



Servicio
Meteorológico
Nacional

BOLETIN 1 - TEMPORADA DEL AGUJERO DE OZONO EN LA ANTARTIDA 2026

Gerardo Carbajal Benítez¹, Héctor Estévez Pérez⁷, Héctor Ochoa^{2,3}, Eduardo Luccini^{4,5}, Facundo Orte⁶ 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. Red Solarimétrica del Instituto de Geofísica, UNAM, México.

Agosto, 2026

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
1. Introducción.	5
2. CONDICIONES METEOROLOGICAS PREVALECIENTES	6
2.1 Temperaturas.	6
2.2 Área y volumen las NEP	7
2.3 Estabilidad del vórtice.	7
3. OBSERVACIONES DE OZONO	9
3.1 Observaciones Satelitales.	9
3.2 Estaciones en superficie.	9
3.2.1 Estación VAG USHUAIA.	10
4. EL AGUJERO DE OZONO	11
4.1 El área del agujero de ozono.	11
5. CONCLUSIONES	13
6. AGRADECIMIENTOS	13
7. BIBLIOGRAFÍA	14

RESUMEN.

El presente Boletín 1, tiene por objetivo, establecer la evolución del Agujero de Ozono sobre la Antártida para el año 2026. El agujero de ozono se está actualmente desarrollando. 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 y zonales, muestran temperaturas bajas (50° a 90°C), lo que produce que la Nubes Estratosféricas Polares se hayan desarrollado con gran extensión, superando valores máximos históricos, aunado un flujo de calor muy pequeño y poca activada de ondas atmosféricas, de tal manera que el vórtice polar se contrae hacia el continente Antártico. Es muy temprano para que a través de los datos de la estación VAG Ushuaia, se observe destrucción de ozono, tanto para el espectrofotómetro Dobson como para las ozonosondas. Finalmente, el consenso de los portales que monitorean el agujero de ozono, coinciden que éste hasta el momento, rebasan los 10 km^2 y continua con su desarrollo y evolución.

Palabras Claves: Ozono, Estratosfera, Antártida, Destrucción, El Niño y Meteorología.

ABSTRACT.

This Bulletin 1 aims to outline the anticipated evolution of the ozone hole over Antarctica by 2026. The ozone hole is currently forming, influenced by stratospheric meteorological conditions and the polar vortex, which modulate its growth. Chemical factors, particularly polar stratospheric clouds (PSCs), trigger the destruction of total Antarctic ozone. Current minimum and zonal temperatures are unusually low, ranging from -50°C to -90°C , which has led to the extensive formation of polar stratospheric clouds, surpassing historical maximum levels. Additionally, the very low heat flux and minimal atmospheric wave activity contribute to the polar vortex contracting towards the Antarctic continent. At this time, it is too early to observe ozone destruction using data from the VAG Ushuaia station, whether through the Dobson spectrophotometer or ozone probes. Lastly, monitoring portals that track the ozone hole report that it currently exceeds 10 million square kilometers and continues to develop.

Key Words: Ozone, Stratosphere, Antarctica, Destruction, El Niño, Chemistry y Meteorology

1. INTRODUCCIÓN

El agotamiento de la capa de ozono en la estratosfera antártica es un proceso complejo y multifactorial (Gerasimov et al. 2026). Los principales factores que afectan el tamaño y la profundidad del agujero de ozono incluyen; las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO) y las reacciones químicas que las involucran, las fuentes de SAO y los mecanismos de formación de SAO en la estratosfera antártica. Además, diversos procesos dinámicos, como la fuerza y estabilidad del vórtice polar y la cantidad de nubes estratosféricas polares (NEP), etc. (Kohma y Sato, 2011; Newman, 2010; Varotsos y Zellner, 2010).

Después, la adopción del Protocolo de Montreal en 1987, se esperaba que la reducción en la producción mundial de clorofluorocarbonos (CFC) ayudara a la recuperación del agujero de ozono. Las proyecciones actuales sugieren que esto debería ocurrir aproximadamente para el año 2066 (con un rango de 2049 a 2077) (OMM, 2022). El retraso en la recuperación del agujero de la capa de ozono se explica por varias razones.

1. Grandes reservas de los compuestos CFC-11 (CCl_3F), CFC-12 (CCl_2F_2) y CFC-113 ($\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$) más comunes. Permanecen en los bancos de CFC, principalmente en forma de espuma (Montzka et al., 2018).
2. La vida útil promedio de los CFC-11, CFC-12 y CFC-113 se estima en 54,0, 93,2 y 89,3 años, respectivamente (Lickley et al., 2021).
3. En los últimos años se ha descubierto la producción, hasta ahora no reportada, de CFC-11 (Montzka et al., 2018; Rigby et al., 2019) y diclorometano (CH_2Cl_2) (An et al., 2021).
4. El aumento de las emisiones de los gases de efecto invernadero dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4) conduce al cambio climático, la intensificación la formación de HCl y, empuje del vórtice polar hacia la Antártida produciendo un enfriamiento mayor y favoreciendo las NEP (OMM, 2022).
5. En la última década, grandes erupciones volcánicas, como la del Calbuco el 22 de abril de 2015, han provocado el agotamiento de la capa de ozono y un aumento del área del agujero de ozono debido al transporte de eyecciones volcánicas a la región polar del hemisferio sur (Bègue et al., 2020; Ivy et al., 2017; Solomon et al., 2016; Stone et al., 2017; Zhu et al., 2018).
6. Las columnas de humo de grandes incendios forestales pueden llegar a la troposfera superior y la estratosfera inferior mediante ascenso convectivo dentro de nubes pirocúmulonimbos (pyroCbs) (Fromm et al., 2010) y luego a la estratosfera media mediante elevación propia (Allen et al., 2024; Ohneiser et al., 2023; Yu et al., 2019). Los productos de combustión de biomasa de estos incendios forestales pueden propagarse a escala hemisférica y permanecer en la estratosfera durante meses (Cheremisin et al., 2022; Gerasimov et al., 2019, 2024; Siddaway y Petelina, 2011; Torres et al., 2020; Trickl et al., 2024; Zuev et al., 2019).
7. Por último, los rayos cósmicos galácticos podrían contribuir en cierta medida al agotamiento de la capa de ozono (Grooß et al., 2018).

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 y en un contexto de presencia del

fenómeno El Niño intenso, 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.

En la **Figura 1** (izquierda) la serie de tiempo de las temperaturas media zonal a un nivel 10 hPa se aprecia que las temperaturas bajas inician a partir de principios de junio y se mantienen hasta la fecha e incluso las proyecciones muestran que continuaran bajas. En el segundo gráfico (derecha) se muestra el campo de las anomalías temperaturas a la misma altura, donde se observa que la anomalía máxima de temperaturas bajas se encuentra el océano índico, mientras que las anomalías positivas se encuentran por encima de la isla Berkner y Ronne Ice Shell.

Fuente de datos:

https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/temp_2024_MERRA2_SH.html

<https://charts.ecmwf.int/products/extended-anomaly>

[10t?base_time=202507310000&player_dimension=base_time&projection=opencharts_antarctic&valid_time=202508250000](https://charts.ecmwf.int/products/extended-anomaly?base_time=202507310000&player_dimension=base_time&projection=opencharts_antarctic&valid_time=202508250000)

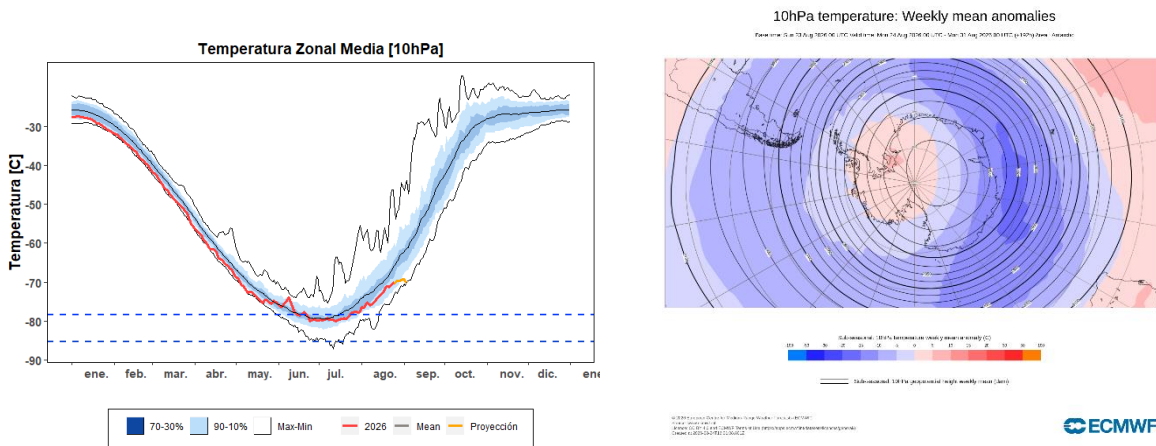


Figura 1. A la izquierda la serie de tiempo de temperatura a 10 hPa, en color marrón la media y en color negro los máximos y mínimos del periodo 1979 a 2025, mientras que el color rojo representa del 1 de enero al 24 de agosto del año 2026. El color naranja es la proyección del 25 de agosto al 3 de septiembre. El mapa a la derecha es la anomalía media semanal que corresponde del 23 al 28 de agosto, para el color rosa a rojo es la anomalía positiva de temperatura, mientras que el color azul en degrade es la anomalía negativa.

2.2 Área de las Nubes Estratosféricas Polares (NEP).

En la [Figura 2](#) se puede observar las NEP tipo I (Izquierdo) y tipo II (derecho) que están muy en dependencia de la temperatura en la estratosfera. En ambas tipos de nubes responde al enfriamiento de la estratosfera, presentando en las Tipo I, valores históricos que superan los máximos que años anteriores se habían tenido durante finales del mes de julio y lo que va del mes de agosto. Los NEP tipo II muestran valores altos e incluso superan al percentil del 90%, sobre todo en el mes de julio y por algunos momentos en agosto.

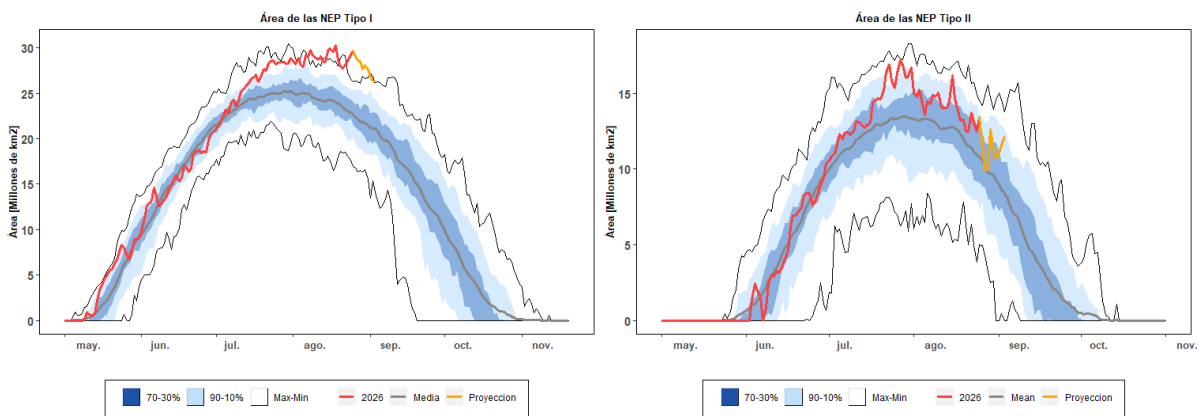


Figura 2. Área de las nubes estratosféricas polares (NEP) Tipo I (Izquierda) y Tipo II (derecha), sobre la región Antártica. La línea color roja, representa la el año 2026 hasta el día 26 de agosto, mientras que la línea naranja es la proyección hasta el 3 de septiembre. Las líneas externas y central negras, son los valores medias, máximos y mínimos, durante el periodo 1979 – 2024. Las líneas sombreadas en azul-degrade, son los percentiles de 70 – 30% y de 10 – 90% para el mismo periodo.

Fuente de datos: https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/temp_2023_MERRA2_SH.html

2.3 ESTABILIDAD DEL VÓRTICE

En la [Figura 3](#) se puede observar que, desde el mes de mayo y lo que va de agosto, la estratosfera se encuentra con muy poca actividad en cuanto al flujo de calor (Izquierda), debido al poco flujo de ondas Rossby generadas y que se puede observar en la imagen (derecha).

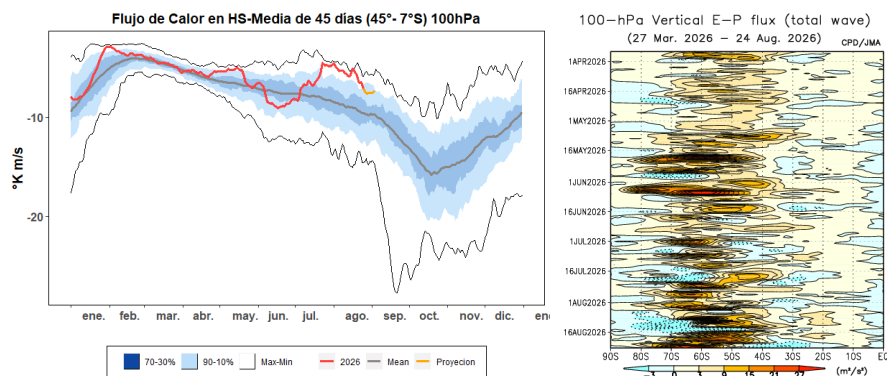


Figura 3. (Izquierda) Serie de tiempo del flujo de calor meridional promediado sobre la región entre 45-75°S. La curva roja

muestra los datos para 2026, mientras que la línea naranja es la proyección hasta el 3 de septiembre. Note que un gran número negativo significa un gran flujo de calor. Los valores cercanos a cero significan un flujo de calor pequeño. Las líneas externas y central negras, son los valores medias, máximos y mínimos durante el periodo 1979 – 2024. Las líneas sombreadas en azul-verde de adentro hacia fuera, son los percentiles de 70 – 30% y de 10 – 90% para el mismo periodo. (Derecha) Flujo de ondas que se propagan verticalmente Eliassen-Palm (Onda Total) para los días 27 de marzo al 24 de agosto, 2026.

Fuente de datos:

https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/flux_2026_MERRA2_SH.html

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

En la **Figura 4** se observa el área del vórtice polar y su estabilidad, a través de la serie de tiempo y el Potencial de Vorticidad (PV). (Arriba-Izquierda) el área del vórtice polar a una altura isoentrópica de 460K y se observa que el área disminuye a mediados de julio hasta lo que va de agosto y la proyección muestra que seguirá esa tendencia, pero en la imagen (Arriba-Derecha) se observa un debilitamiento de los vientos circundantes del vórtice polar, pero la proyección muestra un fortalecimiento de estos vientos para los próximos días. La imagen (abajo) muestra los campos de Potencial de Vorticidad, donde se muestra su debilitamiento y deformación.

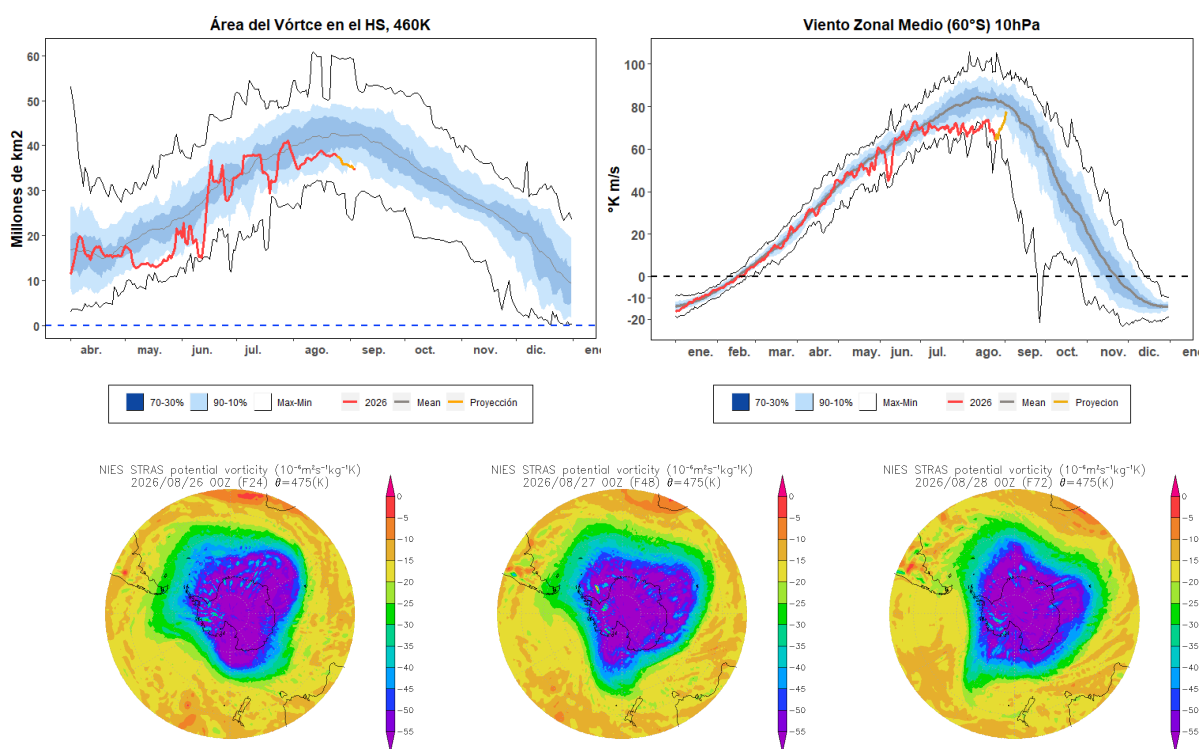


Figura 4. Arriba-izquierda; es la serie de tiempo del área del vórtice polar, en tanto arriba-derecha es el viento circundante al vórtice polar. En ambos, la línea roja es el año 2026 y el color naranja es la proyección del 26 agosto al 3 de septiembre, en tanto la media, máximos y mínimos, los percentiles en azul degradado son del 10 al 90% y del 30 al 70%, del periodo 1979 al 2025. Abajo son los mapas de Vorticidad Potencial (PV) a una altura isentrópica de 475°K. Los mapas son construidos por el Ceter for Global Environmental Research en Japón.

Fuente de datos:

https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/flux_2026_MERRA2_SH.html

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

3. OBSERVACIONES DE OZONO

3.1 Observaciones Satelitales

En la [Figura 5](#) se muestra los mínimos de ozono en el Hemisferio Sur (Izquierda) que, durante todo el año ha oscilando a través de su media histórica y a partir del mes de agosto se observa una pérdida aunque aún no significativa. El ozono dentro de la capa polar (Centro) hay disminución de ozono que, está relacionado con la formación del vórtice, que inicialmente es estable y con una estratosfera fría que impide que el transporte de ozono penetre hacia la Antártida. Finalmente, el déficit de ozono (Derecha) aún es poco significativo. Aún se está a la espera del inicio de la primavera austral.

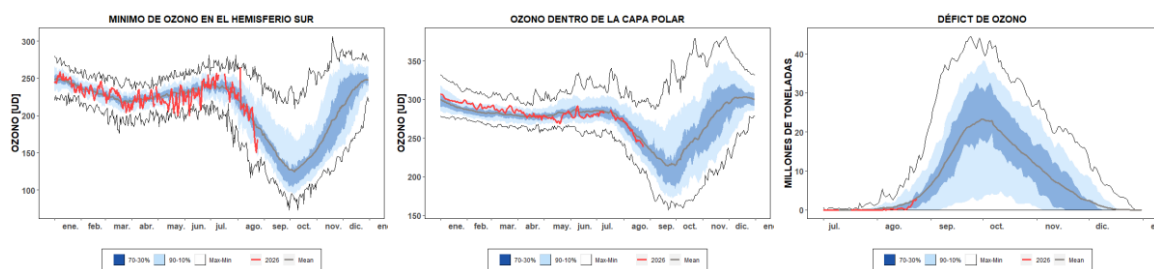


Figura 5. Se muestra la columna de ozono mínimo en Hemisferio Sur (a), el Ozono dentro de la capa polar (b) y el déficit de ozono, todos para lo que va del año 2026, tal como han sido medidas por el TOMS, OMI y OMPS, en comparación con su media del periodo 1979 a 2026. La curva roja muestra los datos del 2026. Las líneas externas y central de color negro, son los valores medias, máximos y mínimos durante el periodo 1979 – 2025. Las líneas sombreadas en azul degradé, son los percentiles de 70 – 30% y de 10 – 90%.

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

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). En tanto en las Estaciones Antárticas en Marambio (SMN), Belgrano (IAA/DNA) y san Martín (IAA/DNA) **no han iniciado el programa de medición.**

3.2.1. Estación VAG Ushuaia.



El espectrofotómetro Dobson (D131) mide todos los días y en la [Figura 6](#), se muestra la evolución diaria (Izquierda) y mensual (Derecha) comparado con su media histórica (1994-2025). Los datos diarios de ozono total, muestran gran variabilidad respecto a su media histórica y en términos generales se observan valores por encima de la media y no llegan a ser menores del umbral de 220 UD.

En la [Figura 8](#) se muestra los tres perfiles de ozono y de temperatura, producidos por las ozonosondas realizada el 29 de julio, 12 y 26 de agosto. En los gráficos de muestra las que temperatura en la estratosfera para esa fecha son frías pero no lo suficiente para observar NEP sobre la ciudad. También se observa que el perfil de ozono, aun no se ve afectado por la pérdida significativa de ozono, ni por el paso del agujero de ozono.

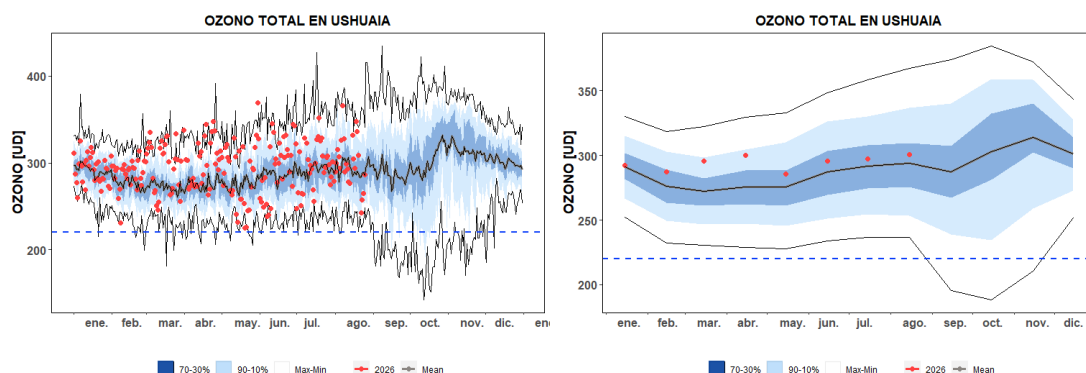


Figura 6. Datos de la columna Total de Ozono [UD] con el Espectrofotómetro Dobson en la estación VAG Ushuaia. Los puntos rojos son los datos del año 2025. Las líneas negras son la media, máximos y mínimos, en tanto los colores sombreados es la media del período 1994 a 2023. Las líneas sombreadas en azul-verde de adentro hacia fuera, son los percentiles de 70 – 30% y de 10 – 90%.

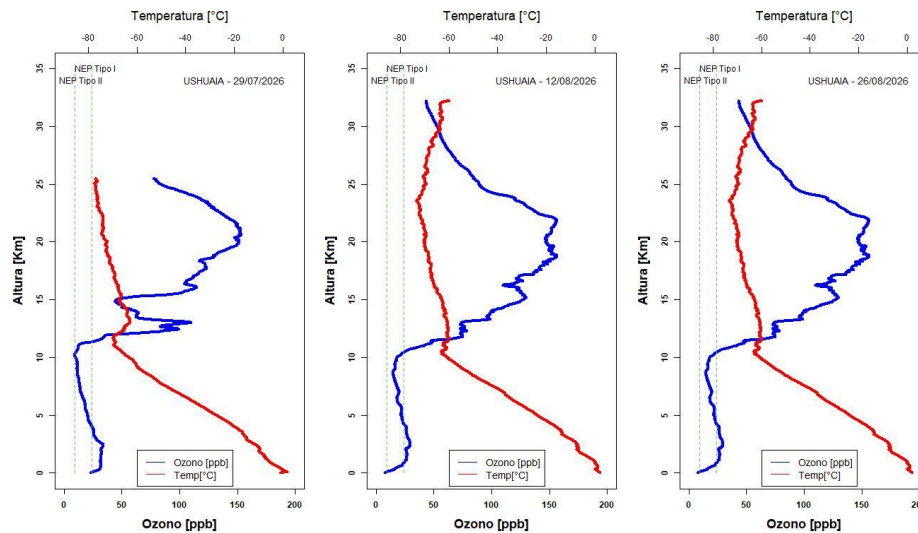


Figura 7. Ozonosondeos realizados en la Estación VAG de Ushuaia. En los dos gráficos, la línea azul es la relación de mezcla del ozono expresado en unidades partes por billón [ppb] en cada nivel de la atmósfera. Y la curva roja es el perfil de la temperatura en [°C].

4. El Agujero de ozono

4.1 El área del agujero de ozono

En la **Figura 8** se muestra el área del agujero de ozono, que es la región en la que el ozono total es menor a los 220 UD (Definido por la comunidad científica). Por ahora, solo tres portales muestran el monitoreo del desarrollo y evolución del agujero de ozono, a través de proyecciones a un futuro muy cercano. NASA (Arriba-Izquierda), TEMIS (Arriba-Derecha) y COPERNICUS (Abajo-Izquierda). En los tres portales se observa un inicio tardío y con subes y bajas del área, situación que es normal, el área máxima para la NASA es de 11,57 millones de km², pero para el TEMIS apenas llega aproximadamente a 10 millones de km², mientras que el portal COPERNICUS es 9,31 millones de km². En todos los casos, el máximo está ya por arriba de otros años e incluso por arriba de la media histórica.

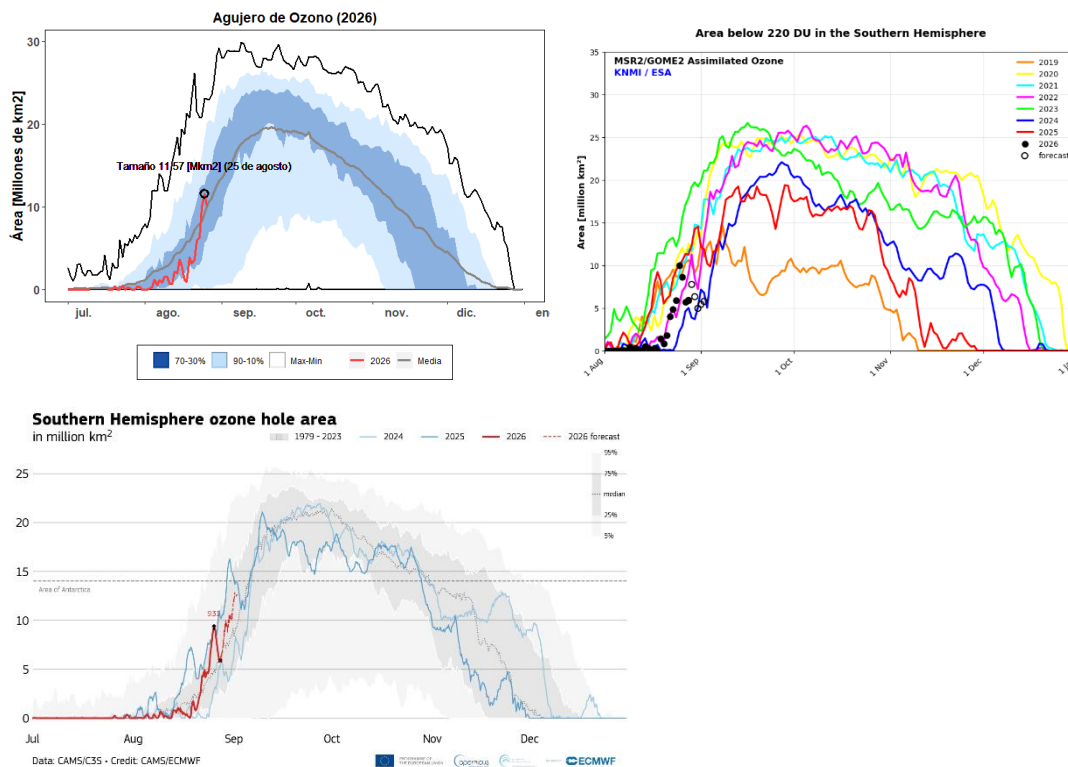


Figura 8. Área del Agujero de Ozono (millones de km²). Arriba-Izquierda; Es el consenso de satélites de la NASA, EEUU (TOMS+OMI+OMPS). Arriba-Derecha; son datos del TEMIS de la ESA (Agencia Espacial Europea). Abajo-Izquierda; son datos del CAMS C3S.

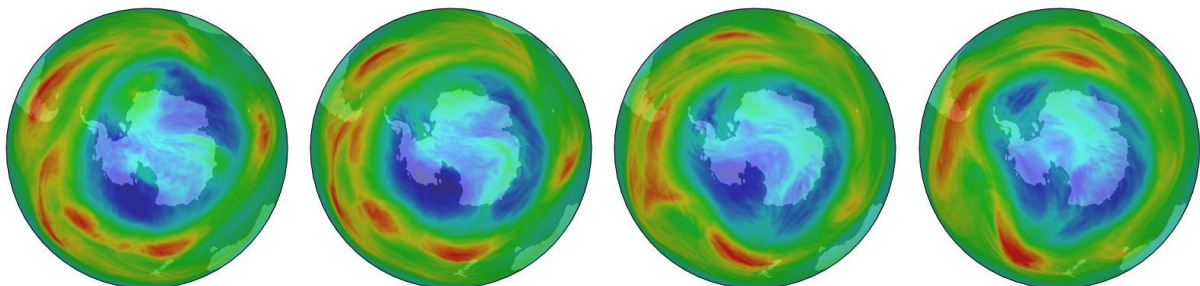
Fuente de datos:

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>

En la **Figura 9**, se observa los mapas proyectados para los próximos 4 días, considerando un inicio de la formación del agujero de ozono tardío y que aún se encuentra en su etapa inicial de desarrollo.



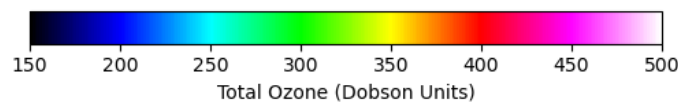


Figura 9. Campos y proyecciones para el agujero de ozono para los próximos 4 días a partir del día 29 de agosto hasta el 1 de septiembre.

6. CONCLUSION

El agujero de ozono se está actualmente desarrollando, bajo un contexto de El Niño que se está catalogado como intenso. 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.

El agujero de ozono ha iniciado tardíamente, pero aún no se establece y no se encuentra evidencia de que El Niño haya afectado dicho retardo. Tampoco se ha observado un calentamiento Súbito Estratosférico, que contrarreste el crecimiento de agujero de ozono.

Las temperaturas bajas (Mínimas y Zonales) que están presente en la estratosfera durante el invierno, generan Nubes Estratosféricas Polares (NEP) de gran extensión, superando los máximos históricos del periodo 1979 al 2025. Estas NEP son las reservas que contienen a las sustancia destructoras de ozono, como cloro y bromo, lo que hace suponer, que habrá una gran cantidad de destrucción de ozono y por lo tanto un agujero de ozono muy intenso.

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, Asía).

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 Gambarte.**

Se agradece a los observadores Antárticos del Pabellón Científico de Marambio;

Se agradece a los observadores Antárticos de San Martín del Laboratorio LASAN:

Se agradece a los observadores Antárticos de Belgrano II del Laboratorio LABEL;

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.
- Botek E., Chabrilat S., Y. Christophe (BIRA-IASB) "Report on 2014 Antarctic ozone hole studies" MACC-III project (Monitoring Atmospheric Composition and Climate - III) 2014.
- 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.
- Eskes H. J., van der A. R. J., Brinksma E. J., Veefkind J. P., de Haan J. F., and Valks P. J. M., Retrieval and validation of ozone columns derived from measurements of SCIAMACHY on Envisat, *Atmos. Chem. Phys. Discuss*, 5, 4429-4475, 2005.
- Gerasimov L. V., Maslennikova E. A. and Pavlinsky A. V. Testing the hypothesis that Erebus volcano gas emissions partially influence ozone depletion in the Antarctic stratosphere, *Atmospheric Environment*, Volume 377, 2026, 122045, ISSN 1352-2310, doi.org/10.1016/j.atmosenv.2026.122045.
- Geir Braathen, "Boletín de Ozono Antártico", Editado por la WMO.
- Karpechko, A., Y. (2020). Jet stream stops shifting as ozone layer recovers, *Nature*, Vol 579, 544-501.
- Manuel Gil Ojeda "El ozono estratosférico" *Tethys*, 3, 47–58, 2006. DOI:10.3369/tethys.2006.3.06.
- Newman (NASA), E. Nash (SSAI), R. McPeters (NASA), S. Pawson (NASA) National Aeronautics and Space Administration - Goddard Space Flight Center - NASA Ozone Watch.
- OMM, 2022. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2022 [Evaluación científica sobre el agotamiento de la capa de ozono: 2018]. Global Ozone Research and Monitoring Project - Report No. 278. <https://ozone.unep.org/sites/default/files/2023-02/Scientific-Assessment-of-Ozone-Depletion-2022.pdf>
- Scientific Assessment of Ozone Depletion 2018 – Executive Summary – WMO UNO environment, NOAA, NASA, European Commission.
- Solomon, S. (2019). The discovery of the Antarctic ozone hole, *Nature*, Vol 575, 46-47.
- 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.
- 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.