temperatures indicate that the formation continues, this is to a lesser degree. The NEPs this year reached their maximum extension in area (27.79 km²) and volume (287.8 million km³) on August 14 and 13, respectively. But Type I and Type II remain in the Antarctic Stratosphere but to a lesser degree. Ozone destruction is still present due to the release of ozone-depleting substances, such as chlorine oxide (ClO). If we analyze the ozone in the Antarctic stratosphere, they show that there is a little more destruction than the average for the period 1979 to 2021, but it is very similar to the years 2020 and 2021. The Ozone Hole area, until September, 20, is 23.7 million km², above its average until that day which is 19.2 million km², it is still too early to establish the trend and development of the ozone hole until the end of the season.

Key Words: Ozone, Stratosphere, Antarctica, Destruction, Chemistry y 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 cambio la perspectiva de las ciencias de la atmósfera y arrojo 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 el advertían de la creciente amenaza que el uso de los gases CFCs 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 CFCs. 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 Destructoras de Ozono (ODS) 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 PREVALECENTES.

2.1. Temperaturas.

Haciendo un análisis de la temperatura mínima en la estratosfera Antártica a una altura de presión de 50 hPa (~25km) y las temperaturas zonales en latitudes polares (60° a 90°) a 50 hPa, encontramos que la temperatura en la estratosfera antes del invierno han sido bajas, seguramente debido a la erupción del volcán Tonga a finales del mes de enero. Se observa un calentamiento estratosférico abrupto a inicios del mes de agosto, pero no se mantiene y la estratosfera se vuelve a enfriar, alcanzando un mínimo histórico en la tercera semana de septiembre, del mismo modo la temperatura zonal. Las proyecciones indican que la temperatura se eleva y casi podría alcanzar la media, en ambos casos, pero no la superan, de tal manera que la estratosfera continuaría fría, hasta el 30 de septiembre (*Figura 1*).

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

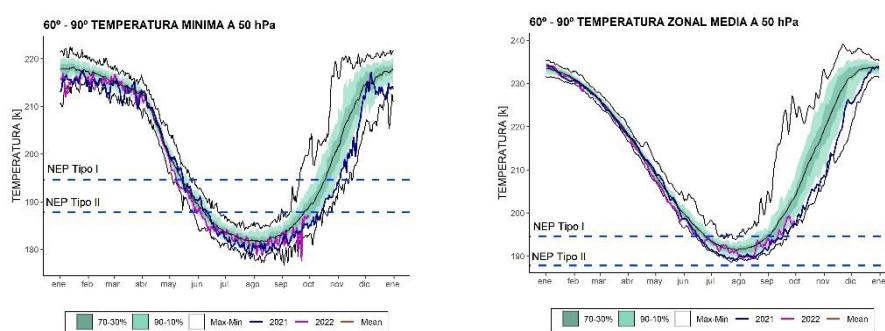


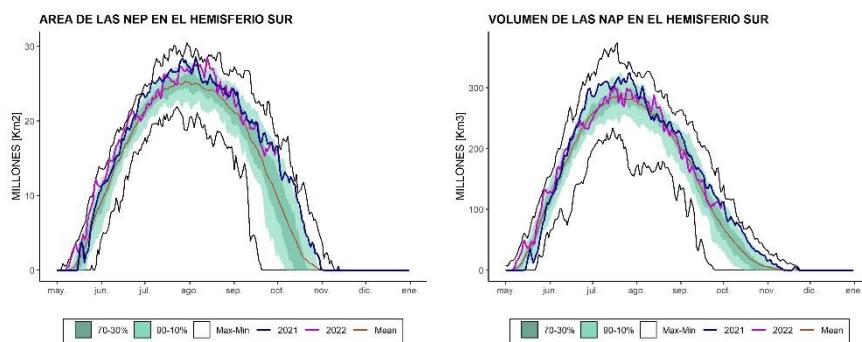
Figura 1. *Izquierda:* Temperatura mínima promedio a 50hPa. *Derecha:* Temperatura zonal media a 50 hPa. Las temperaturas zonales sobre la región de 50° a 90° S. La línea color marrón y azul, representa la evolución de las temperaturas para el año 2022 hasta el 30 de septiembre. La línea roja representa la media del periodo, 1979 a 2021. 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%. Las líneas rectas punteadas representan las nubes NEP tipo I 194,6 K (arriba) y NEP tipo II 187,8 (abajo)

2.2 Área y Volumen de las NEP.

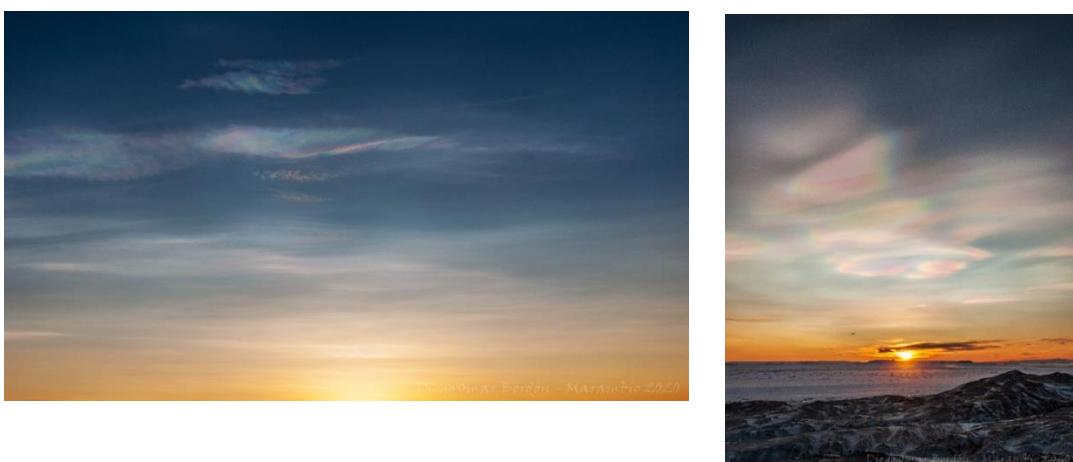
Las Nubes Estratosféricas Polares (NEP) se forman a través de las bajas temperaturas en la estratosfera; se considera Tipo I (ácido nítrico trihidratado) las que se forman a partir de una temperatura mínima inferior a 194,6 K (-78,5°C) a nivel isentrópico de 460 K y las Tipo II por debajo de los 187,7 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 (22 de septiembre), donde las NEP han alcanzado su máxima extensión en área ($27,79 \text{ km}^2$) y volumen (287,80 millones de km^3) para el día 14 y 13 de agosto. Mientras que la tercera de semana de septiembre, la curva decae, es decir el área y volumen disminuyen ya entrada la primavera y oscila entre la media y el año 2021.

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



Figuras 2. Área de las nubes estratosféricas polares (NEP), sobre la región Antártica. La línea color marrón, representa la evolución del tamaño de las NEP para el año 2022 hasta el día 30 de octubre. La línea roja representa la media del periodo 1979 a 2021, la línea azul es el año 2021. 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 la entrada de la tercera semana de septiembre, un aumento del flujo de calor muy cercana a la media, producto de una actividad de ondas atmosféricas (Ver en la [Figura 4](#)).

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

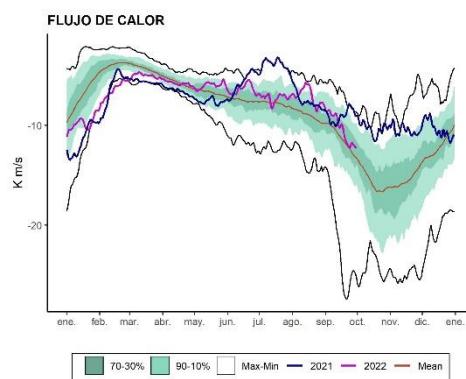


Figura 3. Serie de tiempo del flujo de calor. La curva marrón muestra los datos para 2022 (hasta el 30 de agosto), la línea azul corresponde al año 2021 y las líneas externas negras, son los valores máximos y mínimos durante el periodo 1979 – 2019. Las líneas sombreadas en azul-verde de adentro hacia fuera, son los percentiles de 70 – 30% y de 10 – 90%. Note que un gran número negativo significa un gran flujo de calor. Los valores cercanos a cero significan un flujo de calor pequeño o calma

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 Antártico.

En el gráfico del flujo Eliassen – Palm (E-P) se observa que después de la primera quincena de agosto, la actividad de onda se intensifica y produce una perturbación dentro del vórtice, esto es indicativo de que el flujo de calor se intensifica y que las proyecciones marquen un ascenso en las temperaturas, hasta el 30 de septiembre.

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=20220921&polar=s&k=475>

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

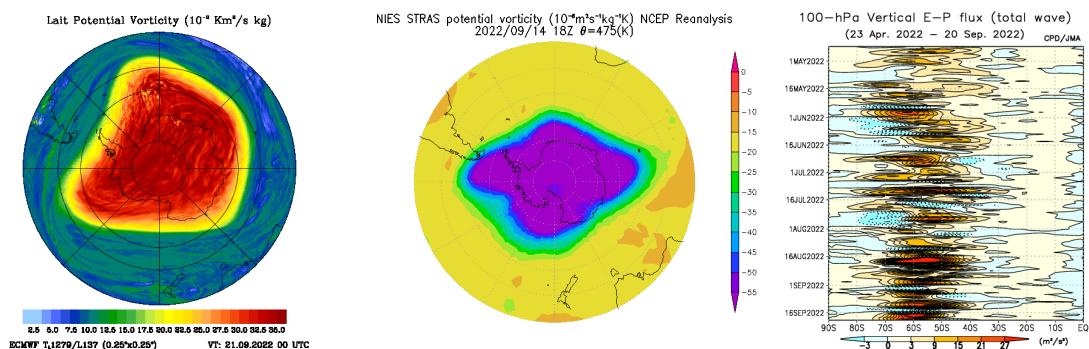


Figura 4. Mapas de Vorticidad Potencial (PV) a una altura isentrópica de 475 K. Para el día 21 de septiembre. **Izquierda**, el mapa se construye con datos del ECMWF. **Centro**, el mapa se construye con datos del NCEP. **Derecha**, es la actividad de onda atmosférica desde abril de este año (Agencia Japonesa de Meteorología).

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. A la fecha de hoy, ya se observa la destrucción de ozono en la estratosfera a través de los compuestos destructores de ozono (ODS) albergados en las NEP.

La **Figura 5** se muestra la columna de ozono mínimo en Hemisferio Sur (HS) y el Ozono dentro de la capa polar del 2022, tal como han sido medidas por el TOMS, OMI y OMPS, en comparación con su media del periodo 1979 a 2021.

Tal como se observó anteriormente, el vórtice ya está bien fortalecido, con una estratosfera fría pero muy cercana a la media y con proyecciones a subir la temperatura y las NEP disminuyendo muy cerca de la media histórica. Lo anterior marca que la destrucción de ozono está muy cercano a la media en hemisferio sur. Mientras que la destrucción en la capa polar se encuentra muy cerca de la media, por lo que se puede observar que es muy cercano y muy parecido al año 2021.

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

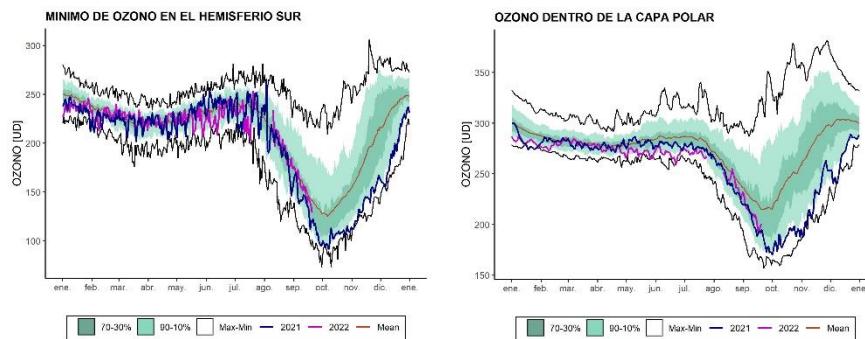


Figura 5. Izquierda, mínimo diario de la columna total de ozono en el hemisferio sur. **Derecha**, es la columna total de ozono dentro de la capa polar. En ambos casos, la línea violeta muestra el año 2022 hasta el 21 de septiembre, la línea azul representa al año 2021. La línea roja es la media del periodo 1979 a 2021. Las líneas externas negras, son los valores máximos y mínimos durante el periodo 1979 – 2021. 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 ($54^{\circ} 50' 54.46''S$, $68^{\circ} 18' 37.52''O$) Y mediciones con Espectrofotómetro Dobson de la Estación Antártica Marambio ($61^{\circ} 14' 33.68''S$, $56^{\circ} 37' 36.98''O$), dependientes del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Ozonosondeos y mediciones del espectrofotómetro Brewer de la Estación Antártica Belgrano II ($77^{\circ} 52' 28''S$ $34^{\circ} 37' 37''O$), medidas con Espectrofotómetro Brewer de la Estación Antártica San Martín ($68^{\circ} 07' 48''S$, $67^{\circ} 06' 08''O$), ambos laboratorios bajo la dependencia 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 (1994-2021). Los datos diarios oscilan como todos los años, con gran amplitud y alrededor de la media, solo en dos casos los valores están por debajo del umbral de los 220 UD, tal es el caso de los días 21 y 28 de agosto (215 y 211 UD, respectivamente). En el grafico mensual, los valores oscilan muy cercanos a la media.

En la **Figura 7** se muestra los 6 perfiles de ozono y de temperatura, producidos por los ozonosondeos realizados el 27 de julio; 10 y 24 de agosto; 7, 14, y 21 de septiembre. El día 27 de julio muestra una temperatura inferior a los -78,5°C y muy cercano a los -85°C, en tal sentido se observaron en el sur de la Patagonia (Tierra del Fuego y Punta Arenas) Nubes Estratosféricas Polares, muy inusual su formación en estas latitudes, derivando en varias notas periodísticas. No se detecta alguna anomalía significativa en los perfiles.

<https://www.meteored.cl/noticias/actualidad/julio-2022-inusuales-nubes-nacaradas-estratosfericas-polares-se-dejaron-ver-en-la-patagonia.html>

<https://www.elpais.com.uy/informacion/sociedad/nubes-estratosfericas-polares-aparecieron-argentina-son-son-peligrosas.html#>

<https://www.elobservador.com.uy/nota/las-nubes-de-colores-que-asombran-en-el-sur-de-argentina-por-que-son-peligrosas--202281203212>

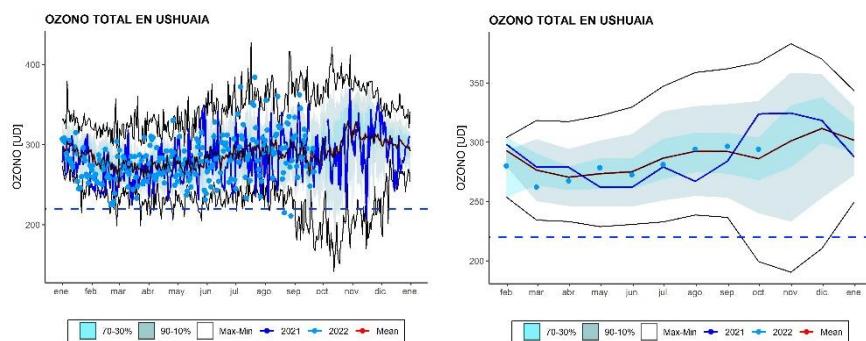


Figura 6. Datos de la columna Total de Ozono [UD] con el Espectrofotómetro Dobson en la estación VAG Ushuaia. En ambos gráficos los puntos rojos son los datos del año 2021. La línea naranja corresponde al año 2020, la línea negra la media del período 1994 a 2020.

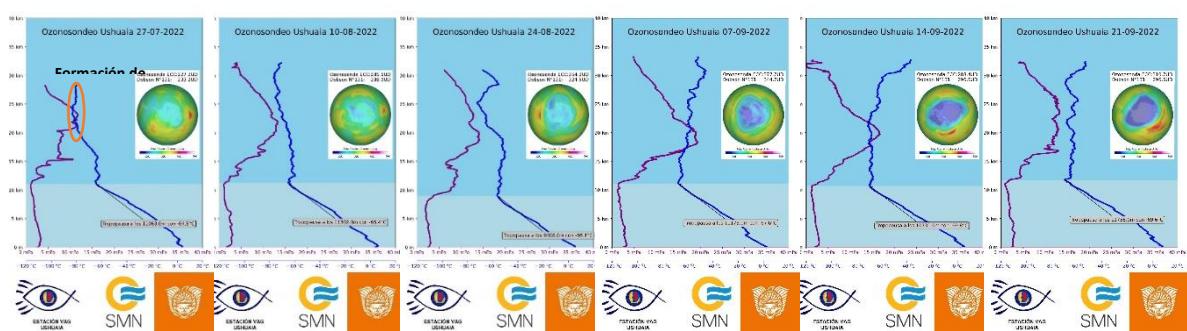


Figura 7. Ozonosondeos realizados en la Estación VAG de Ushuaia. En los dos gráficos, la línea morada es la relación de mezcla del ozono expresado en unidades partes por billón [ppb] en cada nivel de la atmósfera. Y la curva roja es el perfil de la temperatura en [°C].

3.2.2 Estación Antártica MARAMBIO.



La estación Antártica Marambio se encuentra en la península Antártica y forma parte de la red de medición de ozono total de programa VAG de la OMM. El ozono total se mide con espectrofotómetro Dobson, 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 mediados del mes de agosto, reinician las mediciones diarias y se observa que en el grafico diario de la [Figura 8](#), que algunos de los valores de las medidas, después de reiniciar la actividad después de la noche polar, se encuentran por encima de la media del periodo 1979 a 2021, algunos valores se acercan a máximos históricos. Otros valores están por debajo del umbral de los 220 UD, indicativo que el agujero de ozono no es grande y tiene pasadas por la Península Antártica. El promedio mensual predomina los valores altos por arriba de la media.

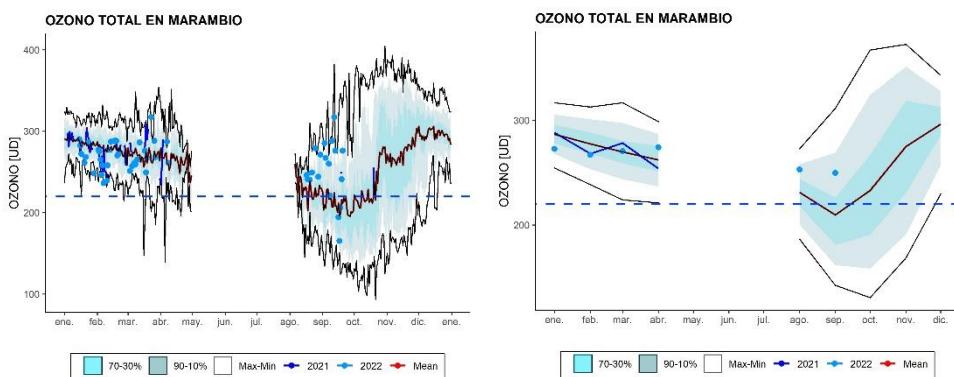


Figura 8. Figura 8. Medición de ozono total en la estación Antártica Marambio Derecha, valores diarios. Izquierda, Promedios mensuales.

3.2.3. 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 y a partir del 1 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 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.



Espectrofotómetro Brewer de Base San Martín operado por el personal técnico del IAA Bioingeniero Ramiro Gramajo, Ingenieros Andrés Broggi y nazareno Tintes.

3.2.4 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, donde se inicia la colaboración con el monitoreo de la capa de ozono y el NO₂ con el Espectrómetro Visible de Absorción (EVA), utilizando la técnica DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy). Hoy se trabaja con espectrómetros que utilizan la técnica Max DOAS.

En la **Figura 9** se muestra el ozonosondeo de 21 de septiembre para la Estación y se observa el deterioro del perfil de ozono en diversos niveles. Dando un valor de ozono total de 149,8 UD, indicativo que el agujero de ozono está por encima del continente Antártico.



Operación de Espectrofotómetro Brewer y lanzamiento de ozonosonda en Base Belgrano II por el Técnico del IAA, Valerio Ezequiel Adrián y personal del SMN que colabora en los lanzamientos, Suboficial principal Albornoz (Jefe) y Suboficial Auxiliar López (Encargado) de la Estación Meteorológica Belgrano 2.

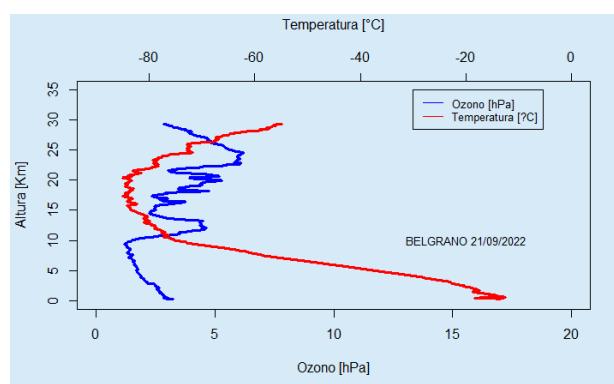


Figura 9. Ozonosondeo realizado en la Estación Antártica Belgrano. En el gráfico, la línea azul es la relación de mezcla del ozono expresado en unidades partes por billón [ppb] en cada nivel de la atmósfera. Y la curva roja es el perfil de la temperatura en [°C].

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 las 220 UD (Definido por la comunidad científica como Agujero de Ozono). Actualmente, hasta el 20 de septiembre es de 23,7 millones de km². Pero las proyecciones muestran que puede ir aumentando su tamaño (TEMIS y COPERNICUS) y acercarse al tamaño del año 2015.

Fuente de datos: Fuente de datos:

<https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>.

https://www.temis.nl/protocols/o3hole/o3_size.php?date=20220922&lang=0.

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

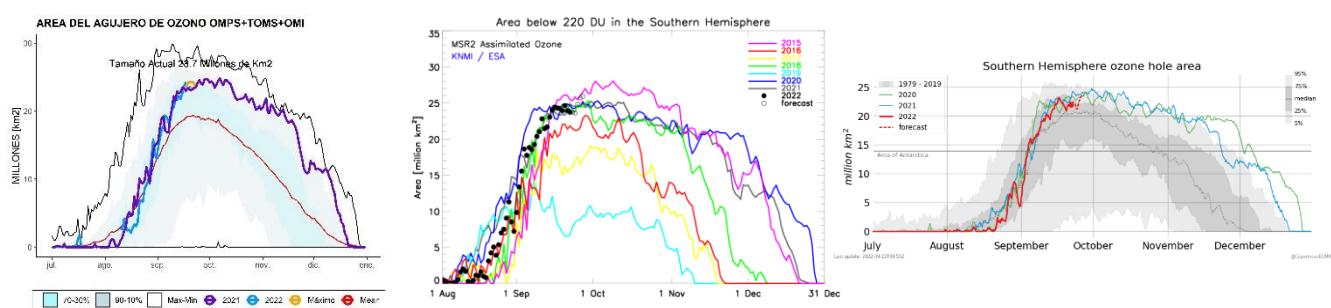


Figura 10. Área (millones de km²) donde la columna total de ozono es menor de 220 unidades Dobson, hasta el 30 de septiembre. Izquierda; Satélites de la NASA, EEUU (TOMS+OMI+OMPS). Derecha, Datos de la ESA (Agencia Espacial Europea).

En la **Figura 11**, se observa de manera global, el crecimiento del agujero de ozono durante los próximos 5 días (del 25 al 29 de septiembre).

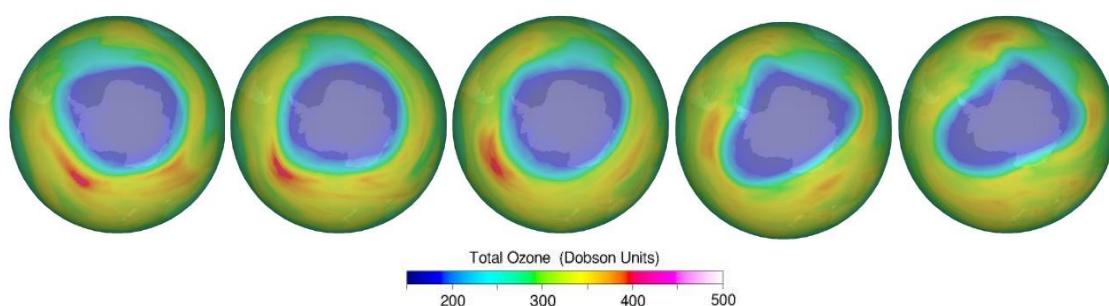


Figura 11. Proyecciones para los próximos 4 días a partir del día 6 de septiembre y muestran la evolución y crecimiento del agujero de ozono.

Animación de la evolución del agujero de ozono, sede 1 de Julio hasta a fecha:
https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/ozone_maps/movies/OZONE_D2022-07-01%25P1D_G%5e1280X720.IOMPS_PNPP_V21_MMERRA2_LSH.mp4

6. Conclusión.

La destrucción de ozono en la estratosfera antártica continúa, de manera que se destruye un poco más que lo normal, pero en menor grado que año 2021, aunque es muy similar dicha destrucción. 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, continúan en pleno desarrollo aunque ya se está presente la disminución de las NEP en área y volumen, debido a la entrada de la primavera y la radiación solar.

Las temperaturas mínimas muestran una oscilación alrededor de la media, e incluso con eventos de pequeños calentamientos no significativos, mientras que las proyecciones muestran que el enfriamiento continuará muy parecido a los años 2020 y 2021.

Las observaciones en superficie, muestran en Marambio, una reducción al umbral de los 220 UD causado por el paso del agujero de ozono sobre la Península Antártica. Belgrano, en su ozonosondeo, ya muestra valores que al agujero de ozono esta en plena formación del agujero de ozono. Finalmente Ushuaia, al borde del vórtice polar, muestra valores por arriba del umbral de los 220 UD, esto indica que aún no pasa el agujero de ozono.

El próximo boletín se estima que será publicado antes del día 14 de octubre 2022.

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).

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

Se agradece los datos de las ozonosondas 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 Gambarate**.

Se agradece a los observadores Antárticos del Pabellón Científico de Marambio; **Sr. Francisco Quarín y Sr. Julián Dimitri**.

Se agradece a los observadores Antárticos de San Martín del Laboratorio LASAN: **Bioing. Rodrigo Gramajo, Ing. Andrés Broggi y Ing. Nazareno Tintes**.

Se agradece a los observadores Antárticos de Belgrano II del Laboratorio LABEL; **Téc. Valerio Ezequiel Adrián y al**

personal del SMN que este año colabora con los lanzamientos de ozonosondas Sub. Principal Albornoz y Sub. Auxiliar López.

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. Chabriat, 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 Benítez 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