



Servicio
Meteorológico
Nacional

BOLETIN 3 - 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.

Noviembre, 2022



Ministerio de Defensa
Presidencia de la Nación

Información sobre Copyright

Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.

La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.

INDICE	
RESUMEN	4
ANTECEDENTES	5
1. Introducción.	6
2. CONDICIONES METEOROLOGICAS PREVALECIENTES	7
2.1 Temperaturas.	7
2.2 Área y volumen las NEP	8
2.3 Estabilidad del vórtice.	9
3. OBSERVACIONES DE OZONO	10
3.1 Observaciones Satelitales.	10
3.2 Estaciones en superficie.	11
3.2.1 Estación VAG USHUAIA.	11
3.2.2 Estación Antártica MARAMBIO.	13
3.2.3 Estación Antártica San Martin	14
3.2.4 Estación Antártica Belgrano II	15
4. EL AGUJERO DE OZONO	17
4.1 El área del agujero de ozono.	17
5. CONCLUSIONES	18
6. AGRADECIMIENTOS	19
7. BIBLIOGRAFÍA	19

RESUMEN.

El presente Boletín 3, 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) continúa fría por debajo de la media del periodo 1979 a 2021, muy cerca de las series de tiempo de los años 2020 y 2021, pero ya no se produce las Nubes Estratosféricas Polares (NEP), en tal sentido que solo queda el cloro remanente. Esta situación es consecuencia de un vórtice polar estable y poco perturbado, debido a un pobre flujo de calor y actividad de onda muy reducida.

El área del Agujero de Ozono, hasta al 31 de octubre es de 22,3 millones de km², por encima de su media hasta ese día que es 12,9 millones de km². El agujero de ozono ha sido de 23,5 millones de km² tomando el periodo de 7 de septiembre al 13 de octubre que es donde se presenta los valores máximos absolutos y esta situación lo ubica en el lugar 16 de los 43 años de agujero de ozono. En tanto el tamaño máximo ha sido de 16,5 millones de km², ubicándose en el lugar 11° de 43 años (de Mayor a menor).

Finalmente, el agujero de ozono para este año es muy similar al del 2020 y 2021, al igual que sus condiciones en la estratosfera, de tal manera que se espera que el cierre se prolonga hasta después de la segunda quincena del mes de diciembre, si no cambia su dinámica.

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

ABSTRACT.

The objective of this Bulletin 3 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) continues cold below the average of the period 1979 to 2021, very close to the time series of the years 2020 and 2021, but the Polar Stratospheric Clouds (PSE) are no longer produced, in such a sense that only the remaining chlorine remains. This situation is a consequence of a stable and little disturbed polar vortex, due to poor heat flux and greatly reduced wave activity. The area of the Ozone Hole, until October 31, is 22.3 million km², above its average until that day, which is 12.9 million km². The ozone hole has been 23.5 million km² taking the period from September 7 to October 13, which is where the absolute maximum values are presented and this situation places it in the 16th place of the 43 years of ozone hole . Meanwhile, the maximum size has been 16.5 million km², ranking 11th out of 43 years (from largest to smallest). Finally, the ozone hole for this year is very similar to that of 2020 and 2021, as are its conditions in the stratosphere, in such a way that the closure is expected to last until after the second half of December, if does not change its dynamics.

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 cambió la perspectiva de las ciencias de la atmósfera y arrojó una de las políticas ambientales más exitosas de la historia, a nivel mundial, como lo es el **Protocolo de Montreal**. En 1985 Joe Farman, Brian Gardiner y Jonathan Shanklin reportan con 20 años de datos de ozono total de las Estaciones Antárticas Haley y Faraday, que los niveles de ozono comenzaron a descender (Agujero de Ozono) en los meses de primavera austral hacia fines de la década de 1970. Ellos sugieren y atribuyen a que esa disminución de ozono se debe a compuestos de origen antropogénico llamados Clorofluorocarbonos (CFC's) los cuales provienen del uso de aerosoles y accesorios para refrigerar. En 1974 sugieren que el monóxido de cloro (ClO) se produce a partir de los CFC's y por lo tanto son destructores de ozono. A principios de la década de 1980, las mejores proyecciones de los modelos estratosféricos indicaron que, la producción continua de CFC's en grandes cantidades, pone en riesgo la destrucción de entre el 2% y el 4% de la capa de ozono para fines del siglo XX. Pero aún no se sugiere que el ozono en latitudes polares fuera especialmente sensible.

En 1974, Molina y Rowland publican los resultados de sus investigaciones en un artículo dentro de la revista **Nature**. En 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 PREVALECIENTES.

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 y de la formación del vórtice polar. 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. Hasta el 2 de noviembre, las temperaturas siguen bajas y muy similar al 2021, aunque con algunas variaciones que no llegan a la media histórica. También se observa que las temperaturas no están lo suficientemente bajas para continuar la formación de NEP's (*Figura 1*).

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

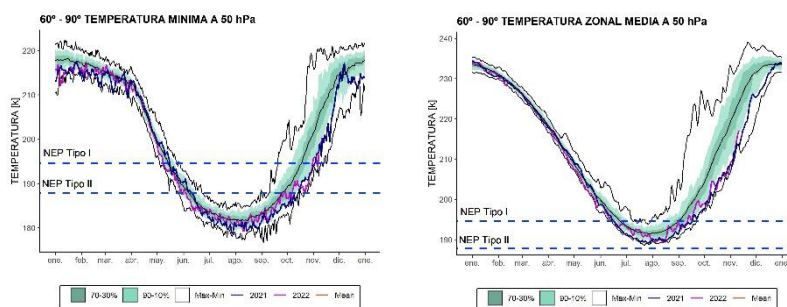


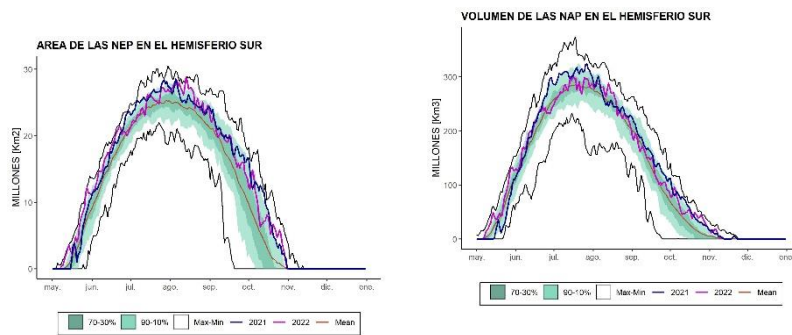
Figura 1. *Izquierda:* Temperatura mínima promedio a 50hPa. *Derecha:* Temperatura zonal a 50 hPa. Ambas sobre la región de 50° a 90° S. La línea color marrón y azul, representa la evolución de las temperaturas para el año 2022 hasta el 2 de noviembre y el año 2021, respectivamente. La línea negra intermedia representa la media del periodo, 1979 a 2021. Las líneas externas negras, son los máximos y 1 mínimos del mismo periodo. Los sombreadas en azul-verde de adentro hacia afuera, son los percentiles de 70 – 30% y de 10 – 90%. Las líneas rectas punteada 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.

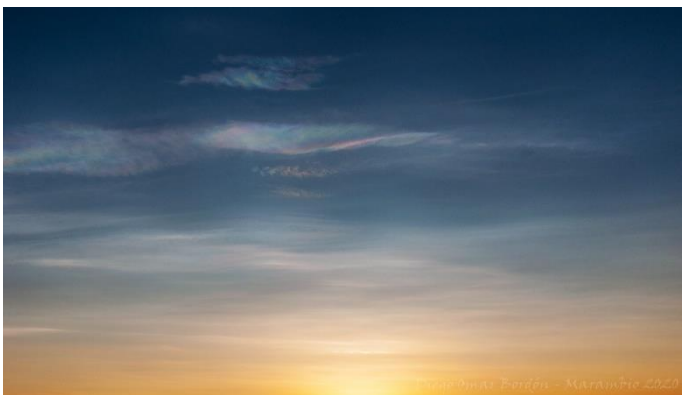
Las Nubes Estratosféricas Polares (NEP) se forman a través de las bajas temperaturas en la estratosfera; se considera Tipo I (ácido nítrico trihidratado) las que se forman a partir de una temperatura mínima inferior a 194,6 K (-78,5°C) a nivel isentrópico de 460 K y las Tipo II por debajo de los 187,7 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 (2 de noviembre), donde las NEP 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. Hasta el momento ya no hay formación de NEP. En este sentido ya no hay reservorios para el cloro y solo queda el remanente

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 2 de noviembre. 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 (NEP). Fotos: Sr. Diego Bordón, Pabellón Científico de la Estación Marambio, SMN 2020.



Polares Antártica

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 línea del flujo de calor es muy cercano al año 2021 y muy poca actividad de ondas atmosféricas (Ver en la **Figura 4**).

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

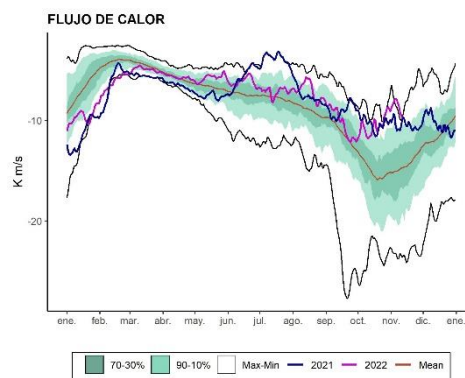


Figura 3. Serie de tiempo del flujo de calor. La curva marrón muestra los datos para 2022 (hasta el 2 de noviembre), la línea azul corresponde al año 2021 y las líneas externas negras, son los valores máximos y mínimos durante el período 1979 – 2019. Las líneas sombreadas en azul-verde de adentro hacia 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. Para el 2 de noviembre se muestra un vórtice estable en ambos reanálisis (NCEP y ECMWF). Con un área estimada de 34 millones de km² y con el pasar de los días, disminuye poco a poco.

En el gráfico del flujo vertical de Eliassen – Palm (E-P) se observa que después de la primera quincena de agosto, la actividad de onda se intensifica a intervalos de tiempo, pero conforme avanza la primavera austral la intensidad disminuye hasta el 1 de noviembre, año que hace que el vórtice polar se intensifique y se profundice,

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/>

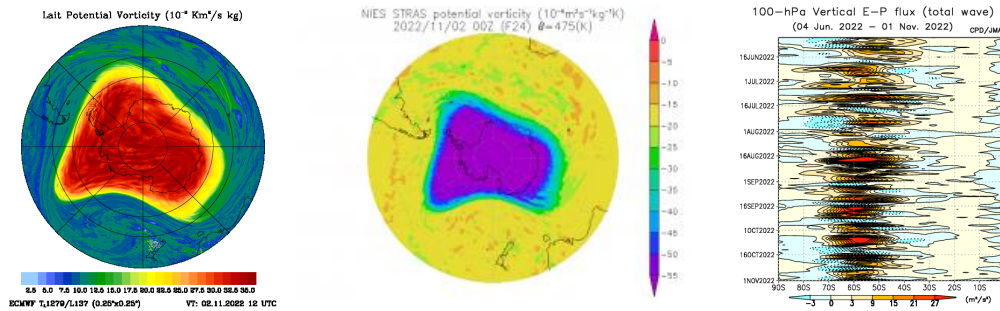


Figura 4. Mapas de Vorticidad Potencial (PV) a una altura isentrópica de 475 K. Para el día 2 de noviembre. **Izquierda,** el mapa se construye con datos del ECMWF. **Centro,** el mapa se construye con datos del NCEP. **Derecha,** es la actividad de onda atmosférica desde abril de este año (Agencia Japonesa 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), el Ozono dentro de la capa polar y el déficit de ozono para este año, 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 está bien fortalecido y con una estratosfera fría, la destrucción de ozono es muy similar a la del año 2021 y muy cercano a los mínimos. Es una destrucción que hace que el agujero de ozono sea profundo y quizás perdure más tiempo que lo normal, al igual que el año 2020 y 2021.

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

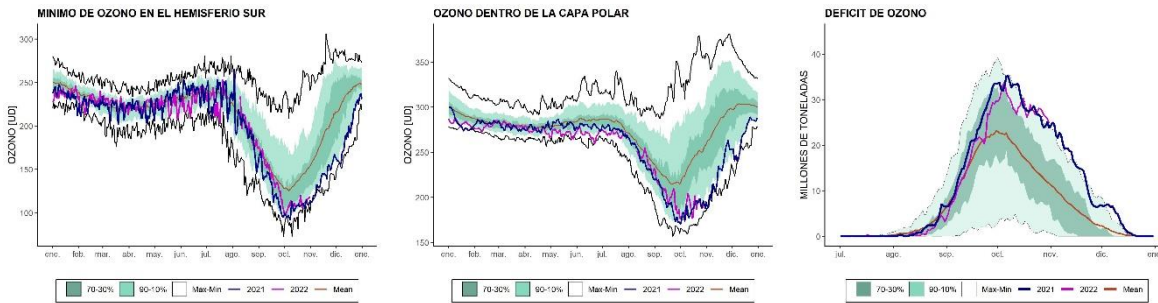


Figura 5. Izquierda, mínimo diario de la columna total de ozono en el hemisferio sur. **Centro,** es la columna total de ozono dentro de la capa polar. **Derecha,** es déficit de ozono que se define la cantidad necesaria para que el ozono llegue a las 220 UG. En los tres casos, la línea violeta muestra el año 2022 hasta el 2 de noviembre, 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° 50' 54.46''S, 68° 18' 37.52'' O) Y mediciones con Espectrofotómetro Dobson de la Estación Antártica Marambio (61° 14' 33.68'' S, 56° 37' 36.98'' O), dependientes del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Ozonosondeos y mediciones del espectrofotómetro Brewer de la Estación Antártica Belgrano II (77°52'28''S 34°37'37''O), medidas con Espectrofotómetro Brewer de la Estación Antártica San Martín (68°07'48'' S, 67°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. El agujero de ozono en su dinámica solo ha pasado una vez por la ciudad de Ushuaia (12 de octubre).

En la **Figura 7** se muestra los 8 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, 5 y 12 de octubre. El día 12 de octubre se puede apreciar que entre 14 y 20 km una gran destrucción de ozono que denota la profundidad del agujero de ozono.

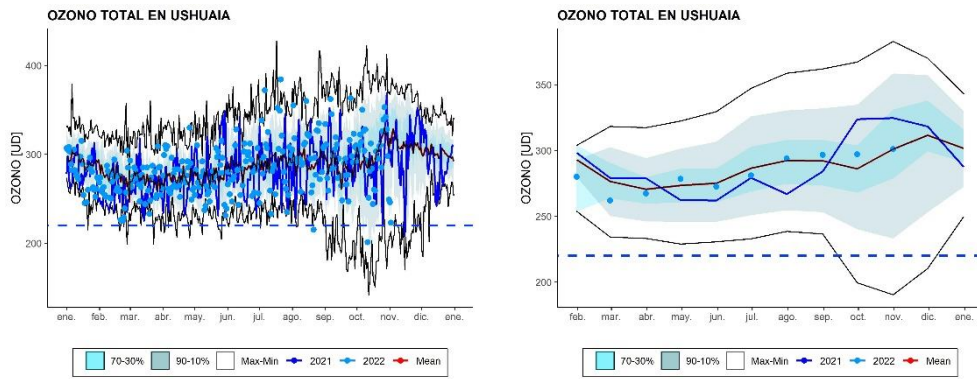


Figura 6. Datos de la columna Total de Ozono [UD] con el Espectrofotómetro Dobson en la estación VAG Ushuaia. En ambos gráficos los puntos azules son los datos del año 2022. La línea azul es del año 2021 y la línea negra es la media del período 1994 a 2021.

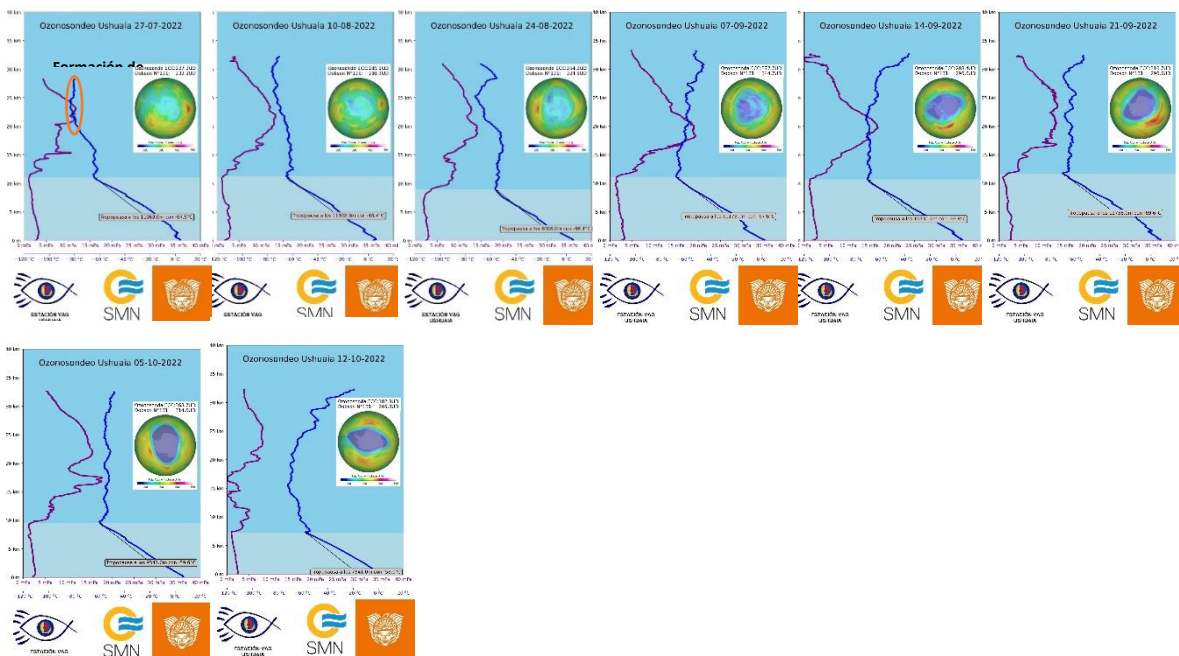


Figura 7. Ozonosondeos realizados en la Estación VAG de Ushuaia. En los dos gráficos, la línea morada es la relación de mezcla del ozono expresado en unidades partes por billón [ppb] en cada nivel de la atmosfera. Y la curva roja es el perfil de la temperatura en [°C].

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 gráfico diario de la **Figura 8**, que algunos de los valores de las medidas, después de la noche polar, se encuentran por encima de la media del periodo 1979 a 2021, algunos valores se acercan a máximos históricos. Posteriormente al 2 de noviembre hay valores por debajo del umbral de los 220 UD que indican que el agujero de ozono esta presente y pasan por la estación en la Península Antártica.

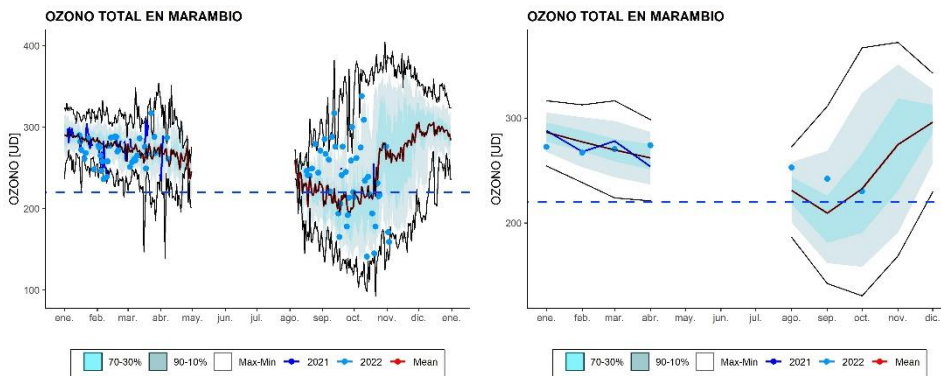


Figura 8. Datos de la columna Total de Ozono [UD] con el Espectrofotómetro Dobson en la estación VAG Ushuaia. En ambos gráficos los puntos azules son los datos del año 2022. La línea azul es del año 2021 y la línea negra es la media del período 1994 a 2021.

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. Los datos están mostrando, al igual que Marambio, mide en algunos casos por debajo del umbral de los 220 UD ([Figura 9](#)).



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

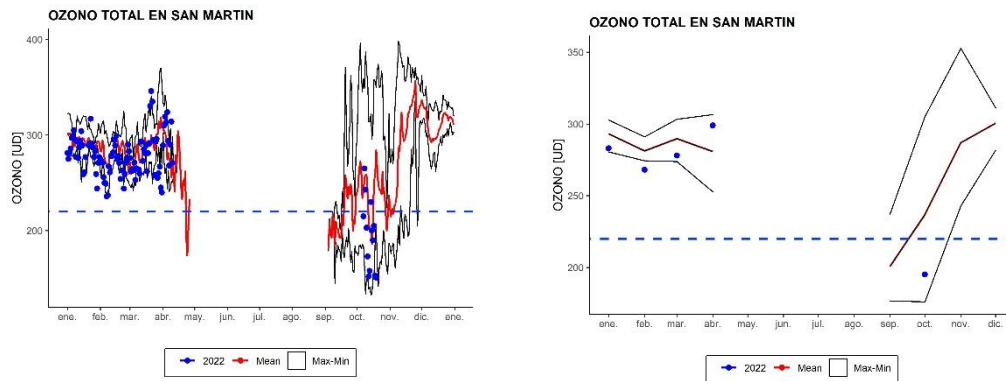


Figura 9. Datos de la columna Total de Ozono [UD] con el Espectrofotómetro Brewer en la estación Antártica San Martín. En ambos gráficos los puntos azules son los datos del año 2022. La línea azul es del año 2021 y la línea negra es la media del período 1994 a 2021

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.

La **figura 10**, muestra la evolución de la columna total de ozono en la Estación Antártica Belgrano con el Espectrofotómetro Brewer, donde se observa valores por el umbral de los 220 UD indicativo de la presencia del agujero de ozono y algunos alcanzan los valores mínimos, lo que implica un agujero profundo con gran destrucción de ozono.

En la **Figura 11** se muestra los ozonosondeos para el 21 de septiembre (149,8 UD), 6 (123,8 UD), 14 (198,3 UD), 19 (131,9 UD) de octubre y 2 de noviembre (1589,8 UD) y se observa que, entre los 15 y 24 km de altura hay una gran destrucción de ozono, concordante con la profundidad del agujero de ozono y con la destrucción de ozono en la Antártida.



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.

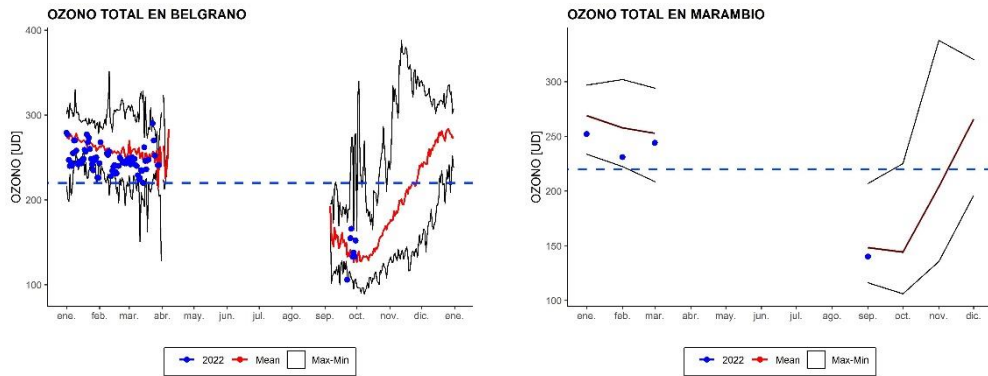


Figura 10. Datos de la columna Total de Ozono [UD] con el Espectrofotómetro Brewer en la estación Antártica San Martín. En ambos gráficos los puntos azules son los datos del año 2022. La línea azul es del año 2021 y la línea negra es la media del período 1994 a 2021

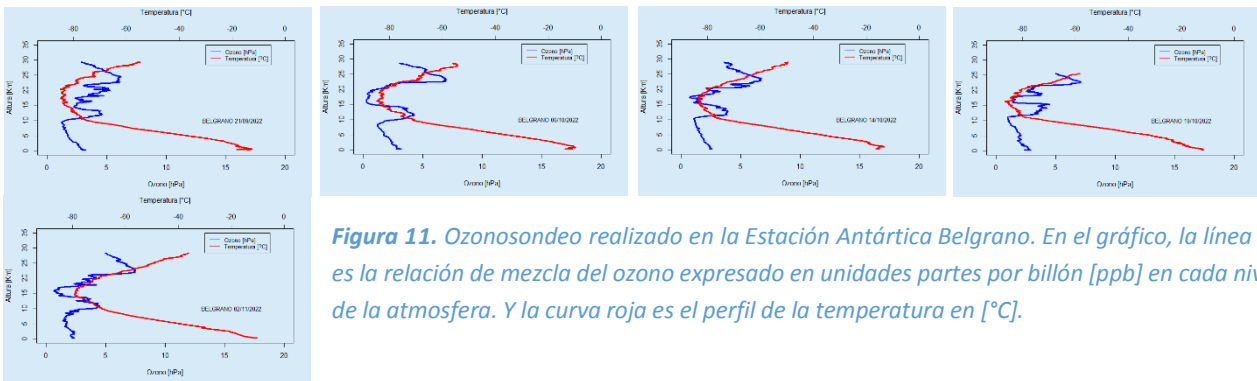


Figura 11. Ozonosondeo realizado en la Estación Antártica Belgrano. En el gráfico, la línea azul es la relación de mezcla del ozono expresado en unidades partes por billón [ppb] en cada nivel de la atmosfera. Y la curva roja es el perfil de la temperatura en [°C].

4. El Agujero de ozono

4.1 El área del agujero de ozono

En la **Figura 12** 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 18 de octubre es de 24 millones de km². Pero el tamaño máximo absoluto fue de 26,5 millones de km² el día 5 de octubre (Se ubica en el lugar 11 del periodo 1979 al 2022). Pero si tomamos el promedio del 7 de septiembre al 13 de octubre que es cuando en ese periodo se presentan las máximas áreas, se observa que es idéntico a los años 2020 y 2021, además muy cercano al 2018 (lugar que ocupa para el periodo 1979 a 2022: Del 14 al 17). Ver **Figura 13**.

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>

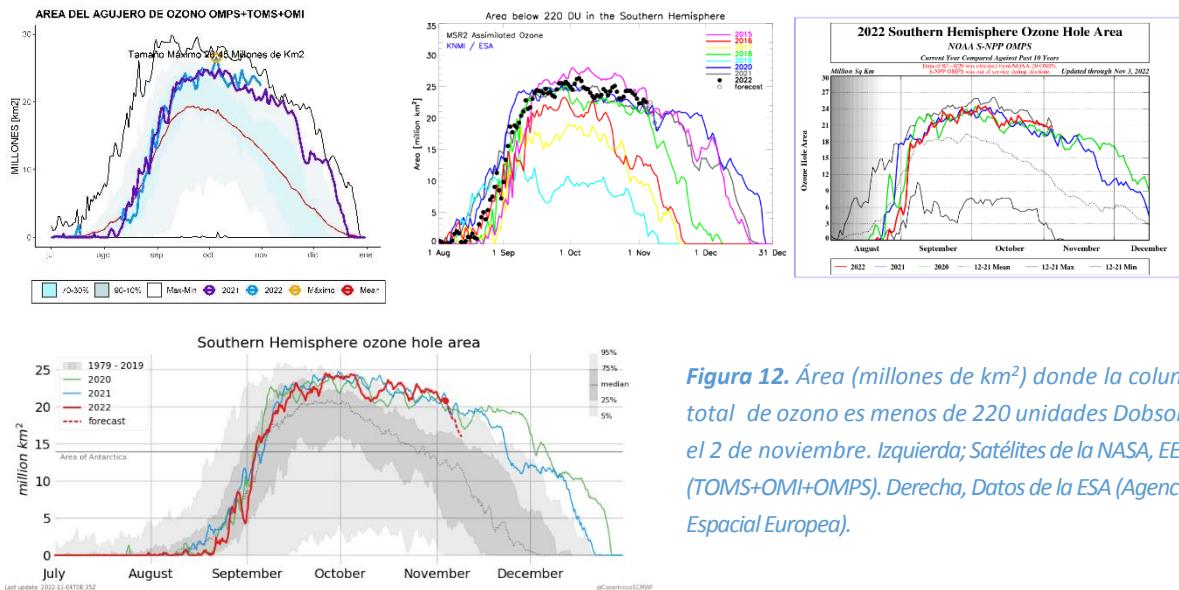


Figura 12. Área (millones de km²) donde la columna total de ozono es menos de 220 unidades Dobson, hasta el 2 de noviembre. Izquierda; Satélites de la NASA, EEUU (TOMS+OMI+OMPS). Derecha, Datos de la ESA (Agencia Espacial Europea).

En la **Figura 13** se muestra el área del agujero de ozono, comprado con los 42 años anteriores (1979 a 2021). La máxima área que se presenta en año 2022 fue el día 5 de octubre, con un valor de 26,5 millones de km², que lo ubica en el 11° lugar (de mayor a menor) Esta área solo se presenta un día como parte de la variación del agujero año con año, pero si se toma un promedio de las áreas desde el día 7 de septiembre al 13 de octubre, el área media del agujero de ozono para el 2022 es de 23,2 millones de km², muy similar a los años 2020 y 2021, además muy cercano al 2018 (23,9 millones de km²)

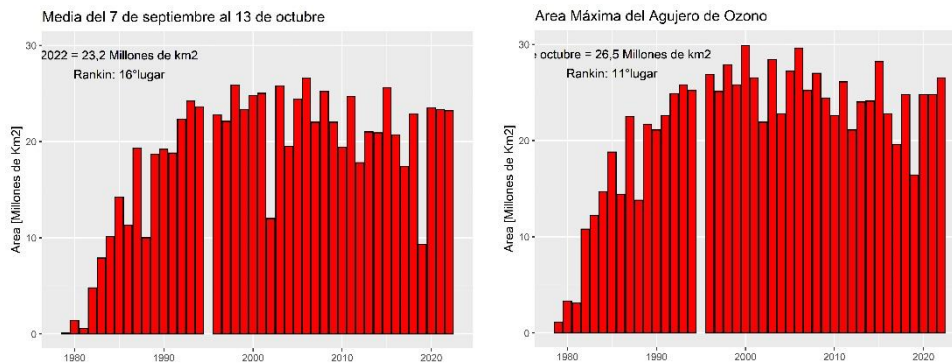


Figura 13. En ambas figuras se muestra el tamaño del agujero de ozono. Izquierda; Es la media del periodo en el que se presentan los máximos del agujero de ozono (7 de setiembre al 13 de octubre). Derecha; El tamaño máximo del agujero de ozono para el año 2022.

En la *Figura 14*, se observa de manera global, la evolución del agujero de ozono durante los próximos 5 días (del 8 al 12 de noviembre).

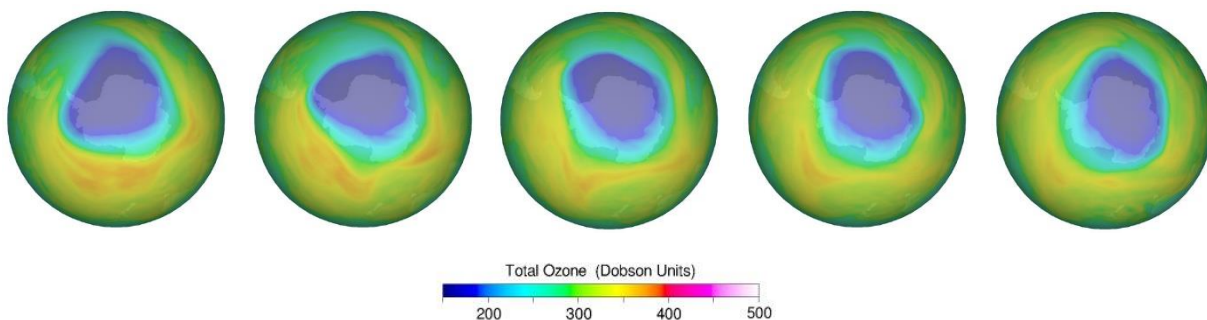


Figura 14. Proyecciones para los próximos 4 días a partir del día 25 de octubre y muestran la evolución del agujero de ozono.

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 estratosfera continúa con temperatura más baja que la media y muy parecida a los del año 2020 y 2021, pero ya no se producen las NEP y solo queda el remanente de cloro que destruye ozono. Esta situación es consecuencia de un vórtice polar muy estable y muy poco perturbado, con poco transporte de calor y poca actividad de onda.

En las estaciones de superficie muestran la misma situación que los satélites, gran destrucción de ozono y muy cercano a los valores más bajos de ozono, situación que indica que, es un agujero de ozono profundo y muy cercano a los años 2020 y 2021.

Para este año, el promedio del tamaño del agujero de ozono que comprende del 7 de septiembre al 13 de octubre fue de 23,5 millones de Km², el cual ocupa el 16º lugar (de Mayor a menor) de los 43 años. Mientras que el tamaño máximo absoluto se presenta el día 7 de octubre con 26,5 millones de km² ocupando el lugar 11º lugar de mayor a

menor.

El agujero de ozono para este año, es muy similar a los del 2020 y 2021, de tal manera se espera que su cierre se prolongue después de la mitad del mes de diciembre.

El próximo boletín se estima que será publicado antes del día 20 de noviembre 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 Gambarte.**

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. Chabrilat, Y. Christophe (BIRA-IASB) "Report on 2014 Antarctic ozone hole studies" MACC-III project (Monitoring Atmospheric Composition and Climate - III) 2014.
- Scientific Assessment of Ozone Depletion 2018 – Executive Summary – WMO UNO environment, NOAA, NASA, European Commission.
- Manuel Gil Ojeda "El ozono estratosférico" Tethys, 3, 47–58, 2006. DOI:10.3369/tethys.2006.3.06.
- Carbajal Benítez Gerardo, Facundo Orte, Elian Wolfram, Eduardo Luccini y Fernando Nollas. Boletines 1, 2, 3, 4 e Informe Final del Agujero de Ozono 2019.
- Karpechko, A., Y. (2020). Jet stream stops shifting as ozone layer recovers, Nature, Vol 579, 544-501.
- Solomon, S. (2019). The discovery of the Antarctic ozone hole, Nature, Vol 575, 46-47.
-
- Carabajal Benitez Gerardo; Cupeiro Manuel; Sánchez Ricardo; Agüero Juan Daniel; Barlasina María Elena y Nollas Fernando. Caracterización de la Columna Total de Ozono medido con el Espectrofotómetro Dobson en cuatro estaciones en la Argentina. ISBN 978-987-1323-36-4