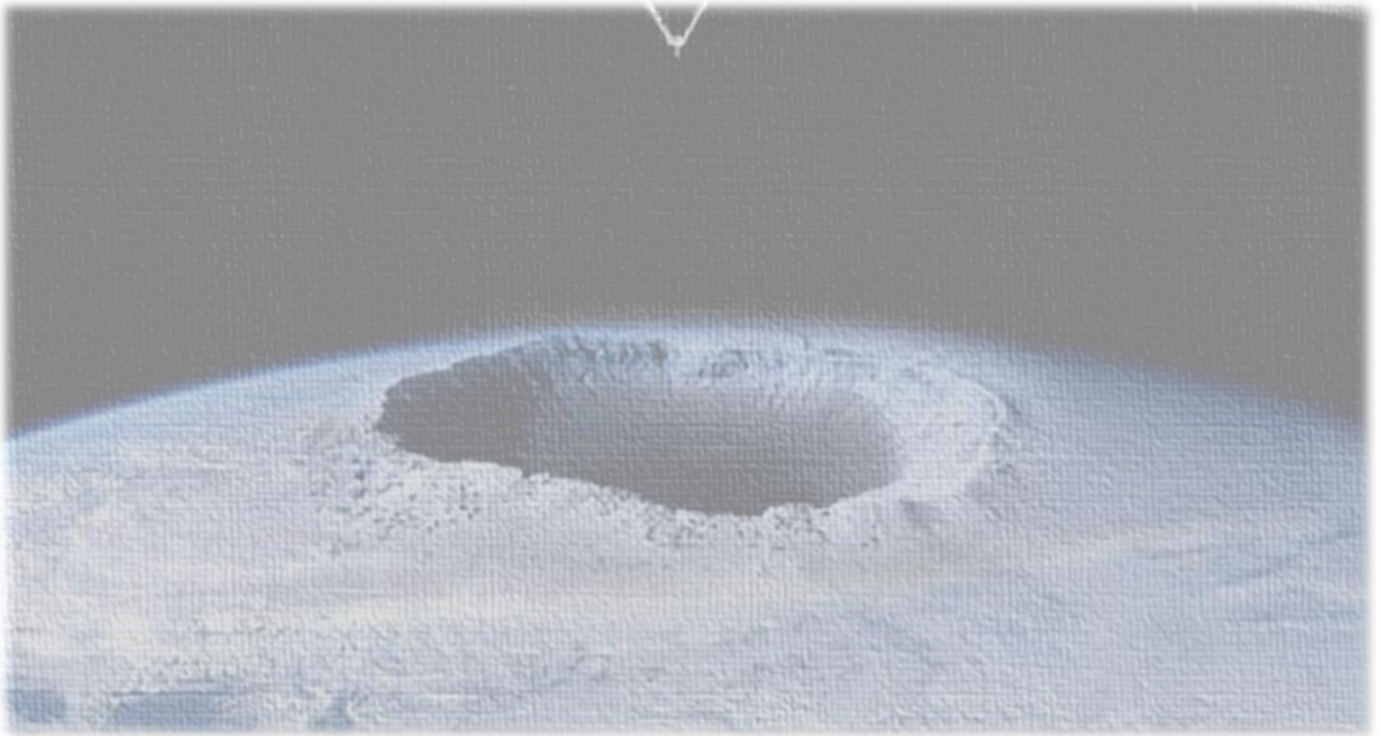


OZONO ESTRATOSFÉRICO Y RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

BOLETÍN AÑO 2020

Dirección Meteorológica de Chile
Subdepartamento de Climatología y Meteorología Aplicada





Índice

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

¿Cómo comunicarte con nosotros?

Sitio web: www.meteochile.gob.cl/climatologia

Correo: servicios_climatologicos@meteochnle.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 el meteorólogo Juan Crespo.
Boletín editado por la meteoróloga Solángela Sánchez.

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

1. Resumen

El evento de agujero de ozono 2020 fue precedido de condiciones físicas y dinámicas que permitieron que adquiriera dimensiones históricas y una duración bastante más extensa que su ciclo habitual (desde principios de agosto a fines de diciembre). Los valores de mínimo de columna de ozono (Figura 1) se mantuvieron por debajo del promedio 1979-2019 desde septiembre. Las temperaturas de formación de las nubes estratosféricas polares, tanto para las de Tipo I como de Tipo II, estuvieron por debajo de valores medios para el período 1979 - 2019, entre agosto y diciembre, siendo extremadamente bajas para la época entre octubre y noviembre. La corriente en chorro polar en tanto, principal factor de aislamiento del aire polar y fortalecimiento del vórtice, presentó intensidades superiores a la media durante los meses de octubre a diciembre. A su vez, el transporte longitudinal de calor en 100 hPa, entre los 45° y 75°S, fue muy débil, lo que se tradujo en un vórtice estable y de larga duración. Lo señalado anteriormente, **favoreció una mayor extensión del área del agujero y un tardío cierre**, llegando a los 25 millones de Km² aproximadamente en septiembre, manteniendo una extensión cercana a los 20 millones de Km² hasta comienzos de diciembre (Figura 2 y 3). Situación que dista mucho de lo ocurrido el año pasado, cuando se tuvo un cierre anticipado del Agujero de Ozono. **Consagrando el Agujero de Ozono de este año 2020 como uno de los más grandes y profundos de los últimos años.**

Pese a que el Agujero de Ozono Antártico del año 2020 presentó valores de gran tamaño, duración y profundidad, su efecto en el país fue marginal. En septiembre y noviembre el aumento en los valores del Índice Ultravioleta (IUV) en las ciudades del extremo sur del país, están asociados a las condiciones naturales para la época, es decir, acorde a la estacionalidad. Sin embargo, un leve aumento de IUV se vivió los días 4 y 5 de octubre por una elongación del agujero.

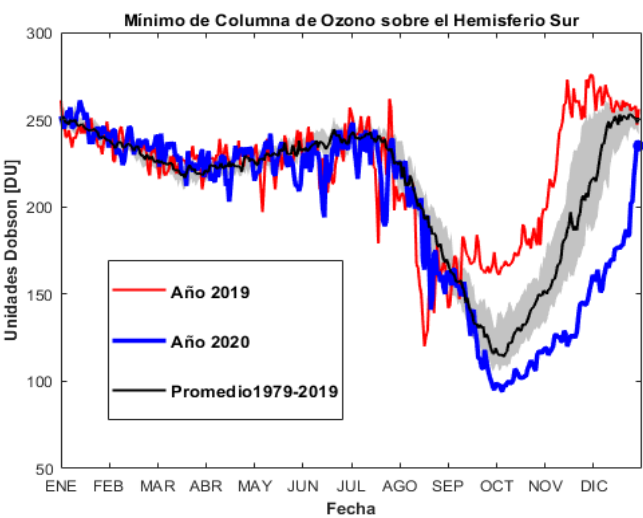


Figura 1. Mínimo de columna de ozono en unidades Dobson (DU). Fuente: NASA.

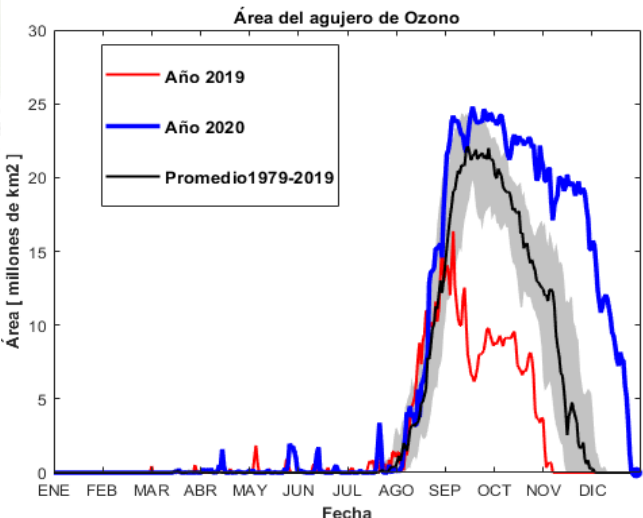


Figura 2. Tamaño del agujero de ozono en millones de km². Fuente: NASA.

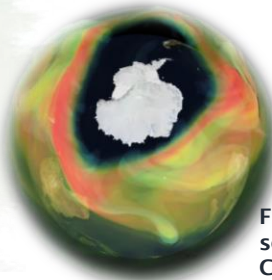


Figura 3. Agujero de Ozono el día 15 de septiembre de 2020. Fuente: Programa Copernicus.

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.

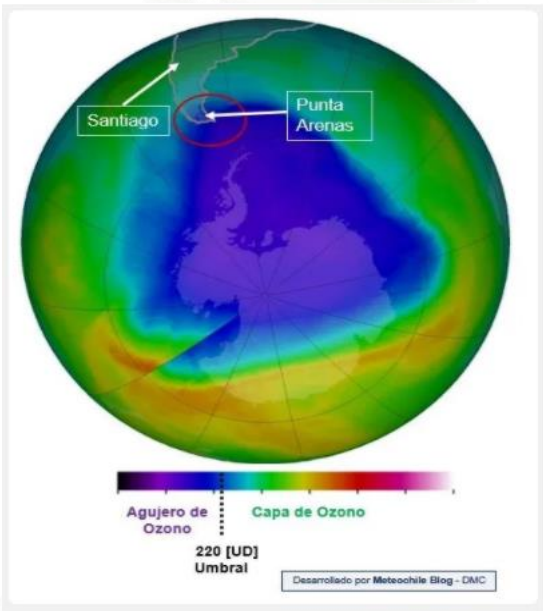


Figura 4. Columna de ozono total. Fuente: NASA.

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 durante el año 2020 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 Friedrick 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 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.

OZONO ESTRATOSFÉRICO Y RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

AÑO 2020

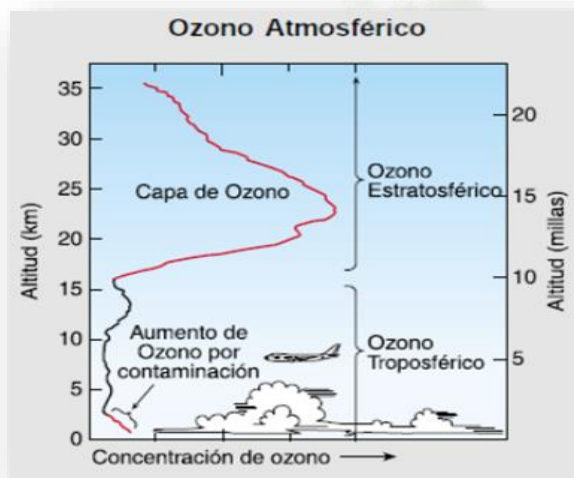


Figura 5. Perfil de ozono atmosférico. Fuente: NOAA.

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)

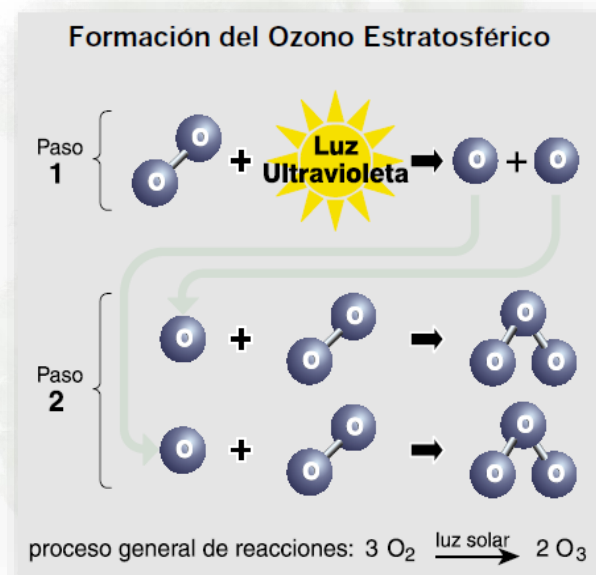


Figura 6. Esquema de formación del ozono atmosférico. Fuente: NOAA.

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 mas bajas donde las temperaturas son mas 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).

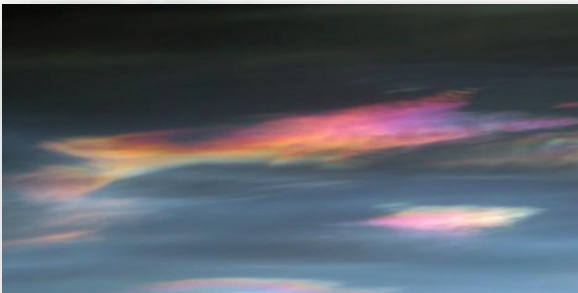


Figura 7. Nubes estratosféricas Polares.

3. Monitoreo del agujero de ozono Antártico.

Temperaturas en la estratósfera

Las temperaturas en la estratósfera polar (Figura 8) superaron su mínimo de invierno a mediados de agosto, pero permanecieron por debajo del umbral de -78°C para formación de NEPs* Tipo I hasta inicios de noviembre y del Tipo II entre junio y septiembre. En general las temperaturas estuvieron en torno a valores normales hasta mediados de septiembre. Durante octubre no aumentaron como lo hacen habitualmente sino que se mantuvieron por **debajo de los valores normales**. En noviembre continuaron bastante bajas, **incluso registrando valores mínimos históricos para la época**, lo que repercutió directamente en la evolución del Agujero de Ozono 2020.

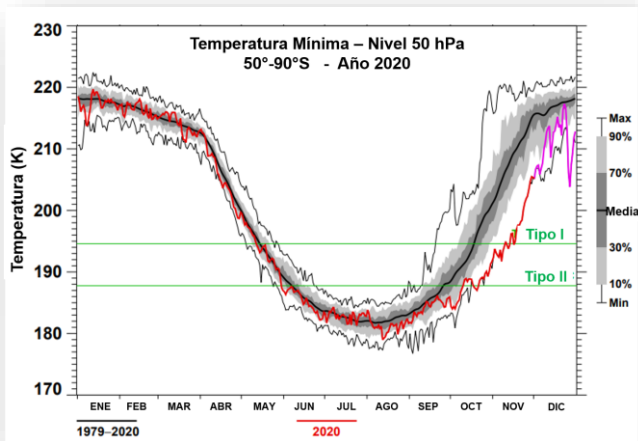


Figura 8. Temperatura mínima registrada entre los 50° y 90°S al nivel de 50 hPa (línea roja). Fuente: NASA-MERRA 2.

Corriente en chorro polar

El continente antártico está rodeado por una fuerte corriente de 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 aire en las latitudes medias.

*NEPs: Nubes Estratosféricas Polares

La región polar delimitada por esta corriente de 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.

Durante el año 2020 (Figura 9) el viento asociado al chorro polar osciló en rangos esperados hasta el mes de septiembre, pero a fines de este mes un aumento sostenido en la intensidad **permitió que los registros se mantuvieran por sobre lo normal para la época hasta diciembre**, alcanzando valores históricos desde que se tienen registros.

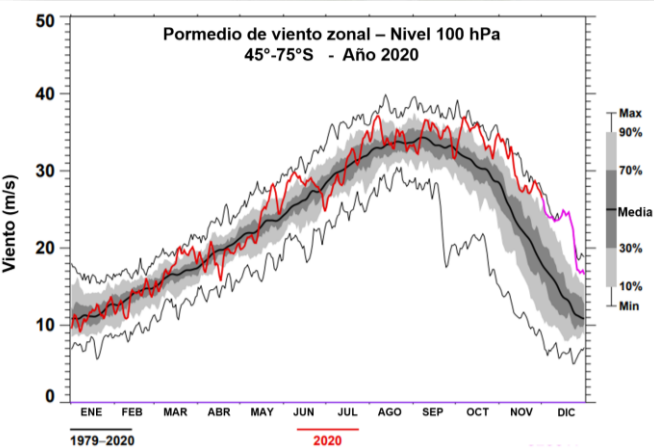


Figura 9. Viento zonal entre los 45° S y 75° S en el nivel de 100 hPa, expresado en m/s. Fuente: NASA

Estabilidad del vórtice polar

El flujo longitudinal medio de calor, entre los 45° S y los 75° S es un indicativo del grado de perturbación de la atmósfera. En la Figura 10, se puede observar que entre octubre y noviembre, los meses donde se espera un mayor flujo de calor (valores mas negativos), durante el año 2020 esto no ocurrió, el flujo fue extraordinariamente débil hacia el vórtice polar (valores menos negativos) desde fines de septiembre hasta comienzos de diciembre, siendo histórico para la época. **Esta situación indica su gran estabilidad y mayor duración.** En general el resto del año el vórtice polar bordeó los valores esperados para su ciclo.

OZONO ESTRATOSFÉRICO Y RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

AÑO 2020

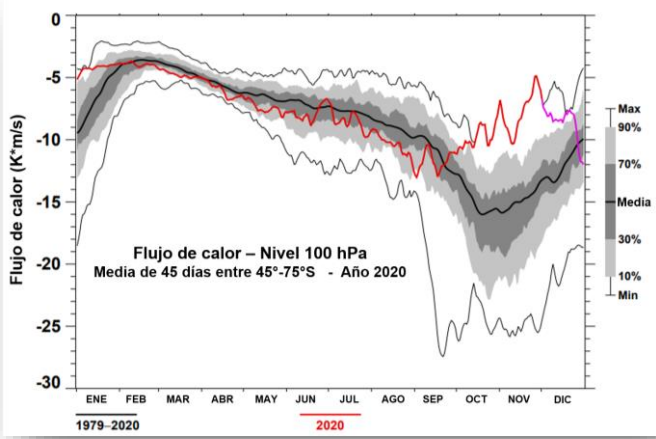


Figura 10. Flujo longitudinal de calor en el nivel de 100 hPa, expresado en $K \cdot m/s$. Mientras mas negativos los valores, mayor flujo de calor. Fuente: NASA

Déficit de masa de ozono

El déficit de masa de ozono corresponde a la cantidad de este gas, en millones de toneladas, que es necesario agregar al agujero para alcanzar el valor umbral de 220 UD. Entre septiembre y octubre, el déficit de masa de ozono se presentó con valores cercanos al percentil 70 y 90 del período 1979-2019, respectivamente (Figura 11). El déficit máximo tuvo lugar el día 8 de octubre, con 35.93 millones de toneladas. Entre mediados de octubre y fines de diciembre, el déficit de masa de ozono se mantuvo por sobre el percentil 90 de los valores climatológicos, **consagrando a noviembre y diciembre como un período histórico desde que se tienen registros.**

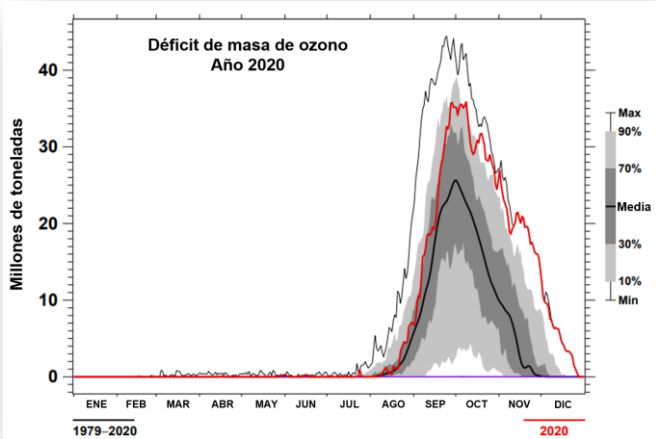


Figura 11. Déficit de masa de ozono, en unidades de millones de toneladas. Fuente: NASA

Área y volumen de NEPs

El máximo tamaño de NEPs ocurrió en julio con cerca de 29 millones de km^2 . Desde finales de septiembre se experimentó un significativo aumento en el área de NEPs del Tipo I al nivel isotrópico de 460 K, manteniéndose hasta diciembre con una diferencia cercana a los 10 millones de km^2 por sobre el valor medio para la época (Figura 12). Estos valores lograron posicionarse como **los más altos alguna vez registrados durante estos meses.**

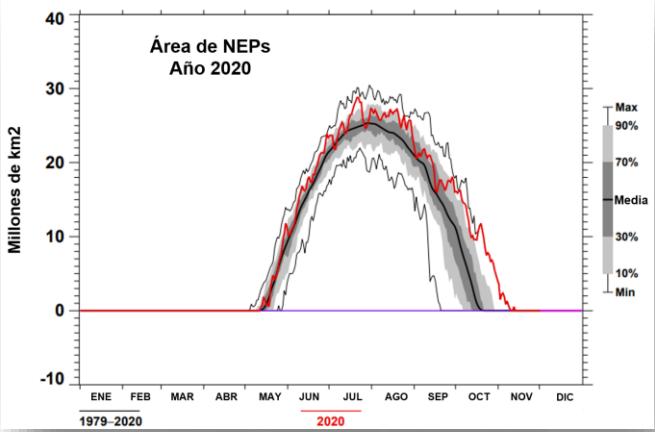


Figura 12. Área de Nubes Estratosféricas Polares Tipo I. Fuente: NASA

Al monitorear el volumen NEPs, se observa que se mantuvo cercano a la media de largo plazo hasta el mes de junio, aumentando a valores por sobre la media el resto del ciclo. **El volumen máximo se alcanzó en julio con aproximadamente 340 millones de km^3** (Figura 13).

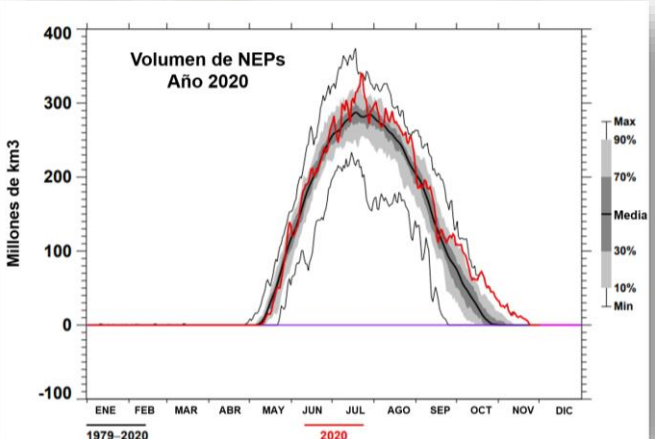


Figura 13. Área de Nubes Estratosféricas Polares, Tipo I. Fuente: NASA

4. Consecuencias del agotamiento del ozono en la radiación UV

La Figura 14 muestra que durante septiembre la disminución de Ozono no tuvo gran impacto en el aumento de los valores de Índice Ultravioleta. Los aumentos que se produjeron en las distintas ciudades del país están más bien asociados a las condiciones naturales durante la época, donde los valores de Índice UV aumentaron acorde a la estacionalidad de la zona.

Durante octubre, una elongación del Agujero de Ozono produjo un leve incremento en los valores de Índice UV entre los días 4 y 5, afectando a las localidades del sur del país.

Pese al gran tamaño y profundidad que ha alcanzado el Agujero de Ozono durante noviembre, esto no tuvo impacto en el aumento de los valores de Índice Ultravioleta en las ciudades del sur y extremo sur del país. Los registros alcanzados en rangos Muy Alto y Extremo son acordes a la época del año.

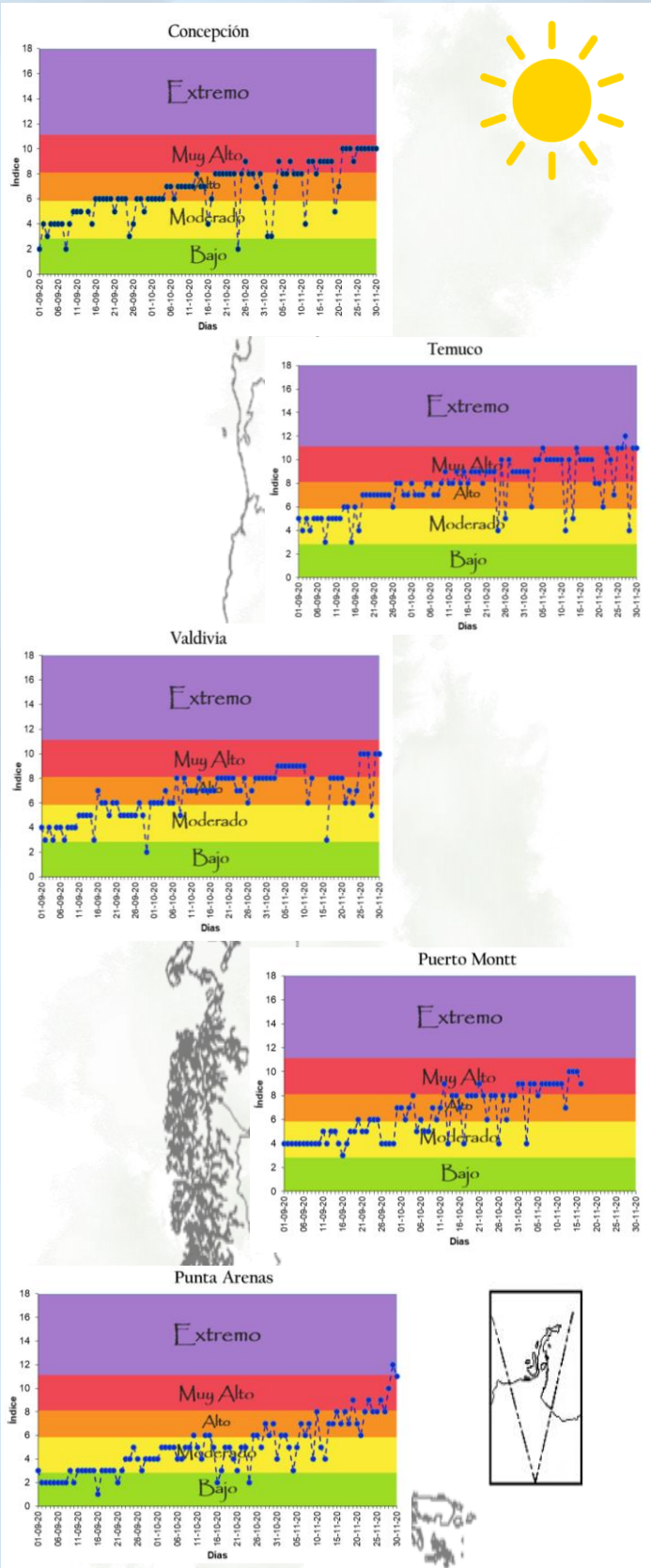
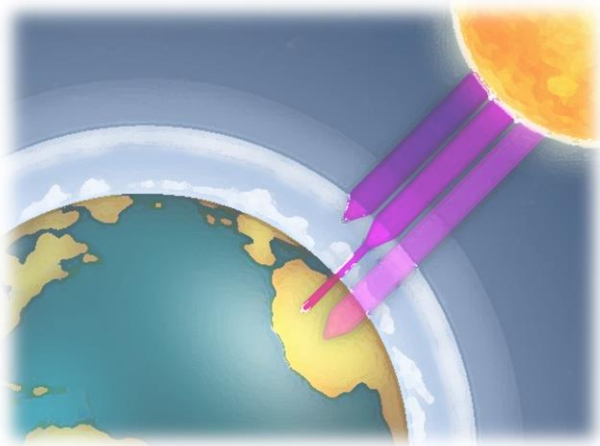


Figura 14. Valores de Índice Ultravioleta durante septiembre a noviembre de 2020 en ciudades del sur del país. Fuente: DMC

5. Observaciones generales

Desde mediados de agosto de 2020, el Agujero de Ozono creció rápidamente, alcanzando un **máximo de casi 25 millones de km² a fines de septiembre**, sobrepasando el valor normal para la época. Por otro lado, el valor mas bajo se presentó el día 6 de octubre con 94 UD. Ambos valores corresponden a un récord durante los últimos 15 años.

Altas concentraciones de ozono se observaron en torno al vórtice polar, las que disminuían a medida que nos acercamos hacia el centro de él, variando desde las 130 UD dentro del vórtice y por sobre las 360 UD fuera de él.

En general las **temperaturas estuvieron por debajo de los valores normales, incluso registrando valores mínimos históricos para la época**, lo que ha repercutió directamente en le evolución del Agujero de Ozono 2020.

La Figura 15 muestra la evolución del agujero durante el año 2020, los tonos azules corresponden al área dónde los valores de columna total de ozono están por debajo las 220 DU, umbral que define el área del agujero de ozono.

Durante octubre, noviembre y diciembre todas las condiciones fueron favorables para que el agujero de ozono se mantuviera con una mayor área de lo habitual, y además, se extendiera su ciclo hasta fines de diciembre. **Pudiendo ser considerado como un ciclo histórico para estos meses del año.**

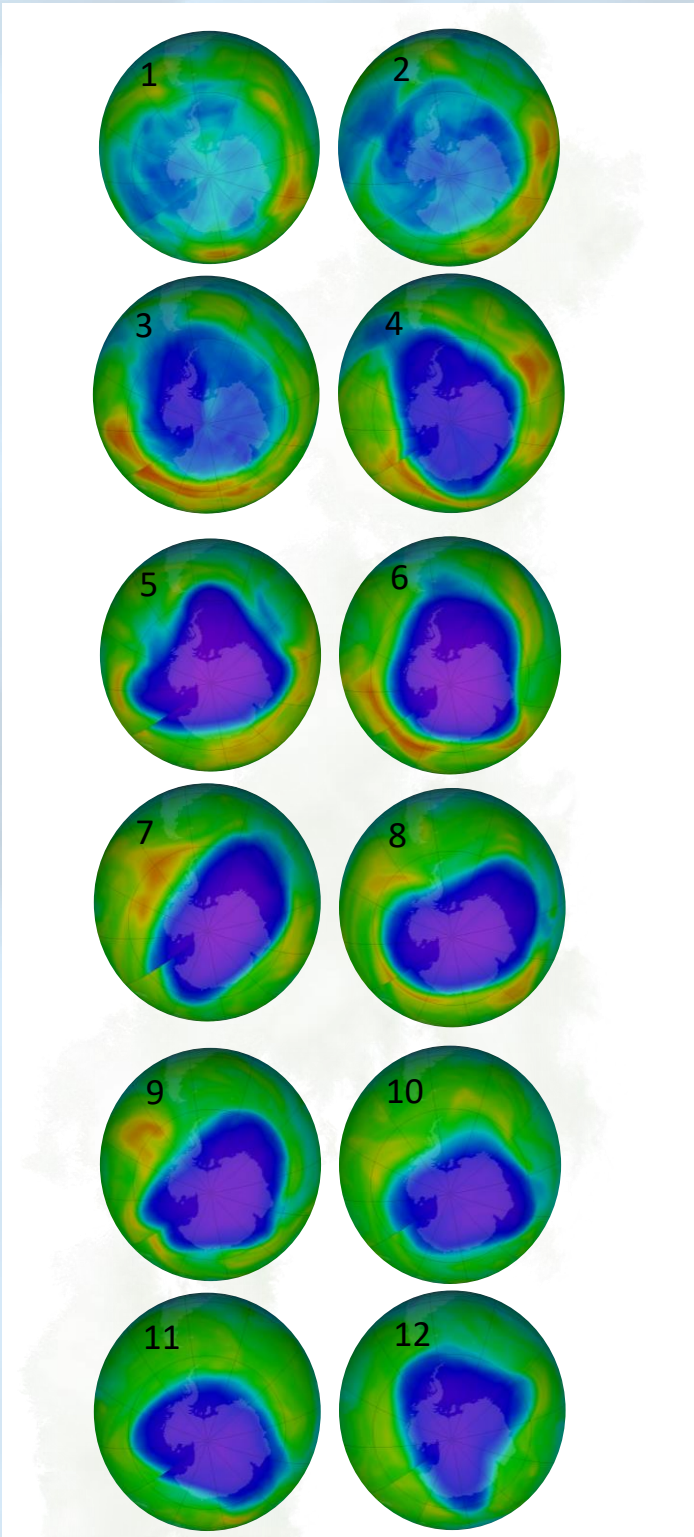


Figura 15. Columna de ozono total para los días 1) 01-agosto, 2) 15-agosto, 3) 30-agosto, 4) 15-septiembre, 5) 30-septiembre, 6) 5-octubre, 7) 15-octubre, 8) 25-octubre, 9) 01-noviembre, 10) 10-noviembre, 11) 15-noviembre y 12) 23-noviembre de 2020. Fuente: NASA.

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/>

