



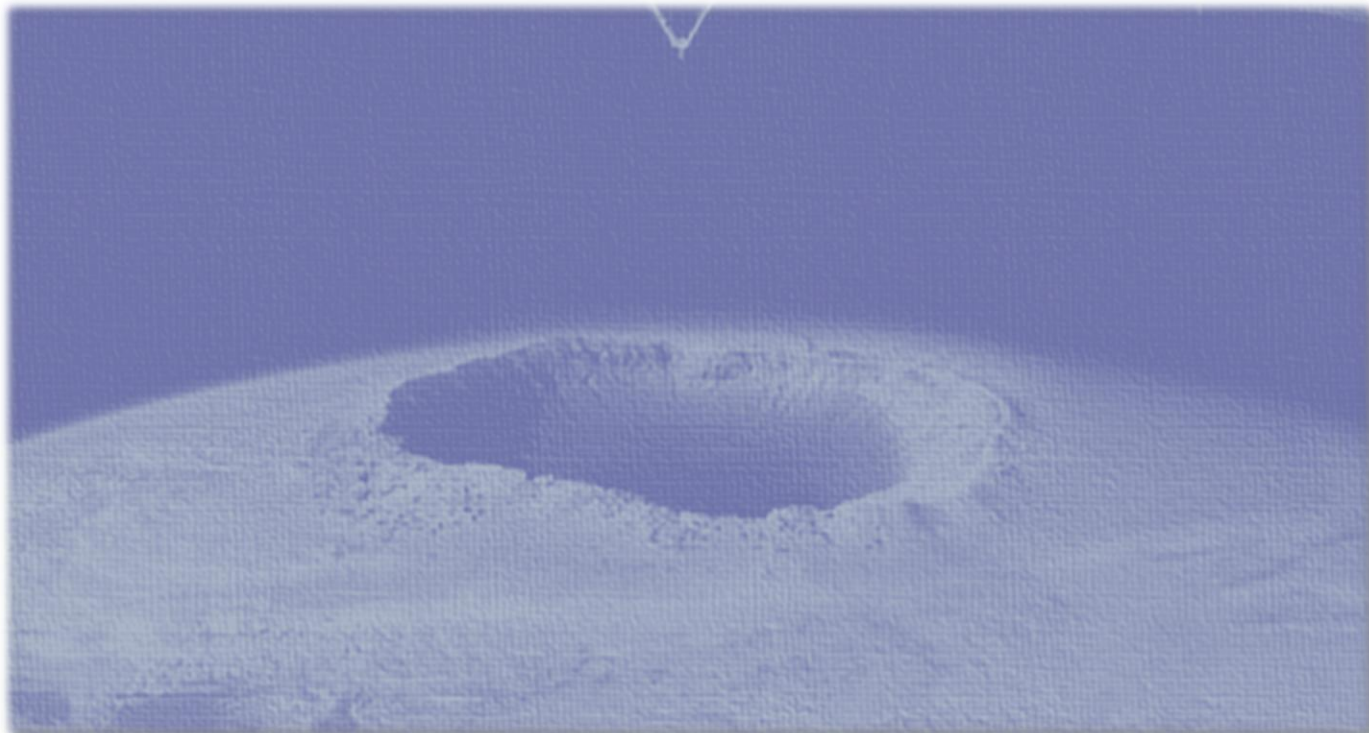
OZONO ESTRATOSFÉRICO Y RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

BOLETÍN ANUAL 2025

UVC

UVB





Índice

	Pág.
1. Resumen.....	3
2. Introducción.....	4-5
3. Monitoreo del agujero de ozono antártico.....	6-7-8
4. Consecuencias del agotamiento del ozono en la radiación UV.....	9
5. Observaciones generales.....	10
6. Referencias.....	11

¿Cómo comunicarte con nosotros?

Sitio web: <https://climatologia.meteochile.gob.cl/>

Correo: radiacionyozono@dgac.gob.cl

Información importante

Los datos usados para este boletín son provenientes de satélites de la NASA. Para mayor información se puede visitar <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>.

También, información relevante es obtenida de COPERNICUS. Puedes encontrar mas detalles en <https://atmosphere.copernicus.eu/monitoring-ozone-layer>

**Boletín diseñado y elaborado por la meteoróloga Eliana Moath.
Boletín editado por el meteorólogo y Jefe de la Of. de Servicios Climáticos Juan Crespo.**

© Dirección Meteorológica de Chile - Dirección General de Aeronáutica Civil
Avenida Portales 3450, Estación Central, Santiago.

OZONO ESTRATOSFÉRICO Y RADIACIÓN ULTRAVIOLETA AÑO 2025

1. Resumen

En 2025, el área del agujero de ozono presentó un comportamiento cercano al promedio climatológico 1979-2025 durante gran parte de su desarrollo, alcanzando su máxima extensión entre finales de agosto y septiembre, con valores en torno a los 20 millones de km². Posteriormente, se observó una disminución progresiva durante octubre y noviembre, situándose bajo el promedio hacia fines de la temporada (Figura 1).

En cuanto al mínimo de la columna total de ozono (Figura 2), los valores descendieron marcadamente entre agosto y septiembre, ubicándose por debajo del promedio climatológico y acercándose a los percentiles inferiores. Sin embargo, a partir de octubre se evidenció una recuperación sostenida, retornando a rangos cercanos a lo normal hacia noviembre y diciembre. Las temperaturas favorables para la formación de nubes estratosféricas polares (NEPs), tanto de Tipo I como de Tipo II, se ubicaron bajo el promedio climatológico en agosto, aproximándose a los umbrales de formación. Posteriormente, entre septiembre y octubre, retornaron gradualmente a valores cercanos a lo normal, lo que favoreció su desarrollo durante el período invernal. En cuanto a la corriente en chorro polar, principal factor que aísla el aire polar y fortalece el vórtice, se mantuvo dentro de los rangos climatológicos, con valores levemente sobre lo normal en invierno y un debilitamiento progresivo en primavera, alcanzando niveles cercanos al límite inferior hacia fines de año.

Producto de estas condiciones, la superficie del agujero de ozono se mantuvo bajo el promedio climatológico, alcanzando cerca de 21,08 millones de km² en septiembre (Figura 3), y manteniéndose en torno a los 10 millones de km² hasta finales de noviembre.

Cabe destacar que el cierre del agujero del año 2025 se produjo antes de lo habitual en relación a su ciclo promedio. Asimismo, según lo reportado por NASA y NOAA, **se posicionó como el quinto agujero de ozono más pequeño desde 1992.**

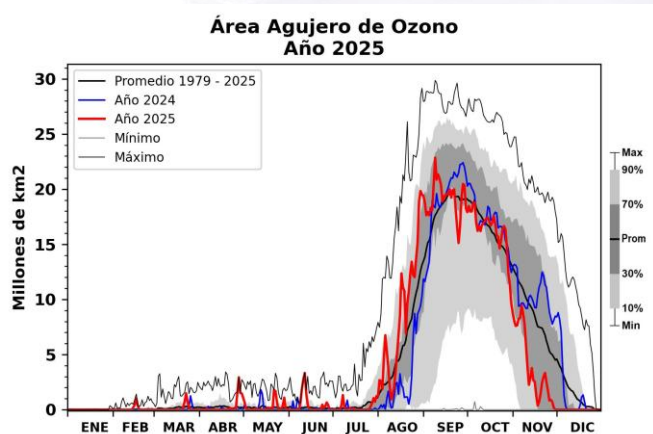


Figura 1. Tamaño del agujero de ozono en millones de km².
Fuente: NASA.

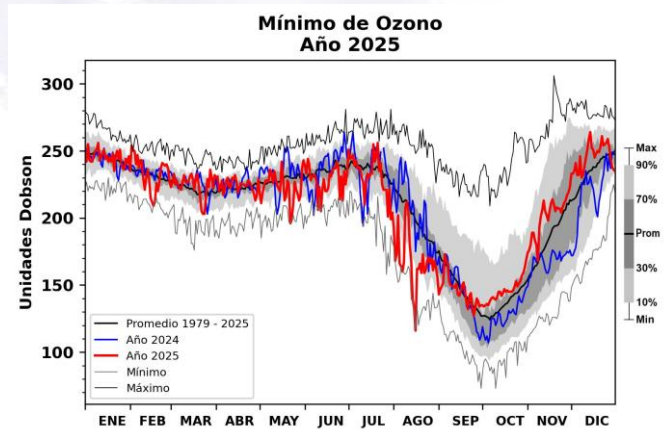


Figura 2. Mínimo de columna de ozono en unidades Dobson (DU).
Fuente: NASA.

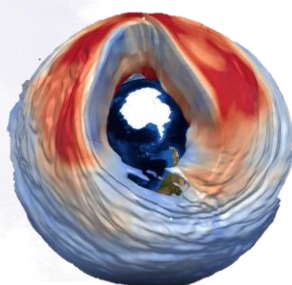


Figura 3. Agujero de Ozono el día 5 de septiembre de 2025. Fuente: Programa Copernicus.

2. Introducción

Las observaciones atmosféricas de mediados de la década de 1970 permitieron constatar la disminución primaveral de la capa de Ozono Antártico, denominada en los años siguientes como agujero de la capa de ozono (Figura 4). Las altas concentraciones de clorofluorocarbonos y otros contaminantes atmosféricos agotadores del ozono estratosférico, conocidos como SAOs, fueron los principales responsables de este efecto.

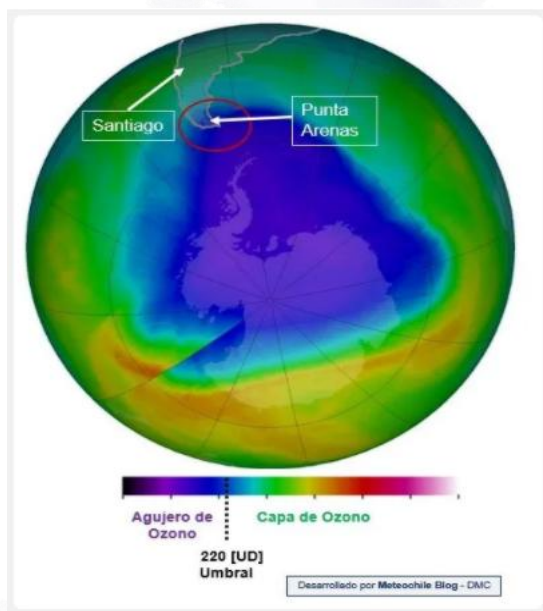


Figura 4. Columna de ozono total. Fuente: NASA.

La pérdida global de ozono estratosférico genera un incremento importante en la incidencia de los Rayos UV y el consiguiente incremento en las afecciones a la piel.

En respuesta a este problema, los gobiernos de diferentes países del mundo firmaron en 1987 el Protocolo de Montreal, como un compromiso global basado en normativas para el control del uso de las sustancias químicas nocivas para la capa de ozono. Este acuerdo internacional ha sido exitoso, ya que las medidas aplicadas han permitido avanzar en la recuperación de la capa de Ozono, como se puede constatar en el informe conjunto desarrollado por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente "Evaluación científica de la disminución del Ozono, año 2014", donde se prevé una recuperación total alrededor del año 2050.

El protocolo de Montreal ha sido revisado y modificado en la reunión realizada en Kigali, Ruanda (2016), a través de la llamada "Enmienda de Kigali" que busca reducir los hidrofluorocarbonos (HCFC) al año 2025. Chile ha sido el séptimo país del mundo en ratificar esta enmienda, iniciando su puesta en marcha el 1 de enero de 2019.

El presente boletín muestra los resultados de las observaciones realizadas por la NASA, el Instituto Real de Meteorología de Holanda (KNMI) y la información de radiación ultravioleta medida por las estaciones del sur y extremo sur del país.

Capa de ozono, radiación UV y su interacción

El ozono es un gas inerte, que está presente en forma natural en la atmósfera. Fue descubierto en 1840 por el químico alemán Friedrich Shönbein, por medio de descargas eléctricas en el aire. Su nombre proviene del vocablo griego ὄζειν (ozein), que significa oler. Es de muy baja concentración, solo se pueden observar 3 moléculas de ozono por millón de moléculas de aire.

El ozono posee dos caras, una "buena" y una "mala". El lado bueno se concentra en la estratósfera, entre los 10 y los 50 Km, con un máximo alrededor de los 30 km, zona conocida como Capa de Ozono. Esta es responsable de filtrar el 90% de la Radiación Ultravioleta más nociva para la vida en la tierra (Figura 5).

El ozono conocido como malo, en tanto, se concentra en la tropósfera, la capa atmosférica más cercana a la superficie, representando el 10% restante. A este nivel es un gas tóxico para la salud humana. Se genera esencialmente de la contaminación vehicular.

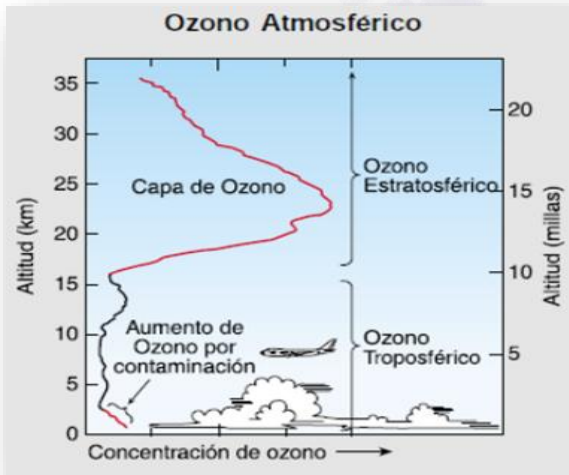


Figura 5. Perfil de ozono atmosférico. Fuente: NOAA.

Formación del ozono

El ozono se forma naturalmente en la estratósfera, a través de una serie de reacciones fotoquímicas en la que los rayos solares ultravioleta rompen la molécula de oxígeno (O_2) para producir 2 átomos de oxígeno ($2O$). Luego, cada átomo se combina con una molécula de oxígeno para producir una molécula de ozono (O_3). (Figura 6)

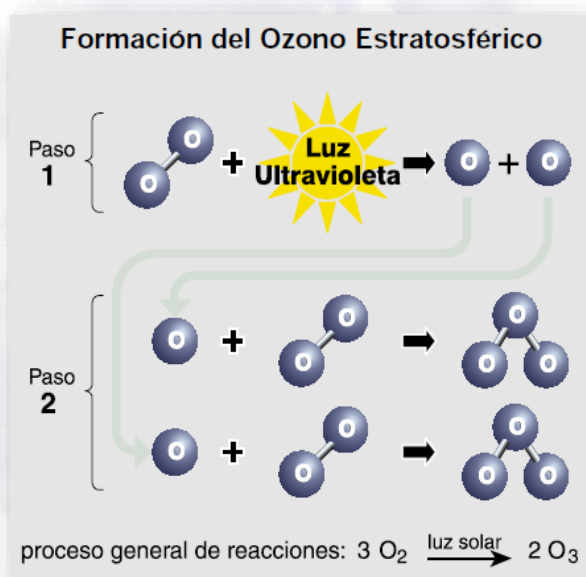


Figura 6. Esquema de formación del ozono atmosférico. Fuente: NOAA.

Estas reacciones se llevan a cabo en forma continua en presencia de radiación ultravioleta; la producción de ozono es balanceada por su destrucción en las mismas reacciones químicas. Este balance está determinado por la cantidad de gases reactivos, compuestos por cloro y bromo principalmente y la efectividad de sus reacciones, que dependen de la intensidad de la radiación solar, ubicación en la atmósfera, temperatura y otros factores. Sin embargo, en la estratósfera existe una gran cantidad de sustancias químicas naturales y generadas por el hombre, principalmente gases compuestos por cloro y bromo, que reaccionan con las moléculas de ozono, destruyéndolas para formar otros compuestos químicos.

Condiciones necesarias para la formación del agujero de ozono

Para que se produzca el agotamiento de la capa de ozono durante la primavera sobre el Polo Sur se necesitan las siguientes condiciones atmosféricas: Presencia de gases halogenados (CFCs, HCFC), aislamiento de la estratósfera polar (vientos intensos alrededor del Polo), bajas temperaturas en la estratósfera (en consecuencia del aislamiento del polo con latitudes más bajas donde las temperaturas son más altas) y formación de Nubes Estratosféricas Polares (NEPs, se forman cuando la temperatura baja de los $-78^\circ C$ y son las principales destructoras del ozono (Figura 7).



Figura 7. Nubes estratosféricas Polares.

3. Monitoreo del agujero de ozono Antártico.

Anomalía de temperatura y viento en la estratósfera

La figura 8 muestra la anomalía de temperatura a 10 mb en la estratósfera entre septiembre y noviembre de 2025. Se observa una configuración tipo dipolo de anomalías térmicas en el hemisferio sur, con anomalías negativas que alcanzan valores cercanos a -10 °C sobre el Pacífico sur y el sur de Sudamérica, incluyendo el extremo sur de Chile. En contraste, se identifica un núcleo de anomalías positivas sobre la Antártica Oriental, con valores cercanos a 10 °C, evidenciando un calentamiento anómalo en dicha región. Este contraste térmico refleja una perturbación significativa en la circulación estratosférica durante el período analizado.

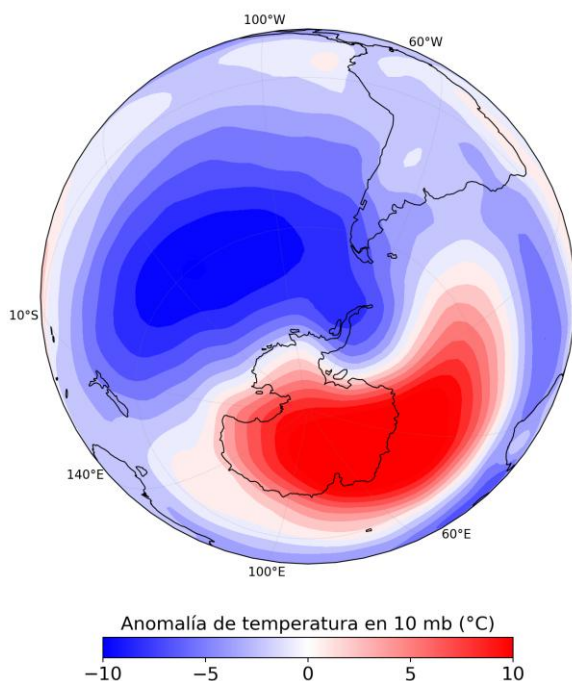


Figura 8. Anomalía de temperatura en los 10 mb durante septiembre, octubre y noviembre de 2025. Período de referencia para el cálculo de anomalía 1991-2020. Fuente: Reanálisis NCEP/NCAR.

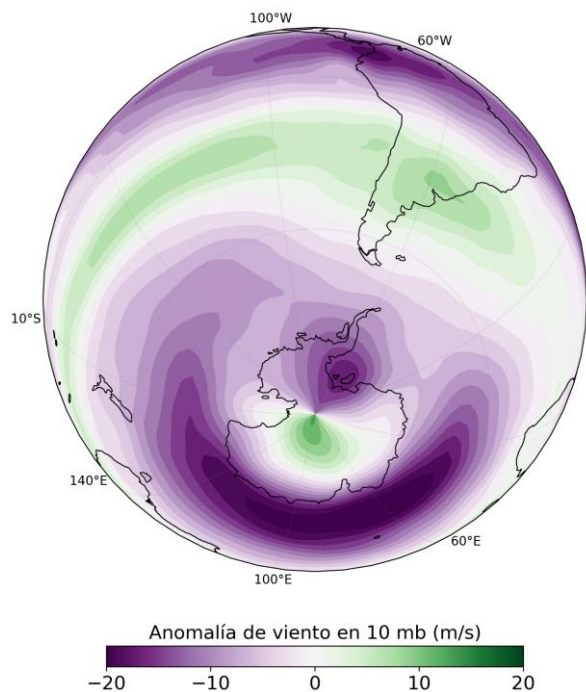


Figura 9. Anomalía de viento zonal en los 10 mb durante septiembre, octubre y noviembre de 2025. Período de referencia para el cálculo de anomalía 1991-2020. Fuente: Reanálisis NCEP/NCAR.

La figura 9 muestra la anomalía de viento a 10 mb durante el período septiembre a noviembre de 2025. Se observa un dipolo de anomalías de viento sobre la Antártica, con predominio de anomalías negativas en gran parte del continente y sus alrededores, alcanzando valores cercanos a -20 m/s, lo que indica una disminución en la intensidad de los vientos del oeste. En contraste, se identifican anomalías positivas de viento en sectores cercanos al polo y hacia latitudes más bajas del hemisferio sur, con valores del orden de 10 a 20 m/s, lo que sugiere un fortalecimiento local de los vientos del oeste.

OZONO ESTRATOSFÉRICO Y RADIACIÓN ULTRAVIOLETA AÑO 2025

Temperaturas en la estratósfera

Durante 2025, las temperaturas mínimas en la estratósfera polar (Figura 10) alcanzaron su mínimo invernal entre fines de julio e inicios de agosto, y luego aumentaron gradualmente hacia la primavera. Las temperaturas se mantuvieron por debajo de los umbrales de formación de NEPs Tipo II hasta fines de septiembre y de NEPs Tipo I hasta inicios de noviembre. En general, los valores fueron cercanos al promedio climatológico, con un enfriamiento puntual a fines de octubre y comienzos de noviembre.

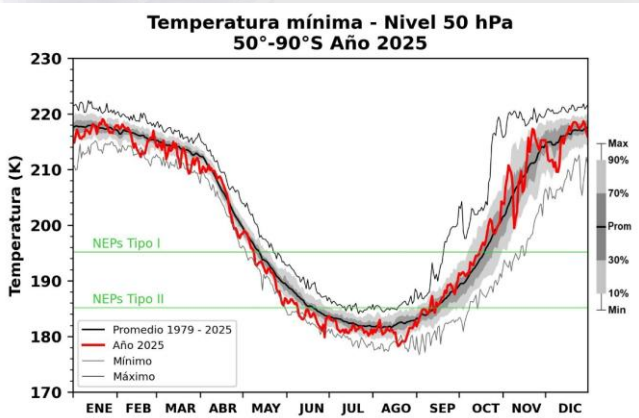


Figura 10. Temperatura mínima registrada entre los 50° y 90°S al nivel de 50 hPa (línea roja). Fuente: NASA-MERRA 2.

Corriente en chorro polar

El continente antártico está rodeado por una fuerte corriente en chorro en la estratósfera (por encima de 12 km o 39.000 pies), que fluye alrededor de la Antártida en el sentido de las agujas del reloj. Esta corriente de chorro aísla el aire sobre la Antártida, del de latitudes medias. La región polar delimitada por esta corriente en chorro se denomina *vórtice polar antártico*. Un flujo de chorro más intenso produce un mayor aislamiento del aire polar (disminuye la mezcla), razón por la que el aire dentro del vórtice polar antártico es también mucho más frío que el aire de latitudes medias.

*NEPs: Nubes Estratosféricas Polares

Durante el año 2025 (Figura 11), el viento asociado al chorro polar osciló mayoritariamente dentro de los rangos climatológicos esperados. No obstante, durante el invierno austral se observaron valores levemente superiores al promedio histórico. A partir de la primavera, el viento presentó un debilitamiento progresivo, alcanzando hacia noviembre y diciembre valores cercanos al rango inferior de la climatología.

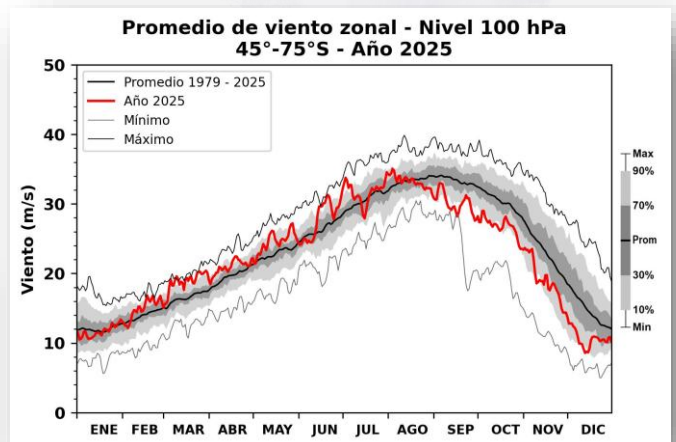


Figura 11. Viento zonal entre los 45° S y 75° S en el nivel de 100 hPa, expresado en m/s. Fuente: NASA.

Estabilidad del vórtice polar

El flujo longitudinal medio de calor entre los 45° S y 75° S es un indicador del grado de perturbación de la atmósfera. En la figura 12 se observa que durante 2025 el flujo se mantuvo en general dentro del rango climatológico, aunque con variaciones importantes. Entre junio y septiembre se registró un aumento del flujo de calor (valores más negativos), con un máximo de perturbación en agosto y septiembre, lo que sugiere un período de menor estabilidad del vórtice polar. Posteriormente, desde octubre y hacia fines de año, el flujo tendió a disminuir en magnitud, acercándose e incluso superando el promedio climatológico, indicando una mayor estabilidad atmosférica hacia el final del año.

OZONO ESTRATOSFÉRICO Y RADIACIÓN ULTRAVIOLETA AÑO 2025

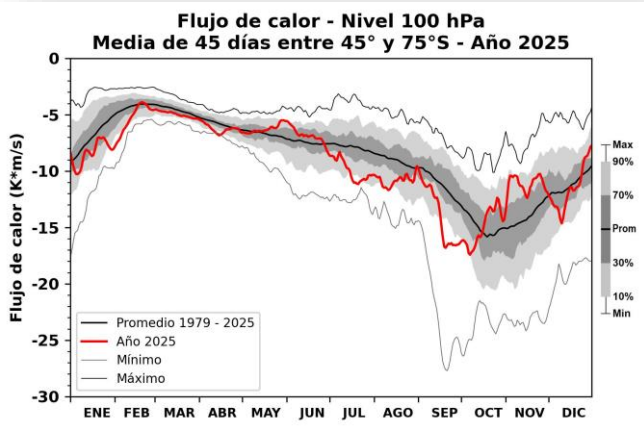


Figura 12. Flujo longitudinal de calor en el nivel de 100 hPa, expresado en K^*m/s . Mientras más negativos los valores, mayor flujo de calor. Fuente: NASA

Déficit de masa de ozono

En la figura 13 se observa que durante 2025 el déficit de masa de ozono fue prácticamente nulo durante el primer semestre (como es habitual) y aumentó a partir de julio, alcanzando un máximo finales de septiembre, con valores, en general inferiores al promedio climatológico. Posteriormente, desde octubre, el déficit disminuyó rápidamente, llegando a valores cercanos a cero hacia noviembre, lo que indica un episodio de agotamiento de ozono de menor intensidad y duración en comparación con el promedio histórico 1979-2025.

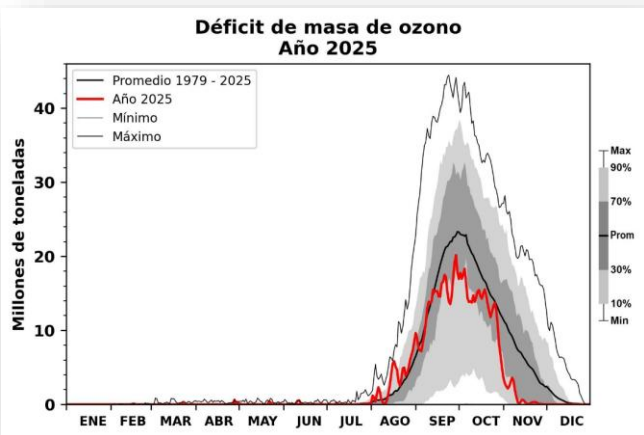


Figura 13. Déficit de masa de ozono, en unidades de millones de toneladas. Fuente: NASA

Área y volumen de NEPs

El máximo de las NEPs en 2025 se registró a fines de julio, con valores cercanos a los 24 millones de km^2 (Figura 14). Posteriormente, el área disminuyó gradualmente, manteniéndose cercana al promedio durante julio. Sin embargo, desde agosto y hasta comienzos de septiembre, el área de NEPs se ubicó mayoritariamente por debajo del promedio, antes de descender hacia valores mínimos.

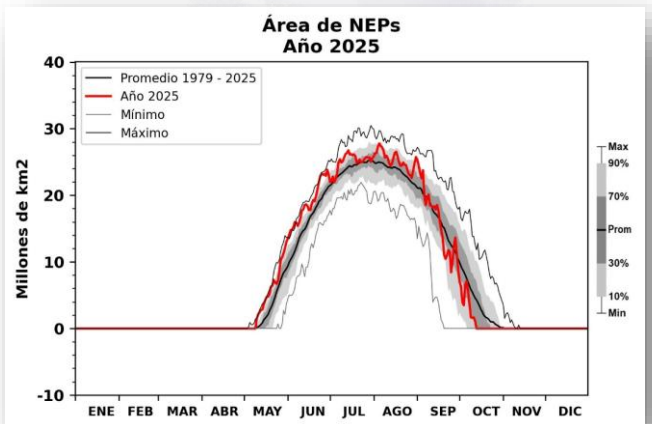


Figura 14. Área de Nubes Estratosféricas Polares Tipo I. Fuente: NASA

Al monitorear el volumen de NEPs, se observa que se mantuvo cercano a la media durante la mayor parte del período analizado. Sin embargo, desde agosto el volumen se situó mayoritariamente por debajo del promedio. El volumen máximo se alcanzó a mediados de julio, con valores cercanos a los 320 millones de km^3 (Figura 15).

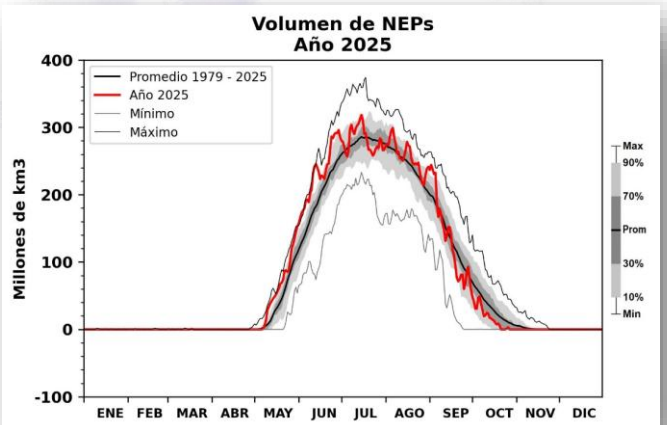


Figura 15. Volumen de Nubes Estratosféricas Polares, Tipo I. Fuente: NASA

4. Consecuencias del agotamiento de ozono en la radiación UV

Durante los meses de septiembre y noviembre, la disminución del ozono no ejerció un efecto significativo en el aumento de los valores del Índice Ultravioleta, tal como se aprecia en la Figura 16. Los incrementos observados en distintas ciudades del país se asocian principalmente a las condiciones propias de la estación, ya que los niveles del Índice UV evolucionaron de acuerdo con el comportamiento estacional característico de cada región.

Según lo que muestran las figuras (Temuco, Puerto Montt, Punta Arenas y Antártica), a fines de septiembre los valores del Índice UV se mantienen principalmente entre 2 y 4 unidades (rango Bajo a Moderado), sin alcanzar aún niveles altos. El aumento más evidente se observa durante octubre y noviembre, cuando los valores se incrementan progresivamente hasta situarse entre 6 y 9 unidades, en concordancia con el avance de la primavera y el comportamiento estacional esperado.

Asimismo, entre los días 25 y 27 de octubre se registró un incremento del índice en las ciudades de Punta Arenas y la Antártica, lo cual es consistente con el paso de una elongación del agujero de ozono sobre esa zona. Además, otra elongación tuvo lugar entre el 9 y 10 de noviembre, que pudo ser evidenciada en Puerto Montt, aumentando el IUV en 1 a 2 unidades.

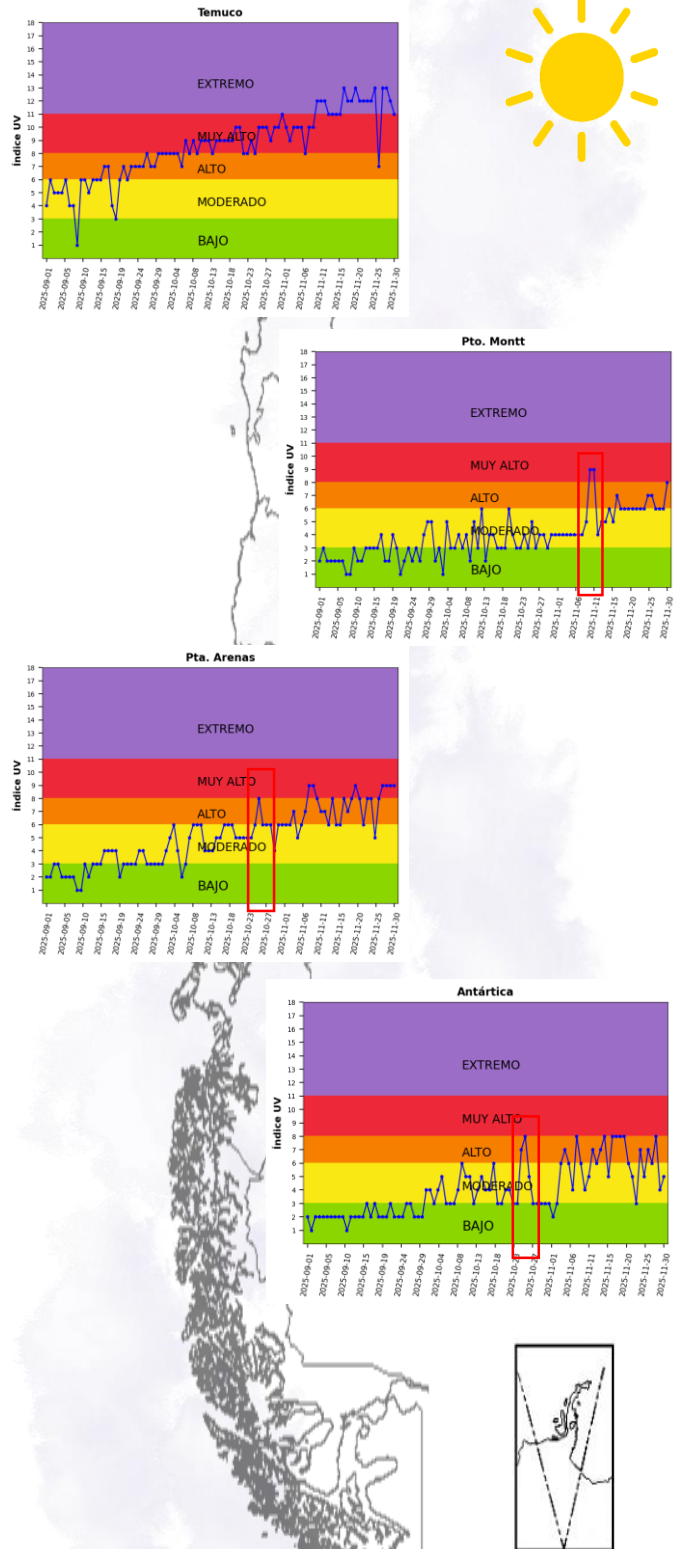
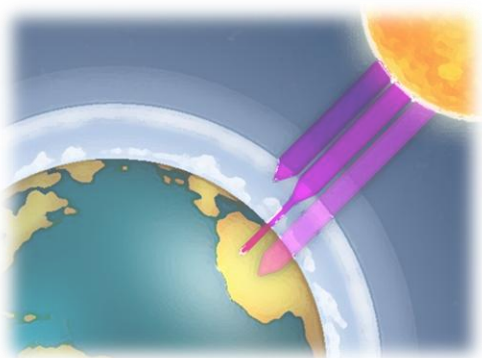


Figura 16. Valores de Índice Ultravioleta durante septiembre a noviembre de 2024 en ciudades del sur del país. Fuente: DMC

5. Observaciones generales

La extensión del agujero de ozono se mantuvo en torno a sus valores climatológicos medios; no obstante, hacia finales de agosto alcanzó aproximadamente 23 millones de km², cifra comparable a la observada el año previo. A diferencia de lo observado en 2024, **en 2025 el agujero de ozono destacó por cerrar su ciclo mucho antes de lo normal**. En términos generales, las temperaturas permanecieron dentro de rangos normales hasta diciembre, salvo en el período comprendido entre fines de octubre y fines de noviembre, cuando se evidenciaron anomalías positivas respecto al promedio. También, fue posible observar 2 elongaciones importantes que alcanzaron el sur de Sudamérica.

Durante el año 2025 se observa la evolución del agujero de ozono, como se presenta en la Figura 17. Las áreas representadas en tonos azules corresponden a regiones donde la columna total de ozono se sitúa por debajo de 220 DU, valor umbral que se emplea para definir la extensión del agujero de ozono.

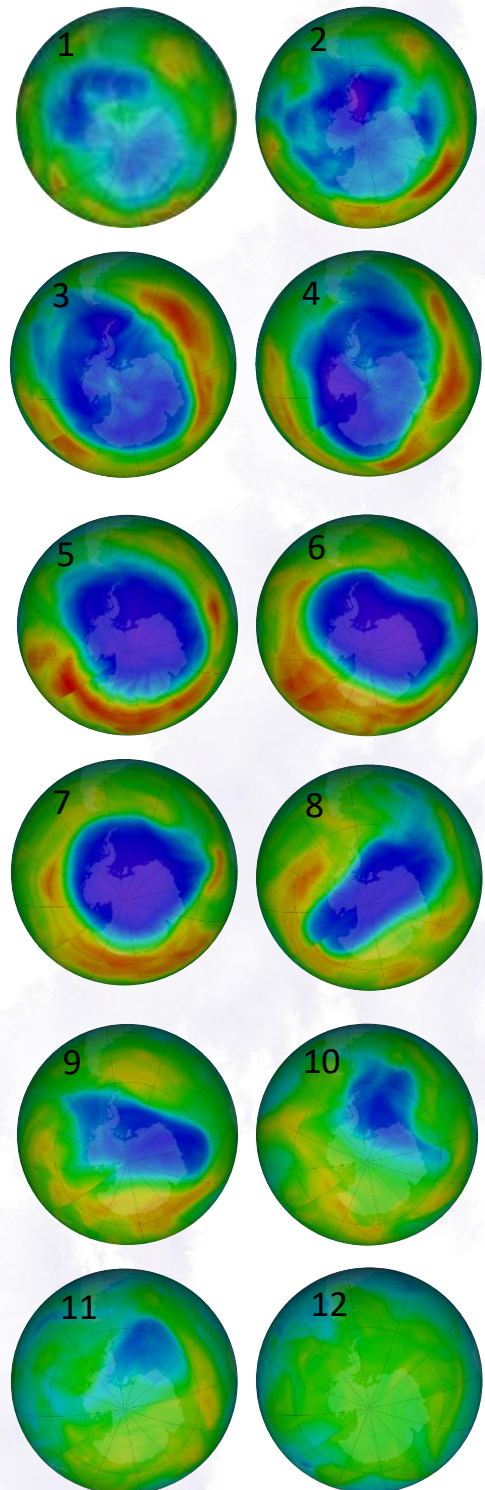


Figura 17. Columna de ozono total para los días 1) 01-agosto, 2) 15-agosto, 3) 30-agosto, 4) 01-septiembre, 5) 15-septiembre, 6) 01-octubre, 7) 15-octubre, 8) 30-octubre, 9) 03-noviembre, 10) 15-noviembre, 11) 30-noviembre y 12) 15-diciembre de 2025. Fuente: NASA.

6. Referencias

- Fahey, D. *Veinte Preguntas y Respuestas sobre la Capa de Ozono*. Documento basado, en la evaluación científica del agotamiento de ozono 2002, NOAA.
- Ozone Hole Watch. National Aeronautics and Space Administration. Goddard Space Flight Center
<https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/>
- <https://atmosphere.copernicus.eu/monitoring-ozone-layer>
- Red Radiométrica DMC. Datos de Índice UV.
- Total Ozone Mapping Spectrometer-Earth Probe (TOMS-EP), NASA. Datos de columna de ozono diarios.
- <https://blog.meteochile.gob.cl/>

