



Servicio
Meteorológico
Nacional

BOLETIN 1 - TEMPORADA DEL AGUJERO DE OZONO EN LA ANTARTIDA 2025

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, 2025

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	5
2.1 Temperaturas.	5
2.2 Área y volumen las NEP	6
2.3 Estabilidad del vórtice.	7
3. OBSERVACIONES DE OZONO	8
3.1 Observaciones Satelitales.	8
3.2 Estaciones en superficie.	9
3.2.1 Estación VAG USHUAIA.	9
4. EL AGUJERO DE OZONO	11
4.1 El área del agujero de ozono.	11
5. CONCLUSIONES	13
6. AGRADECIMIENTOS	13
7. BIBLIOGRAFÍA	13

RESUMEN.

El presente Boletín 1, tiene por objetivo, establecer la evolución del Agujero de Ozono sobre la Antártida para el año 2025. 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 dos calentamientos menores y no significativos en la estratosfera antártica. Las NEP están llegando a sus valores máximos y aumentando su área. El SSW genera una no muy notable perturbación del vórtice polar, el cual se encuentra en una fase negativa (se expande) que incluso las NEP llegan hasta Ushuaia, lo cual es detectado por el ozonosondeo que se realizan en la estación VAG-Ushuaia.

Palabras Claves: Ozono, Estratosfera, Antártida, Destrucción, Calentamiento Súbito Estratosférico Química y Meteorología.

ABSTRACT.

The purpose of Bulletin 1 is to outline the evolution of the ozone hole over Antarctica through 2025. Currently, the ozone hole is developing due to specific meteorological conditions in the stratosphere and the polar vortex, which create the necessary physical conditions for its growth. Meanwhile, chemical factors, particularly the Nitrogen-Enhanced Polar Stratospheric Clouds (NEPs), are initiating the destruction of total Antarctic ozone. Recent observations show that minimum and zonal temperatures in the Antarctic stratosphere have experienced two minor, though not statistically significant, warmings. The NEPs are now reaching their maximum values and expanding in area. Additionally, a sudden stratospheric warming (SSW) has caused a minor disturbance in the polar vortex, which is currently in a negative phase, leading to its expansion.

Key Words: Ozone, Stratosphere, Antarctica, Destruction, Sudden Stratospheric Warming, Chemistry y Meteorology

1. INTRODUCCIÓN

El agujero de ozono antártico es un fenómeno que se caracteriza por una disminución drástica de la Columna de Ozono Total (COT) estratosférico sobre el Polo Sur durante la primavera austral (>220 UD). Su formación está asociada a la presencia de nubes estratosféricas polares (PSCs), bajas temperaturas y la liberación de radicales clorados y bromados procedentes de compuestos antropogénicos como clorofluorocarbonos (CFCs) y halones. La fotólisis de estas especies cataliza la destrucción del ozono mediante ciclos químicos muy eficientes. Desde la entrada en vigor del **Protocolo de Montreal (1989)**, las concentraciones de estas sustancias han disminuido, y se proyecta una recuperación gradual de la capa para mediados del siglo XXI, aunque la variabilidad climática puede modificar dicha tendencia.

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.

Las temperaturas en la estratosfera, se caracterizaron por ser más bajas de lo común, durante lo que va del año, tanto las mínimas como las zonales. En las temperatura media zonal a un nivel 10 hPa se puede apreciar dos calentamientos súbitos estratosféricos (En inglés, SSW) uno inicia a mediados de junio, mientras que el segundo inicia a principios de agosto. Esto se aprecia en la [Figura 1](#) donde muestra la serie de tiempo y la proyección hacia un paulatino enfriamiento de la estratosfera, en tanto el mapa es la anomalía media semanal donde se observa el SSW al costado de la Antártida, contrario a la Península.

Fuente de datos:

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

https://charts.ecmwf.int/products/extended-anomaly10t?base_time=202507310000&player_dimension=base_time&projection=opencharts_antarctic&valid_time=202508250000

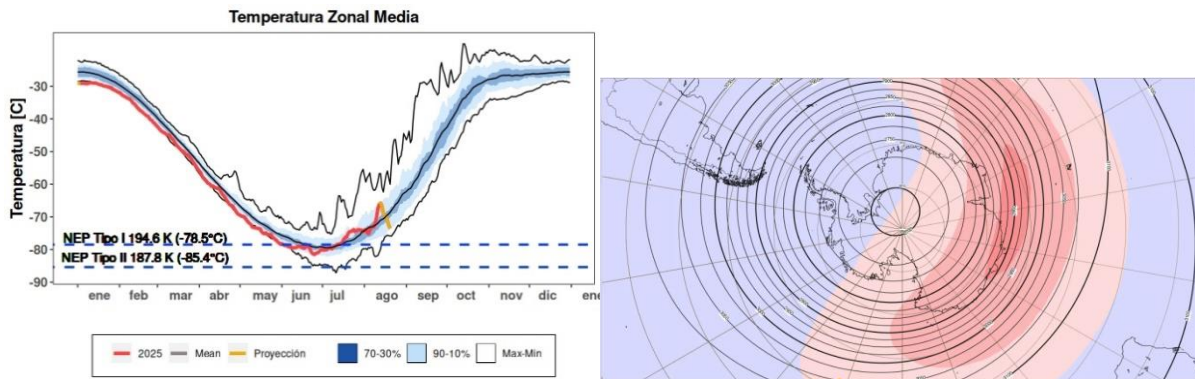


Figura 1. A la izquierda la serie de tiempo de temperatura a 10 hPa, en color marrón la media y en color negro los máximos y mínimos del periodo 1979 a 2024, mientras que el color rojo representa del 1 de enero al 10 de junio del año 2025. El color naranja es la proyección del 11 al 22 de agosto. El mapa a la derecha es la anomalía media semanal que corresponde del 11 al 18 de agosto y en color rosa a rojo es la anomalía positiva de temperatura (SSW).

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 a los SWW con disminución de sus respectivas áreas, pero como las proyecciones de temperaturas tienen a un enfriamiento, las proyecciones de las áreas de las dos tipos de NEP, aumentan su tamaño.

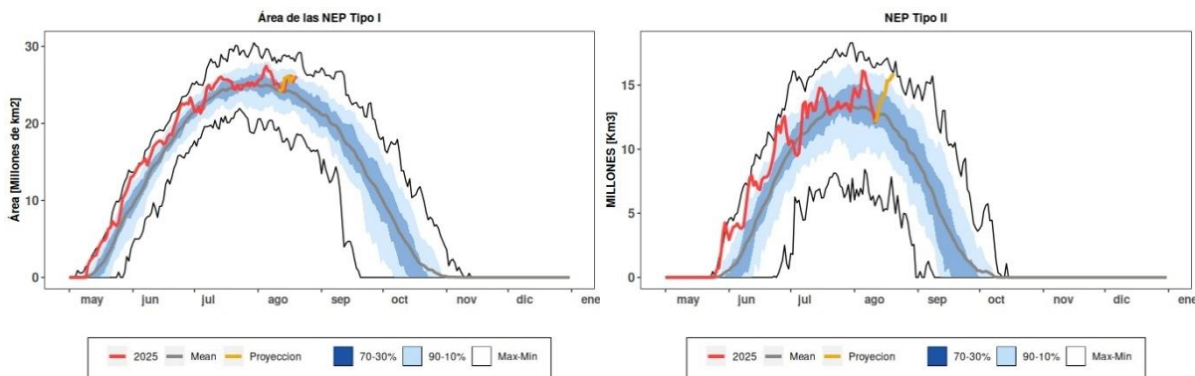


Figura 2. Área de las nubes estratosféricas polares (NEP) Tipo I (Izquierda) y Tipo II (derecha), sobre la región Antártica. La línea color roja, representa la el año 2025 hasta el día 10 de agosto, mientras que la línea naranja es la proyección hasta el 22 de agosto. Las líneas externas y central negras, 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 mediados de junio y julio, la estratosfera se encuentra con un poco de actividad y hay un flujo de calor mayor que la media histórica (Izquierda), que se confirma por la actividad de ondas Rossby (Derecha) que se intensifica a partir del 16 de junio, aunque no significativamente. Este movimiento de las ondas Rossby explica los dos SSW aunque no son significativos. La proyección en la serie de tiempo muestra que la tendencia es a estabilizar el flujo de calor, lo que conlleva al enfriamiento de la estratosfera.

Fuente de datos: https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/flux_2023_MERRA2_SH.html

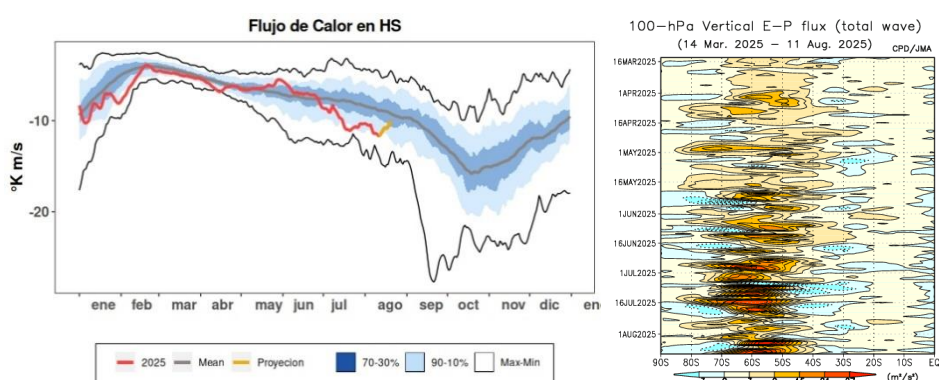


Figura 3. Serie de tiempo del flujo de calor meridional promediado sobre la región entre 45-75°S. La curva roja muestra los datos para 2025, mientras que la línea naranja es la proyección hasta el 22 de agosto. Note que un gran número negativo significa un gran flujo de calor. Los valores cercanos a 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.

Fuente de datos:

https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/flux_2023_MERRA2_SH.html

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

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 475°K, correspondiente a la baja estratosfera, donde la destrucción de ozono se lleva a cabo. Se muestra aproximadamente la perturbación del vórtice polar para el 17 de julio (Izquierda) y la perspectiva para el 16 de agosto (derecha). En ambos casos la perturbación no es significativa y el vórtice se desarrolla normalmente, aunque en fase positiva, es decir expandido hacia el exterior del continente Antártico.

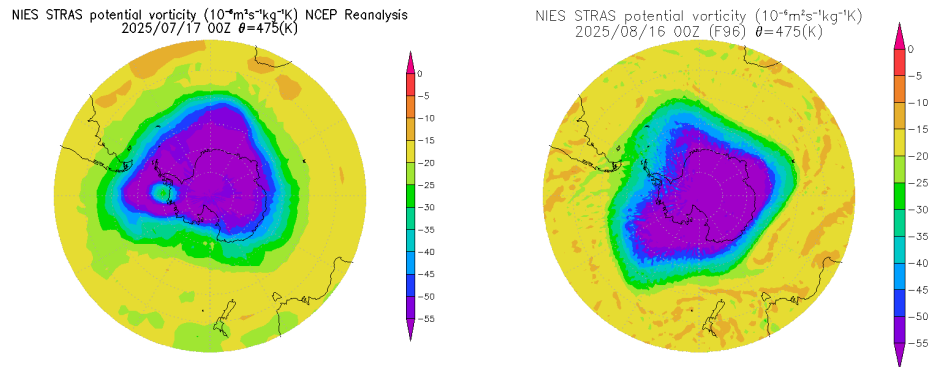


Figura 4. Mapas de Vorticidad Potencial (PV) a una altura isentrópica de 475°K. Los mapas son construidos por el Ceter for Global Environmental Research en Japón.

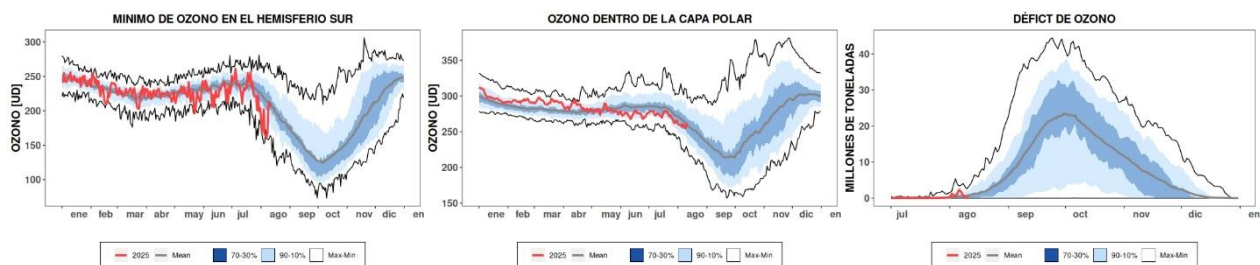
Fuente de datos:

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

3. OBSERVACIONES DE OZONO

3.1 Observaciones Satelitales

Tal como se observó anteriormente, un vórtice que no es tan inestable, aunque con movimiento de ondas Rosby pero lo suficiente apenas para producir dos SSW aunque no significativos. En la **Figura 5** se muestra los mínimos de ozono en el Hemisferio Sur (Izquierda) que, durante la mitad del año, han oscilado alrededor de la media histórica y a partir de julio, se intensifica la pérdida de ozono, muy cercano al mínimo histórico. 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.



La **Figura 5** se muestra la columna de ozono mínimo en Hemisferio Sur (a) y el Ozono dentro de la capa polar (b) del 2024, tal como han sido medidas por el TOMS, OMI y OMPS, en comparación con su media del periodo 1979 a 2023. La curva roja muestra los datos para 2025, mientras que la línea naranja es la proyección hasta el 22 de agosto. 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

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 ($54^{\circ} 50' 54.46''S$, $68^{\circ} 18' 37.52'' O$). 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) de la columna total de ozono y las medias mensuales para el año en curso, comparado con su media histórica (1994-2024). Los datos diarios de ozono total, muestran gran variabilidad respecto a su media histórica, se destaca el día 23 de marzo donde se presenta un valor de ozono total de 215 UD ya que para ese día se hace presente un mini agujero de ozono ([Figura 7](#)). En tanto los datos mensuales oscilan alrededor de la su media.

En la [Figura 8](#) se muestra el primer perfiles de ozono y de temperatura, producidos por la ozonosonda realizada el 23 de julio,. En los gráficos de muestra las que temperatura en la estratosfera para esa fecha esta fría, e incluso alcanza a pasar el umbral de la formación de las NEP Tipo I, lo cual aumento de probabilidad de avistamiento de este tipo de nubes, pero el día se presentó totalmente nublado. En cuanto al perfil de ozono, se observa la capa de ozono entre 15 y 25 km de altura, la capa de ozono, aún sin efecto de los compuestos destructores.

2025 | Año de la Reconstrucción de la Nación Argentina

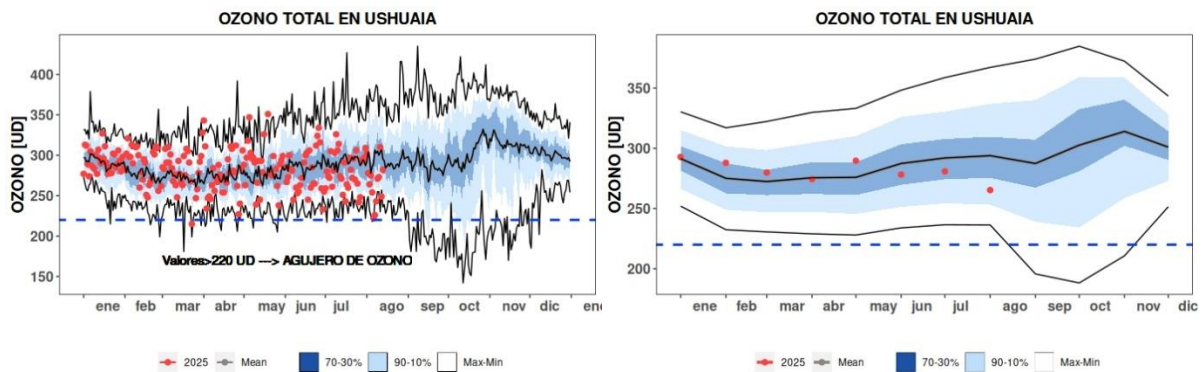


Figura 6. Datos de la columna Total de Ozono [UD] con el Espectrofotómetro Dobson en la estación VAG Ushuaia. Los puntos rojos son los datos del año 2025. Las líneas negras son la media, máximos y mínimos, en tanto los colores sombreados es la media del período 1994 a 2023. Las líneas sombreadas en azul-verde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

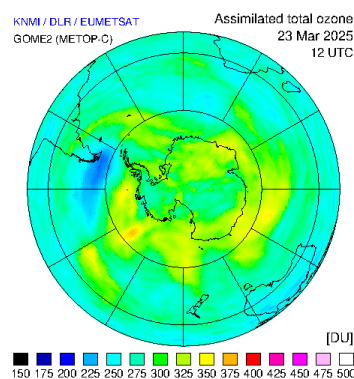


Figura 7. Mini agüero de ozono en el sur del continente. Fuente:

https://d1qb6yzwaq4he.cloudfront.net/protocols/o3field/gome2c/2025/03/o3col2025032312_sp.gif

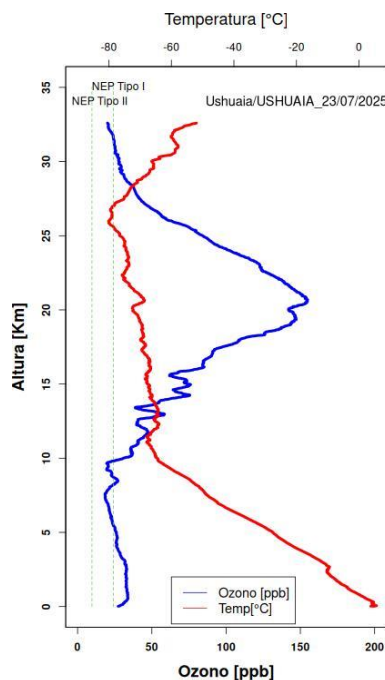


Figura 8. Ozonosondeos realizados en la Estación VAG de Ushuaia. En los dos gráficos, la línea azul es la relación de mezcla del ozono expresado en unidades partes por billón [ppb] en cada nivel de la atmosfera. Y la curva roja es el perfil de la temperatura en [°C].

4. El Agujero de ozono

4.1 El área del agujero de ozono

En la [Figura 9](#) 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). Solo se incluyen por ahora 2 graficas de los portales que reportan el área del agujero de ozono NASA (Izquierda) y TEMIS (Derecha). En ambos casos se observa que inicia la destrucción de ozono, pero debido al último SSW, el ozono se recupera y el agujero decae, mientras que las proyecciones muestran que reinicia el crecimiento del agujero de ozono. El tamaño del agujero de ozono máximo inicialmente fue de 6.75 millones de km². En tanto el gráfico del TEMIS se compara con otros años y la evolución de inicio es muy similar al del año 2019.

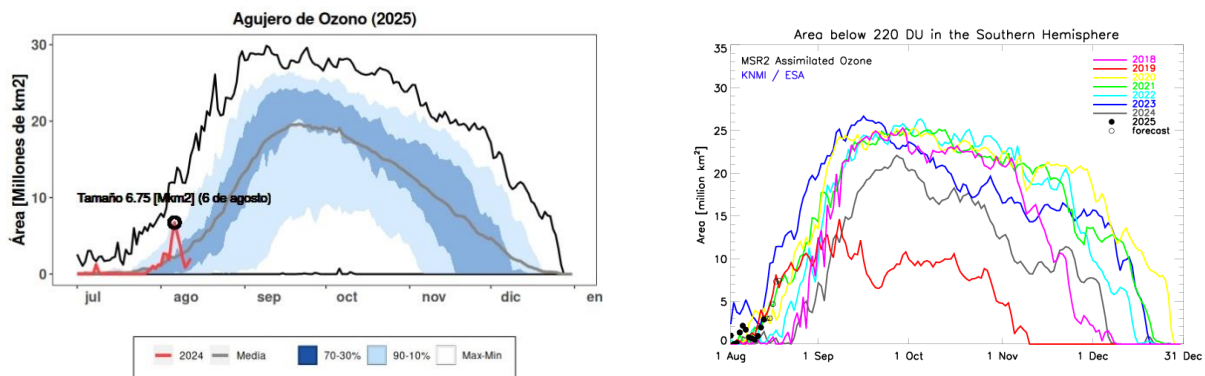


Figura 9. Área del Agujero de Ozono (millones de km²). Izquierda, Es el consenso de satélites de la NASA, EEUU (TOMS+OMI+OMPS). Derecha; son datos del TEMIS, Datos de la ESA (Agencia Espacial Europea).

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>

En la **Figura 10**, 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.

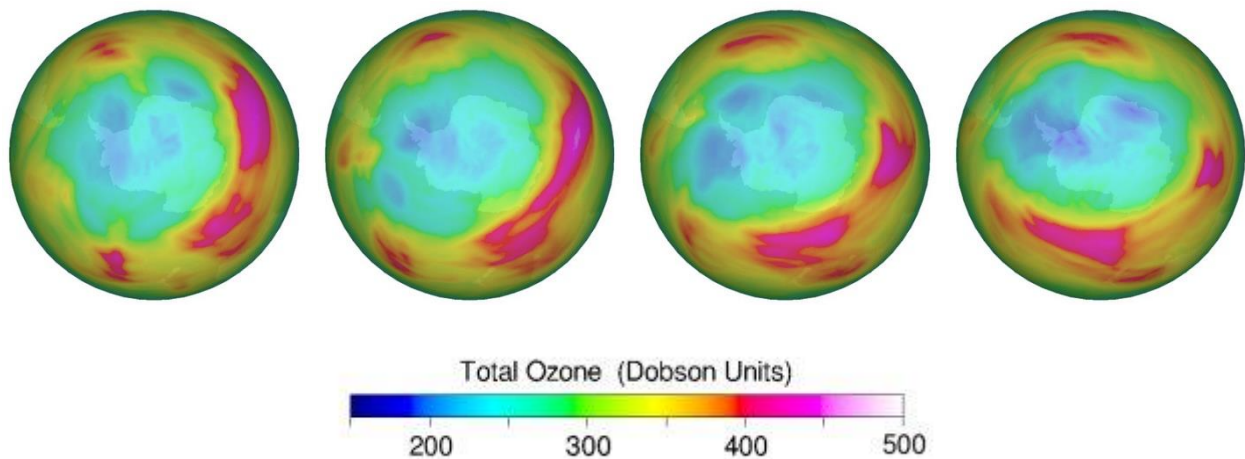


Figura 10. Proyecciones para los próximos 4 días a partir del día 15 hasta el 19 de agosto y muestran la evolución y crecimiento del agujero de ozono.

6. CONCLUSION

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.

Ya hubo un evento de SSW que afectó el inicio del agujero, haciendo que éste decrezca, pero las proyecciones muestran un enfriamiento de la estratosfera y un crecimiento de las NEP, de tal manera que inicia nuevamente su crecimiento.

Aún es muy temprano para establecer cómo será el desarrollo de éste fenómeno, pero se continúa con el monitoreo y vigilancia.

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;

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.
-
- 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.

2025 | Año de la Reconstrucción de la Nación Argentina

- H. J. Eskes, R. J. van der A, E. J. Brinksma, J. P. Veefkind, J. F. de Haan, and P. J. M. Valks, Retrieval and validation of ozone columns derived from measurements of SCIAMACHY on Envisat, Atmos. Chem. Phys. Discuss, 5, 4429-4475, 2005.
- Valks, P.J.M., J.F. de Haan, J.P. Veefkind, R.F. van Oss and D.S. Balis, TOGOMI: An improved total ozone retrieval algorithm for GOME, XX Quadrennial Ozone Symposium, 1/6/2004-8/6/2004, C.S. Zerefos (Ed), 2004, Athens, University of Athens, 129-130.
- E. Botek, S. Chabrillat, Y. Christophe (BIRA-IASB) "Report on 2014 Antarctic ozone hole studies" MACC-III project (Monitoring Atmospheric Composition and Climate - III) 2014.
- Scientific Assessment of Ozone Depletion 2018 – Executive Summary – WMO UNO environment, NOAA, NASA, European Commission.
- Manuel Gil Ojeda "El ozono estratosférico" Tethys, 3, 47–58, 2006. DOI:10.3369/tethys.2006.3.06.
- Carbajal Benítez Gerardo, Facundo Orte, Elian Wolfram, Eduardo Luccini y Fernando Nollas. Boletines 1, 2, 3, 4 e Informe Final del Agujero de Ozono 2019.
- 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