

EVALUACIÓN DE LOS OZONOSONDEOS EN LA ESTACIÓN VAG-USHUAIA, AÑO 2025

Nota Técnica SMN 2026-211

Emiliano Petruzzi¹, Lino Condori¹, Gerardo Carbajal Benítez¹, Giselle Marincovich¹.

¹ Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, Dirección Central de Monitoreo del Clima, Servicio Meteorológico Nacional, Argentina.

Mayo 2026

Información sobre Copyright

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

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

Resumen

En este trabajo se presenta la campaña de medición y monitoreo de ozono total a través de ozonosondeos para el año 2025. La agenda se elige en función de la temporada del agujero de ozono Antártico, debido al paso eventual por encima de la ciudad y consecuentemente, aumenta el índice de la radiación ultravioleta. Inicialmente se proyectan 16 lanzamientos, pero se realizan 12 debido al cierre temprano del agujero de ozono. De los 12 globos sonda, solo 1 falla por error en la comunicación. Posteriormente, a los 11 restantes se les realiza un control de calidad de los datos obtenidos, a través del uso de 3 indicadores, tales como: %Error comparando con el Espectrofotómetro Dobson #131 y Satélite AURA-OMI, Factor de Normalización (NT) tanto para el ozono total comparando con el Dobson y con ozono superficial, comprando con el analizador de ozono superficial TEI49C-58546318. El primer indicador muestra que solo 4 días están fuera del intervalo de fiabilidad (0% a 5%), pero particularmente el 29 de octubre muestra desvíos de 11% con el Dobson y 14% con el OMI. El NT se toma el intervalo de fiabilidad ($0.9 \leq NT \leq 1.1$) y se obtiene que con el Dobson muestra que solo el día 29 de octubre tiene un valor de $NT=1.15$ y con el TEI49C un $NT=4.08$, ambos indicadores, muy por arriba del intervalo de fiabilidad, de tal manera que, es muy probable para ese día que algún componente de la ozonsonda estuviera dañado y que fue imperceptible.

Abstract

This work presents a total ozone measurement and monitoring campaign conducted through ozone soundings for the year 2025. The schedule is designed around the Antarctic ozone hole season, as its eventual passage over the city increases ultraviolet radiation exposure. Initially, 16 launches were planned; however, only 12 were carried out due to the early closure of the ozone hole. Out of the 12 probe balloons launched, only one failed due to a communication error. After the launches, a quality control assessment of the data collected from the remaining 11 probes was conducted using three indicators: % Error compared to the Dobson Spectrophotometer #131 and AURA-OMI Satellite, the Normalization Factor (NT) for total ozone compared to the Dobson, and surface ozone measured with the TEI49C-58546318 analyzer. The first indicator showed that only four days were outside the reliability interval (0% to 5%). Notably, on October 29, there were deviations of 11% when compared to the Dobson and 14% with the OMI. The NT was assessed with a reliable interval set between 0.9 and 1.1. It was found that for the Dobson, only October 29 registered an NT of 1.15, while for the TEI49C, the NT was 4.08. Both results are significantly above the reliability interval, suggesting that it is very likely some component of the ozonesonde was damaged on that day, although this damage remained undetected.

Palabras clave: Ozonosondeos, ozono total y superficial, Indicadores.

Citar como:

Petruzzi, E., L. Condori, G. Carbajal Benitez y G. Marincovich, 2026: Ozonosondeos en la Estación VAG-Ushuaia, año 2025. Nota Técnica SMN 2026-211.

1. INTRODUCCION

La estación GAW-Ushuaia se localiza en la llamada Isla Grande en la Provincia de Tierra del Fuego en Argentina, a unos 10 km al suroeste de la ciudad de Ushuaia (54° 50' S, 68° 18' O, 18 m.a.s.l). Esta estación se estableció en la zona debido a que está en gran parte del tiempo al borde y apenas afuera del vórtice polar, de tal manera que puede capturar la mayoría de eventos que pueden impactar la estratosfera y la troposfera, en la cercanía de dicho vórtice polar. Esta juega un rol relevante en las mediciones de la capa de ozono en el Hemisferio Sur, ya que cuenta con el programa de medición y monitoreo de la Capa de Ozono (ozono total) a través del Espectrofotómetro Dobson #131 dentro de la red Vigilancia Atmosférica Global (GAW/WMO), el instrumento NILU III (MaxDOAS) dentro de la red NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change) NOAA y Globos sonda (ozonosondeos) de la red GAW/WMO. Las mediciones se realizaron en colaboración con instituciones nacionales e internacionales y datan desde el año 2008 hasta la actualidad.

Durante la primavera Antártica, permite verificar el grado de eficacia de las medidas adoptadas en el marco del Protocolo de Montreal y sus enmiendas sucesivas. En particular permite realizar un seguimiento del estado de la capa de ozono a lo largo de los años con el fin de detectar una posible recuperación según el último informe de la evaluación del estado de la capa de ozono del 2022, que menciona que la tendencia positiva continuará hasta llegar al año 2047 cuando se hayan alcanzados valores que se tenían a inicio de los 80's (WMO/UNEP, 2022).

Los ozonosondeos en la estación GAW-Ushuaia siguen los protocolos GAW/WMO y en el repositorio institucional del Servicio Meteorológico Nacional se publica un procedimiento más detallado en la preparación y lanzamiento de los globos junto con la Celda de Concentración Electrolítica con siglas en inglés "ECC" (Cupeiro, 2013). En la misma publicación se muestra la recepción de los datos que van enviando los globos sondas conforme sube y llega a la estratosfera.

Desde la implementación del programa de ozonosondeos, se ha realizado un total de 322 lanzamientos, siendo exitosos un total de 288 (Ver Tabla I y Figura 1). En los primeros cuatro años, se contó con la colaboración de instituciones internacionales como Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) y la Agencia de Meteorología (AEMET) ambos de España

La presente nota técnica tiene principalmente dos objetivos que son: a) mostrar los resultados de los perfiles de ozono realizados durante 2025 y b) evaluar la calidad de los datos obtenidos con 3 indicadores, de tal manera que puedan ser utilizados operativamente en el monitoreo de la capa de ozono y en predicciones con modelos como TEMIS, COPERNICUS, WOULDCC, entre otros. Además publicarlos en el Centro Mundial de Datos de Ozono y Radiación UV para trabajos de interés científico y posibles aplicaciones en políticas públicas.

Tabla I: Cantidad de Ozonosondas lanzadas desde el año 2008 hasta la actualidad. El símbolo (*) indica los considerados sondeos fallidos, es decir aquellos que no alcanzaron una altura en la que hayan superado la mayor concentración de ozono en la atmósfera, la cual es aproximadamente 26 km (WMO/GAW, 2019; WMO/GAW, 2021)

Año	Cantidad total Sondeos	Sondeos exitosos	Sondeos fallidos*
2008	31	27	4
2009	31	29	2
2010	31	28	3
2011	38	34	4
2012	10	10	0
2013	12	10	2
2014	19	16	3
2015	13	10	3
2016	18	16	2
2017	23	23	0
2018	13	11	2
2019	8	8	0
2020	9	8	1
2021	12	10	2
2022	14	13	1
2023	10	7	3
2024	18	17	1
2025	12	11	1
TOTAL	322	288	34

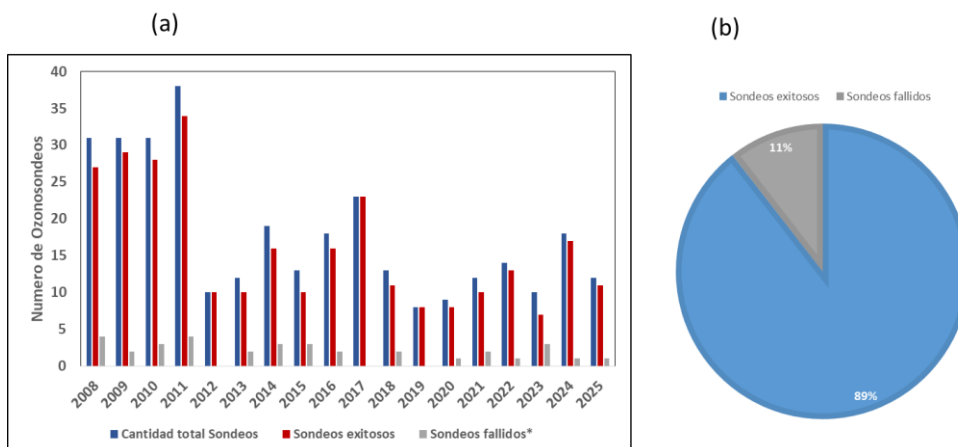


Fig. 1: (a) se muestra de manera gráfica todos los sondeos que se han realizado, hasta éste año (322 lanzamientos) y se desdobra en los que tuvieron éxito (288 lanzamientos) y los que han fallado (34 lanzamientos). (b) El porcentaje de aciertos y de fallos.

2. DATOS

Para este trabajo se usan los datos obtenidos de las ozonosondas, tanto ozono total [UD] y los datos de ozono [ppb] al inicio del lanzamiento.

Se usan datos de ozono total [UD] del espectrofotómetro Dobson #131 para cada uno de los lanzamientos. También se usan los datos producidos por el analizador de ozono superficial [ppb] TEI49C-58546318 (TECO) para cuando inicia el lanzamiento.

Finalmente, con el fin de comparar el ozono total [UD] con otros datos alternativos, se usan datos del satélite de la NASA AURA-OMI que están disponibles en el link:

<https://avdc.gsfc.nasa.gov/pub/data/satellite/Aura/OMI/V03/L2OVP/OMTO3/>

3. METODOLOGÍA

Un ozonosondeo consiste en hacer ascender un globo de látex de 1200 grs. Este sostiene una caja de vuelo en la que está inserta la sonda que permite a medida que se desplaza en la vertical, poder medir el ozono. Además adosado a la caja de vuelo se encuentra otro instrumental, una radiosonda, la cual permite medir diferentes parámetros atmosféricos (temperatura, presión atmosférica, dirección e intensidad del viento, humedad relativa y posición). La combinación entre ambos sensores permite una mejor comprensión de la información. Una vez que la ozonosonda se encuentra en ascenso va adquiriendo datos los cuales son enviados a través de la radiosonda a un equipo receptor en tierra donde se almacenan para ser utilizados posteriormente. Cabe aclarar que el proceso completo requiere de una serie de calibraciones y procesos previos los cuales permiten detectar cualquier tipo de error y/o anomalía. Para mayor información del procedimiento se puede ver Cupeiro (2013) y Carbajal y otros (2024).

3.1 Cronograma

Para el programa de ozonosondeos durante el año 2025 se estipula un total de 16 lanzamientos de los cuales 14 serían inamovibles y 2 se pueden mover a otras fechas, según el paso del agujero de ozono por la ciudad de Ushuaia o un ascenso del globo fallido (estallido tempranamente), entre otros eventos o faltantes de insumos. Este cronograma que se ha diagramado considerando las proyecciones de la temporada del Agujero de Ozono y su posible pasó por la estación, se presenta en la Tabla II.

Tabla II: Fechas agendadas para los ozonosondeos en la Estación VAG-Ushuaia para el año 2025.

Día	Mes	Total de Ozonosondeos
23	Julio	1
20	Agosto	1
3, 10, 17, 24	Septiembre	4
1, 8, 15, 22, 29	Octubre	5
2, 12, 19, 26*	Noviembre	4
10*	Diciembre	1
Total		16

(*) Implica sondeos considerados movibles de acuerdo a las necesidades de la temporada. Por ejemplo el paso del agujero de ozono o falta de algún insumo como helio.

3.2 Ejecución de los Ozonosondeos

Durante la campaña, se han realizado 12 lanzamientos de los 16 agendados. Las principales causas se debieron:

- ✓ A falta de helio (3 de septiembre)
- ✓ Cierre temprano del agujero de ozono: durante el mes de noviembre el agujero ya se encontraba cerrado lo que motivó a que no se realicen los ozonosondeos del 19 y 26 de noviembre y el de diciembre. Para más información sobre el cierre del agujero de ozono, consultar Carbajal y otros (2025).
- ✓ Pasaje de agujero de ozono en Ushuaia distinto día al programado. Describir las fechas que están abajo en la parte de cambios.
- ✓ Del total de lanzamiento realizado entre el 23 de julio y el 12 de noviembre, solo uno falló, Esto se debió a un error en los datos obtenidos de O₃.

Es importante aclarar que en tres ocasiones se realizó el cambio de fechas para hacerlos coincidir con el pasaje del agujero de ozono sobre la ciudad y la suspensión de otro, por corte de energía:

Cambios:

- Del día 1 al 4 de octubre.
- Del día 8 al 9 de octubre.
- Del día 5 al 8 de noviembre.

Durante la ejecución de los ozonosondeos se utilizó el siguiente material:

- 12 cajas de vuelo:
 - EN SCI modelo Z.
- 12 radiosondas:
 - VAISALA RS41-SG.
- 12 sensores de ozono tipo ECC (Electrochemical Cell Concentration).
- 12 interfaces OIF 411.
- 12 globos de látex TOTEX 1200 grs.
- 12 baterías 9V para calefacción de la caja de vuelo.
- ± 54 m³ de gas helio.

3.3 Control de calidad de los datos obtenidos

Básicamente se utilizan tres indicadores, que son a través del porcentaje de error (*%Error*) y cálculo del Factor de Normalización (NT) con el Espectrofotómetro Dobson y el analizador de ozono superficial TEI49C. Finalmente una simple verificación con el instrumento OMI del satélite AURA (WMO/GAW 2014 y 2021).

El primer control se calcula con el porcentaje de error de cada ozonosonda (*O3Obs*) respecto a los otros dos sistemas de medición (*O3Ref*), de tal manera que, para considerarse aceptable si el valor obtenido se encuentra por debajo del 5%. Ver la ecuación 1:

$$\%Error = \frac{O3Obs - O3Ref}{O3Ref} \times 100 \quad (1)$$

Por lo general, se usa el indicador denominado “Factor de Normalización (NT)” de ozono total, que es la relación entre una medición de columna de ozono total realizada independiente, por ejemplo, con un espectrofotómetro Dobson (ΩC) y la columna de ozono total derivada del perfil de la sonda de ozono (ΩT), según la ecuación 2:

$$NT = \frac{\Omega C}{\Omega T} \quad (2)$$

Este mismo indicador usamos al inicio del lanzamiento para relacionarlo con el ozono superficial, destacando que las unidades del TEI49C son partes por billón [ppb], mientras que las unidades de ozono se transforman de unidades de presión parcial de ozono, mili Pascales [mPa] a [ppb], según la ecuación 3.

$$O_3[ppb] = \frac{O_3[mPa] \times 0.001}{P_{std}[hPa] \times 100} \times FC \quad (3)$$

Donde:

$O_3[ppb]$, es el ozono con unidades en partes por billón.

$O_3[mPa]$, es el ozono medido por la ozonosonda en la superficie.

$P_{std}[hPa]$, es la presión parcial estándar (1013).

FC, el factor de conversión a ppb [1×10^6].

4. RESULTADOS

4.1 Perfiles de ozono

En la Figura 2 se muestran los resultados de los lanzamientos donde se pueden observar los perfiles de ozono (líneas violeta) y el perfil de temperatura (líneas azules). Cada uno de ellos corresponde al día de lanzamiento en el año 2025. La línea de ozono se caracteriza por valores máximos de ozono entre los 12 a 18 km de altura, en condiciones normales, pero con el paso del agujero de ozono, estos se ven reducidos, tal como se observa en los días 17 de septiembre, 4 y 9 de octubre, además del 8 de noviembre, donde el agujero de ozono pasa por la ciudad de Ushuaia. Para conocer más del desarrollo y evolución de este fenómeno que ocurre en la estratosfera, se puede consultar los “Boletines de la temporada del agujero de ozono Antártico”, publicados dentro del repositorio del Servicio Meteorológico Nacional:

<https://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/1159>

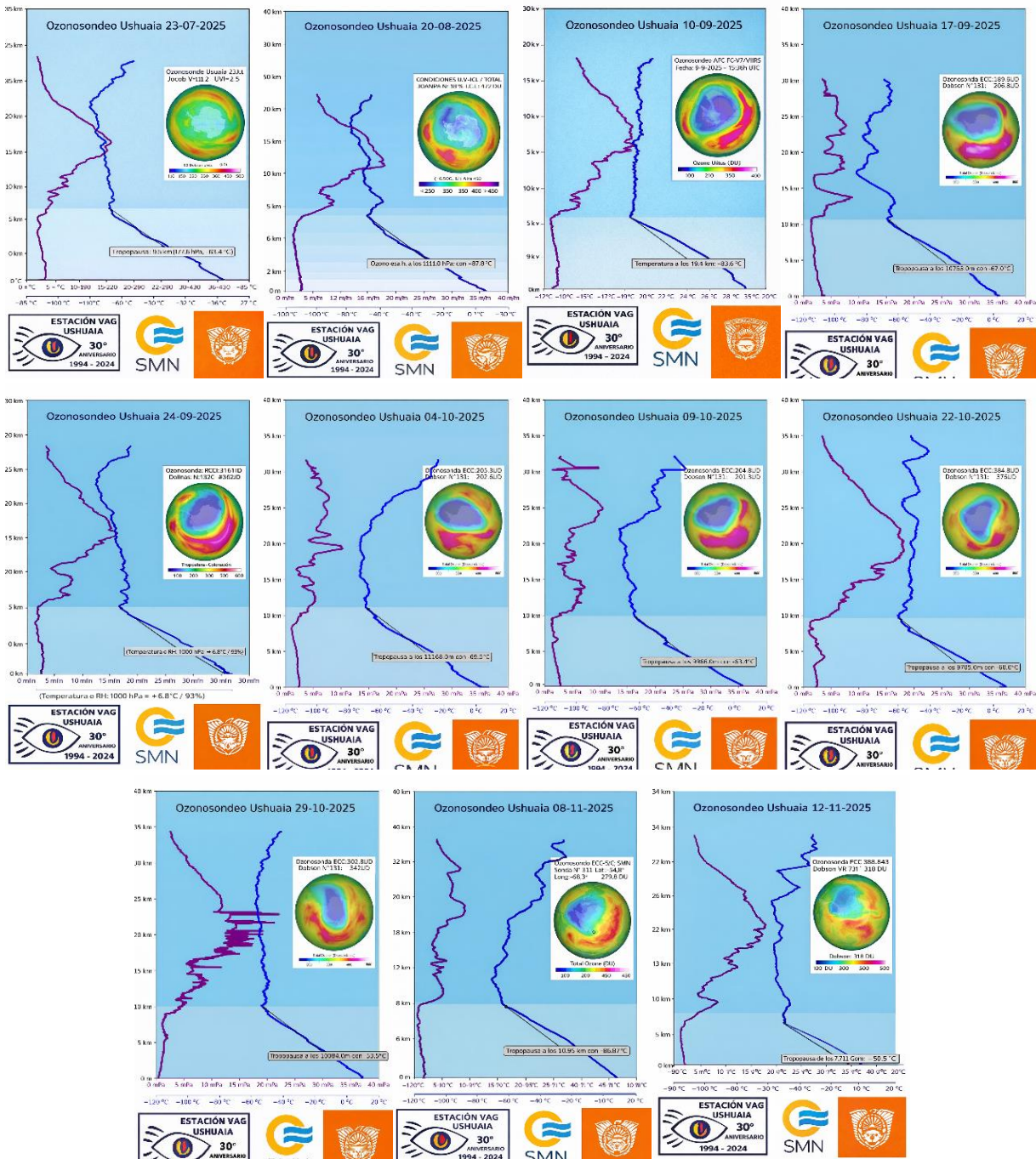


Fig. 2: Perfiles obtenidos de los ozonosondeos realizados en 2025. Las líneas color rojo, representan al ozono con unidades [mPa]. La línea azul es la temperatura con unidades [°C].

En la Tabla III se resume de manera numérica, los resultados que se obtiene de los lanzamientos de las ozonosondas y la interacción que tiene el ozono con el Índice de la Radiación Ultravioleta (IUV) Particularmente los días 02 y 09 de octubre, con el paso del agujero de ozono, se observa aumentos en el índice de la radiación ultravioleta [IUV].

Tabla III: Desarrollo de los días de ozonosondeos y comparación con otros sistemas de medición además del Índice Ultravioleta durante la temporada 2025.

Fecha	Código	Altura máxima alcanzada [Km]	Ozonosonda [UD]	Espectrofotómetro Dobson [UD]	Satélite AURA-OMI [UD]	Índice UV
						Satélite TEMIS
23-jul	Z42645	32.599	275		274	0.4
20-ago	Z38334	27.984	313	307	322	0.9
10-sep	Z42647	31.914	350	350	354	1.6
17-sep	Z42639	30.148	190	202	205	3.5
24-sep	Z42636	33.328	317	302	304	2.6
4-oct	Z42637	31.641	205	203	205	5.5
9-oct	Z42651	32.128	205	201	205	6.6
15-oct	Z42633	32.433		357	355	3.2
22-oct	Z42634	34.949	385	376	371	3.6
29-oct	Z42635	34.317	303	342	354	4.3
8-nov	Z42162	33.187	196	225	185	11.8
12-nov	Z42164	33.759	336	319	331	5,5

4.2. Evaluación de las ozonosondas

4.2.1 Indicador - Porcentaje de error (%Error)

En la Figura 3, se pueden apreciar los datos en %Error obtenidos por los ozonosondeos, comparados con otros dos métodos de medición disponibles (Espectrofotómetro Dobson y Satélite AURA-OMI).

La fecha más notoria corresponde al 29 de octubre, que con el Dobson y el OMI, los valores son 11% y 14%, respectivamente. Esta diferencia puede estar asociada con algún daño en la celda de concentración electrolítica (ECC), que no fue perceptible.

El día 17 de septiembre, las dos comparaciones superan el umbral del 5%, mientras que el 8 de agosto la comparación con el OMI es de 6%. En tanto el 8 de noviembre, es la comparación con el Dobson que alcanza el 6%. Después todos los valores están por debajo del umbral permitido.

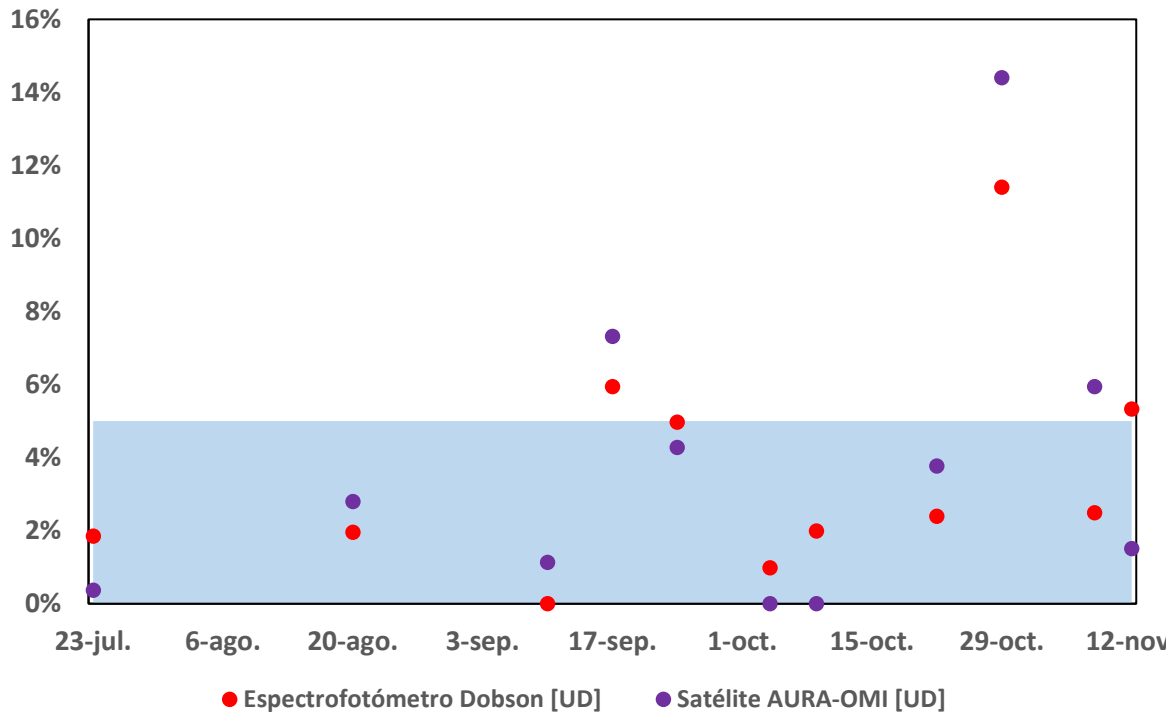


Fig. 3: Es el porcentaje de error (%Error) de cada ozonsonda, comprada con otros sistemas de medición.

4.2.2 Indicador - Factor de Normalización (NT) Ozono Total

En la Figura 4, se evalúa si las mediciones de ozono total caen en los límites propuestos en la nota técnica de WMO/GAW 2014 y 2021 (intervalo ideal $0.9 \leq NT \leq 1.1$). Se observa solo un valor que sale del intervalo de fiabilidad, corresponde al día 29 de octubre ($NT = 1.15$), aunque no muy lejano. Después, todos los demás valores NT están dentro del intervalo, por lo cual se puede afirmar que en términos generales, ha sido una buena campaña de medición.

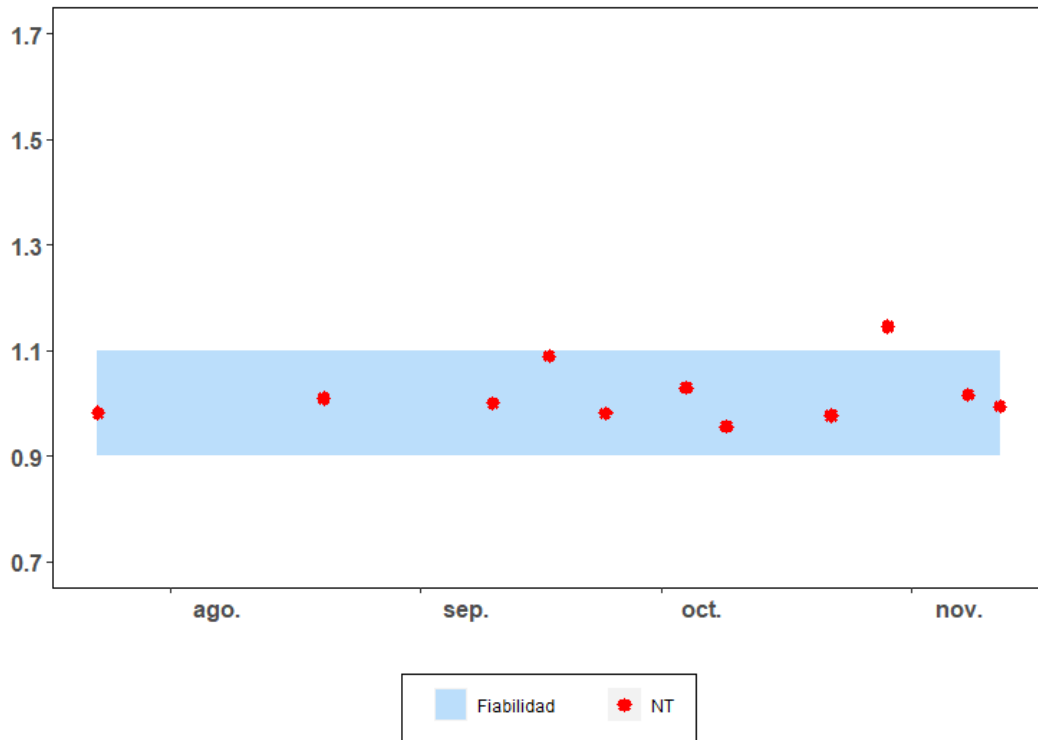


Fig. 4: Es el factor de normalización (NT) para cada lanzamiento comparado con el Espectrofotómetro Dobson. El eje de la ordenada es unidimensional.

4.2.3 Indicador - Factor de Normalización (NT) Ozono Superficial

Finalmente, se analiza el inicio del lanzamiento de las ozonosondas y se compara con la misma metodología del factor de normalización (NT) solo que se usa el analizador de ozono superficial TEI49C, en lugar el Dobson y el resultado se observa en la Figura 5. Para el día 29 de octubre se presenta nuevamente un valor anómalo (NT = 4.08) que en condiciones ideales ($0.9 \leq NT \leq 1.1$) estaría dentro de un rango confiable. Caso similar, pero no con valores de alta desviación son, el 8 de noviembre (NT = 1.34) y 12 de noviembre (NT = 1.16). Todos los demás valores se encuentran dentro del intervalo de fiabilidad.

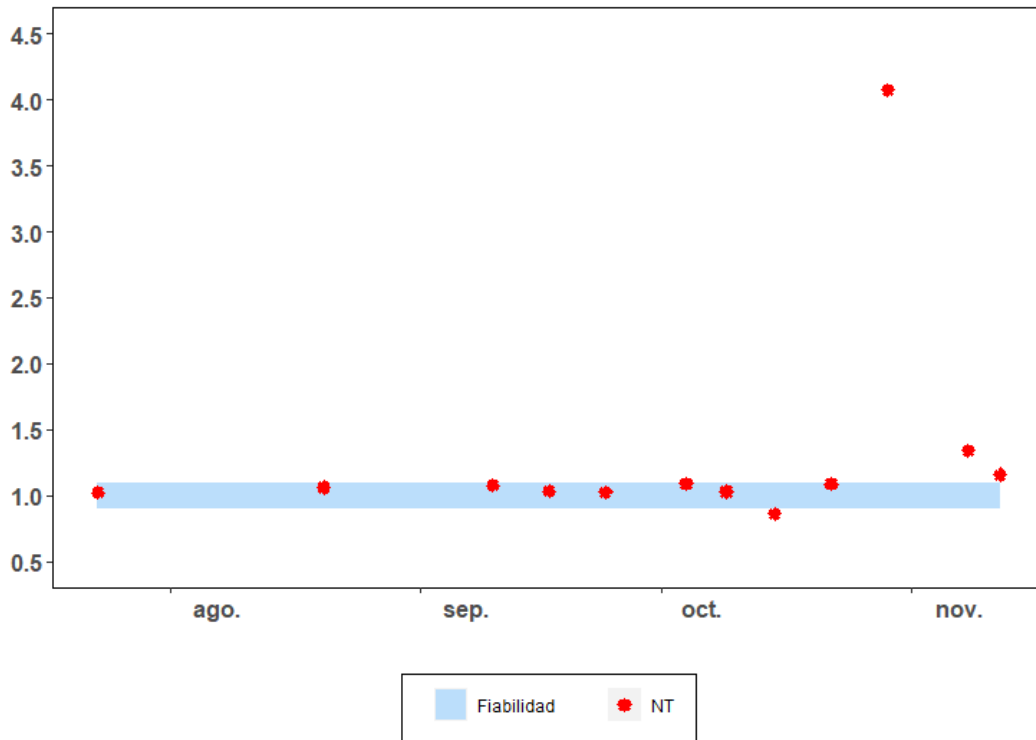


Fig. 5: Es el factor de normalización (NT) al inicio de cada lanzamiento comparado con el analizador de ozono superficial TEI49C. El eje de la ordenada es unidimensional.

5. CONCLUSIONES

Las mediciones de ozono en la estación Ushuaia juegan un rol relevante en el monitoreo de la capa de ozono del Hemisferio Sur. En el sitio se cuenta con dos tipos de metodologías, una operativa todo el año a través del espectrofotómetro Dobson y las campañas de ozonosondeos realizadas cada año entre julio y diciembre desde el 2008. La campaña del 2025 cumplió con el objetivo, que es medir y mostrar los perfiles de ozono para el monitoreo global de la temporada del agujero de ozono 2025 y particularmente cuando dicho agujero pasa por encima de la ciudad de Ushuaia. El agujero de ozono durante este año se desarrolló entre julio y noviembre, pasando en tres ocasiones por la ciudad de Ushuaia.

La evaluación de los ozonosondeos se realizó siguiendo las normas técnicas de la GAW/WMO, 2014 y GAW/WMO, 2014, a través de los indicadores %Error y Factor de Normalización (Ozono Total y Ozono Superficial). De tal manera que de los 12 lanzamientos efectuados, solo 1 (29 de octubre) no cumple con el resultado esperado, debido a que todos los indicadores de evaluación no están dentro del rango de fiabilidad.

Con todo ello, las mediciones realizadas a través de este método en la estación VAG- Ushuaia cumplen con los compromisos internacionales permitiendo aportar información valiosa para el monitoreo, pronóstico y vigilancia del ozono y la radiación ultravioleta a nivel global.

Finalizada la campaña de este año, queda en existencia para el año 2026, el siguiente material:

- ✓ 27 cajas de vuelo EN SCI modelo Z.
- ✓ 27 sensores de ozono tipo ECC (7 presentan fisuras).

- ✓ 9 radiosondas VAISALA RS41-SG.
- ✓ 29 interfaces OIF 411.
- ✓ 17 globos de látex TOTEX 1200.
- ✓ 6 baterías 9V para calefacción de la caja de vuelo.
- ✓ 20 m³ de gas helio.

6. REFERENCIAS

Carbajal Benítez G., Ochoa H., Barlasina M. E., Luccini E., Orte F., Estévez Pérez H. y Wolfram E., 2025: Boletín 3: Temporada del Agujero de Ozono en la Antártida 2025. Repositorio Institucional del Servicio Meteorológico Nacional, <http://hdl.handle.net/20.500.12160/3137>.

Carbajal Benítez G., Condorí L., Petruzzi E. y Gambarte G., 2024: Ozonosondeos en la Estación GAWUshuaia. Nota Técnica SMN 2024-185. <https://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/2883>

Cupeiro, M. A., 2013, Ozonosondeo, Revista Meteoros Segundo ciclo, Año 7, No. 2, Agosto de 2013, páginas 33-37. <http://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/389>

WMO-No.8 Report, 2018: Guide to Instruments and Methods of Observation, Vol.I: Measurement of Meteorological Variables, World Meteorological Organization, Geneva. [Available online at https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10179]

WMO/GAW, 2014: Quality Assurance and Quality Control for Ozonesonde Measurements in GAW GAW Report No. 201, World Meteorological Organization, Geneva.

WMO/GAW, 2019: Fifth International Comparison of Dobson Spectrophotometers Villa Ortúzar Observatory, Argentina, Report No.267, World Meteorological Organization, Geneva.

WMO/GAW, 2021: Ozonesonde Measurement Principles and Best Operational Practices, ASOPOS 2.0, (Assessment of Standard Operating Procedures for Ozonesondes) GAW Report No. 268, World Meteorological Organization, Geneva.

WMO, 2022: Executive Summary. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2022, GAW Report No. 278, 56 pp.; WMO: Geneva, 2022.

Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía (rdelia@smn.gov.ar), Luciano Vidal (lvidal@smn.gov.ar) o Martin Rugna (mrugna@smn.gov.ar) de la Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, para obtener la plantilla WORD que sirve de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional.