

Campaña de medición de Turbulencia y nubes super frías en la Antártida (TSCAN)

Nota Técnica SMN 2025-196

Paola Rodriguez Imazio^{1,2}, Alejandro A. Godoy¹, Gonzalo Gambarte¹, Francisco Quarin¹, Denise Auzmendis¹, Agustina Zapiola¹, Noemí Troche¹

¹ *Servicio Meteorológico Nacional*

² *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)*

Marzo 2025

Información sobre Copyright

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

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

Resumen

El agua líquida sobreenfriada (SLW) juega un papel crucial en la microfísica de las nubes, la radiación atmosférica y la seguridad aeronáutica. Las nubes superfrías (NS), que contienen gotas de SLW, influyen significativamente en el balance energético superficial en las regiones polares y contribuyen a la amplificación del Ártico y a la absorción solar sobre el Océano Austral. Sin embargo, la representación de estas nubes en los modelos climáticos sigue siendo inadecuada, debido a la escasez de datos observacionales y a un conocimiento incompleto de los procesos que rigen los ciclos de vida de las nubes. Este estudio se centra en caracterizar la dinámica de las NS y su interacción con la turbulencia en la región de la Península Antártica a través de una campaña de medición programada para el verano austral de 2024/2025. La campaña amplía las mediciones realizadas durante el Año de la Predicción Polar en el hemisferio sur (YOPP-SH), integrando observaciones in situ y de teledetección. Se planifica el lanzamiento de 30 radiosondas Vaisälä equipadas con sondas Anasphere SLWC desde la estación Marambio para capturar perfiles verticales de SLW y parámetros atmosféricos. Además, instrumentos terrestres como radiómetros de microondas y ceilómetros proporcionarán datos complementarios sobre la fase de la nube, la altura de su base y la cantidad de agua líquida en la columna. El estudio también evaluará la influencia de los ríos atmosféricos (AR) en la evolución de las SC y en los patrones de precipitación, utilizando, por vez primera, mediciones in situ de agua sobreenfriada en nubes en la región, en el contexto de un proyecto dirigido por investigadores del SMN.

Abstract

Supercooled liquid water (SLW) plays a crucial role in cloud microphysics, atmospheric radiation, and aviation safety. Supercooled clouds (SC), which contain SLW droplets, significantly influence the surface energy balance in polar regions and contribute to Arctic amplification and solar absorption over the Southern Ocean. However, the representation of these clouds in climate models remains inadequate due to the scarcity of observational data and an incomplete understanding of the processes governing cloud life cycles. This study focuses on characterizing the dynamics of SC and their interaction with turbulence in the Antarctic Peninsula region through a measurement campaign scheduled for the austral summer of 2024/2025. The campaign will expand on measurements conducted during the Year of Polar Prediction in the Southern Hemisphere (YOPP-SH), integrating in situ and remote sensing observations. Thirty Vaisälä radiosondes equipped with Anasphere SLWC probes will be launched from Marambio Station to capture vertical profiles of SLW and atmospheric parameters. Additionally, ground-based instruments such as microwave radiometers and ceilometers will provide complementary data on cloud phase, cloud base height, and liquid water content in the atmospheric column. The study will also assess the influence of atmospheric rivers (AR) on SC evolution and precipitation patterns, using, for the first time, in situ measurements of supercooled water in clouds in the region, within the framework of a project led by SMN researchers.

Palabras clave: Turbulencia, agua sobre-enfriada, Antártida

Citar como:

Rodríguez Imazio, P., Godoy A., Gambarte G., Quarín F., Auzmendi D., Zapiola A., Troche N., 2025: Campaña de medición de Turbulencia y nubes super frías en la Antártida (TSCAN). Nota Técnica SMN 2025 -196.

1. INTRODUCCION

El agua líquida que existe dentro de perfiles de temperatura bajo el punto de congelación se conoce como "agua líquida sobre-enfriada" (SLW, por sus siglas en inglés). Las nubes super frías (NS), es decir, aquellas nubes con gotas de agua sobre-enfriada en su interior ejercen impactos radiativos sustanciales en el balance energético en superficie en las regiones polares (ver, por ejemplo Dong et al., (2010); Miller et al., (2015); Shupe and Intrieri, (2004); Silber et al., (2019b)) y desempeñan un papel importante en la amplificación del Ártico y en la absorción solar sobre el Océano Austral (Cronin and Tziperman, (2015); McCoy et al., (2015); Pithan et al., (2018); Tan and Storelvmo, (2019)). Sin embargo, los modelos climáticos aun no logran una representación adecuada de las NS, debido a que se desconocen los procesos activos que afectan los ciclos de vida de dichas nubes (Cesana et al., 2015; Tsushima et al., 2006; Tan et al., 2016; Kay et al., 2016).

Las gotas de SLW también juegan un papel clave en la formación de nubes tipo "hole-punch" y "canal", que se generan cuando una aeronave atraviesa capas nubosas ricas en este tipo de gotas, produciendo estelas aerodinámicas (Gierens et al. 2009). Al mismo tiempo, cuando una aeronave encuentra SLW, se produce un proceso conocido como "engelamiento, donde las gotas se congelan rápidamente en los bordes de ataque, aumentando la resistencia aerodinámica y reduciendo la sustentación. Las gotas de SLW de más de 50 μm de diámetro, denominadas "supergotas SLW", pueden ser aún más peligrosas para el vuelo, ya que tienden a salpicar y desplazarse más allá de los bordes de ataque, donde se encuentran los sistemas antihielo. Por estas razones, la formación de hielo en vuelo puede representar un peligro significativo para todas las aeronaves (Politovich, (1996); Fernández-González et al., (2014)), y su detección es una alta prioridad para la Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos, así como para la aviación comercial y general. De esta manera, el estudio de nubes superfrías es relevante tanto a escalas temporales cortas como largas y en un amplio rango de escalas espaciales.

Por otro lado, la turbulencia impulsa la entrada de aire, la agitación y la mezcla en las nubes, provocando fuertes fluctuaciones en la temperatura, humedad, concentración de aerosoles y el crecimiento y disipación de partículas nubosas (Siebert et al., (2006)). Se acopla con los procesos de transición de fase (como nucleación, condensación y congelación), así como con la colisión y fragmentación de partículas (Shaw (2003)). Todos estos procesos retroalimentan el flujo turbulento a través de fuerzas de flotabilidad y arrastre, afectando los procesos dinámicos de las nubes hasta las escalas más grandes. Esta dinámica compleja requiere mediciones de alta resolución de temperatura, contenido de agua líquida, y propiedades físicas y químicas de los aerosoles, así como simulaciones de alta resolución que combinen métodos computacionales de las comunidades de nubes y turbulencia. Aunque se han logrado avances sustanciales en este aspecto (por ejemplo, Bodenshatz et al. (2010) y referencias allí contenidas), la resolución en los modelos numéricos de predicción meteorológica y climática aún está lejos de resolver todas las escalas involucradas, mientras que la detección de gotas de SLW en las nubes sigue siendo insuficiente, principalmente debido a la falta de datos observacionales. Esta escasez aumenta en las latitudes más australes, incluso cuando las NS son más comunes sobre el Océano Austral y la costa antártica que en otras partes del mundo.

En el caso de la Antártida, la complejidad de las mediciones se incrementa debido a condiciones meteorológicas extremas, dificultades en el mantenimiento y transporte del equipo, falta de calibraciones adecuadas, entre otros factores. Además, la tecnología para identificar el contenido de SLW en las nubes suele ser costosa y, en muchos casos, no puede utilizarse debido a regulaciones especiales vinculadas al

entorno específico y la logística. También existe una diferencia sustancial entre los estudios relacionados con nubes en el Ártico y en la Antártida, ya que es poco probable que los resultados del Ártico sean directamente aplicables al Océano Austral y la costa antártica debido a diferencias en las concentraciones de aerosoles, la meteorología y los forzamientos superficiales. Un esfuerzo reciente para reducir esta disparidad fue la campaña del Año de la Predicción Polar en el Hemisferio Sur ([YOPP-SH](#)), como parte del Proyecto de Predicción Polar, iniciativa de la [WMO-WWRP](#). Durante esta campaña, los esfuerzos internacionales lograron un hito al realizar un gran conjunto de mediciones in situ y remotas, además de estudios numéricos coordinados, con el objetivo de avanzar en el conocimiento fundamental y mejorar la predictibilidad en la Antártida y el Océano Austral (ver, por ejemplo, Bromwich et al. (2024))

Como continuación de las mediciones realizadas en el invierno austral de 2022 durante los períodos de observación intensiva (TOPs) del YOPP-SH, la presente campaña fue programada para el verano austral de 2024/2025, cuando las mediciones pueden resultar más factibles debido a condiciones meteorológicas superficiales menos extremas. Por un lado, las temperaturas estivales aumentan las probabilidades de realizar lanzamientos en días consecutivos, lo que permite realizar estudios en la escala sinóptica y la posibilidad de obtener un conjunto de datos adecuado para la asimilación. Por otro lado, la persistencia de Inversiones de la Tropopausa en la región de la Península Antártica establece un escenario inmejorable para estudiar la mezcla turbulenta y el crecimiento y evaporación de gotas en NS. Finalmente, la evidencia de una mayor actividad de los ríos atmosféricos (AR) durante el verano en la región permite estudiar cómo el paso de estos sistemas afecta a dichas nubes y los eventos de precipitación asociados.

El proyecto tiene como objetivo caracterizar la dinámica de las NS y su relación con la turbulencia, combinando datos in situ de mediciones con globos de parámetros atmosféricos y perfiles de Contenido de SLW con observaciones remotas de instrumentos terrestres en la región de la Península Antártica. Las mediciones in situ de SLW se obtendrán mediante sondas Anasphere, que emplean tecnología de vibración de alambre. Estas sondas Anasphere pueden acoplarse a radiosondas (RS) estándar, lo que permite capturar perfiles verticales de SLW y parámetros meteorológicos en un solo vuelo de globo, utilizando casi la misma cantidad de helio que en un RS convencional y el mismo sistema de adquisición. Los dispositivos de teledetección incluyen radiómetros y ceilómetros, ubicados en las estaciones desde donde se realizarán los lanzamientos. Mientras que las mediciones de RS servirán para recuperar condiciones atmosféricas y derivar posibles indicadores de turbulencia, los ceilómetros lidar se usarán para determinar la fase de la nube y la altura de su base. La cantidad de agua líquida en la columna (LWP) y el vapor de agua precipitable (PWV) se obtendrán de un radiómetro de microondas de dos canales.

De esta manera, se planificó el lanzamiento de 30 radiosondas Väisälä con sondas Anasphere SLWC durante 30 días consecutivos, entre enero y febrero de 2025. Los lanzamientos están planificados desde la estación Marambio, al norte de la Península Antártica. Las fechas específicas de los vuelos se ajustaron en función de pronósticos previos sobre las condiciones meteorológicas en escala sinóptica y de mesoescala, con el objetivo de capturar el paso de un AR (como se hizo en los TOPs invernales del YOPP-SH) u otro fenómeno extremo detectable dentro de una ventana de tiempo de tres meses a un máximo de cinco días de anticipación. Los dispositivos remotos incluyen dos ceilómetros Väisälä CT25K y un radiómetro de microondas.

Los esfuerzos de colaboración entre científicos y operadores del SMN, el Instituto Antártico Argentino (IAA) y el Instituto de Ciencias Polares (ISP, en sus siglas en inglés) durante el proyecto YOPP-SH, y un análisis más profundo de los datos del SLWC adquiridos en toda la Península Antártica condujeron al proyecto T-SCAN, impulsado por el hallazgo de resultados novedosos, el conocimiento sobre equipos de última tecnología y el nacimiento de un nuevo y dinámico grupo de colegas en todas las instituciones.

2. LA CAMPAÑA

La campaña de medición estuvo enmarcada en el proyecto de investigación del Servicio Meteorológico Nacional de Argentina (SMN), el Instituto Antártico Argentino (IAA) y el Instituto de Ciencias Polares (ISP, en sus siglas en inglés) y del Consejo Nacional de Investigación de Italia que financian el proyecto. T-SCAN tiene como objetivo principal mejorar nuestra comprensión de los procesos de las nubes en la región Antártica a través del estudio de las nubes super frías y el papel de la turbulencia en la atmósfera mediante mediciones in situ en la Antártida. T-SCAN está a cargo de la Dra. Paola Rodríguez Imazio del SMN y CONICET, y la campaña de medición se llevó a cabo durante el verano austral de 2024/2025 en la base Argentina Marambio (Figura 1), donde se sumó la última generación de sondas de contenido de agua líquida sobreenfriada (SLWC por sus siglas en inglés) a 30 vuelos equipados con radiosondas estándar Vaisälä y lanzados diariamente desde la base Marambio, ubicada al norte de la Península Antártica.

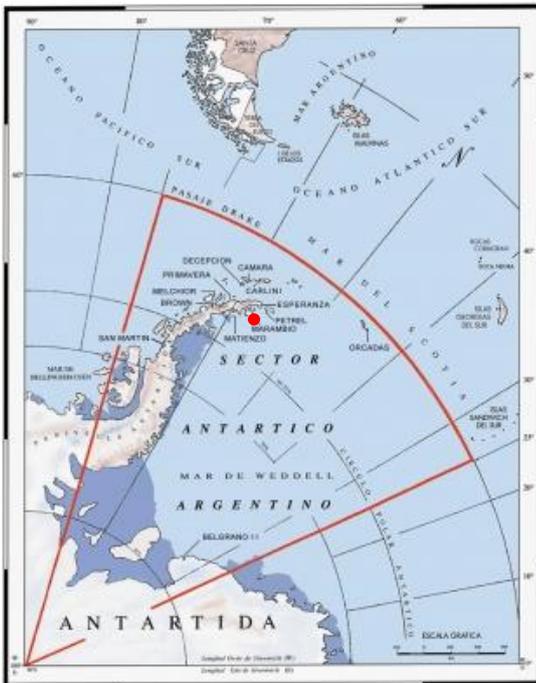


Figura 1: Ubicación de las bases argentinas en la Península Antártica. La base Marambio se encuentra al noreste de la misma. Fuente: Fundación Marambio.

3. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN E INSTRUMENTAL

El instrumental utilizado durante el experimento constó de sensores SLWC (supercooled liquid water content en inglés), que son la última generación de sensores in situ que permiten obtener perfiles verticales de agua a temperaturas inferiores a 0°C (agua sobre-enfriada). En estos sensores, la presencia de gotas se infiere a partir de la frecuencia de vibración de un alambre fijo a un imán, de forma tal que una disminución en la frecuencia del cable indica la deposición de gotas de agua sobre-enfriada sobre el mismo. El principio de funcionamiento de estas tecnologías, conocidas como wire-vibrating technologies (WV, por sus siglas en inglés), fue introducido por la industria aeronáutica en los años 80' (ver, por ejemplo, Lozowski et al. (1983)). Recientemente, mejoras significativas se realizaron sobre estos sensores (ver Serke et al. 2014), que permiten que los mismos sean montados en RS Vaisälä y/o similares, obteniendo así, de manera simultánea, perfiles verticales de variables meteorológicas estándar, como la temperatura, la velocidad del viento, la humedad

relativa, etc. En la presente campaña se utilizaron RS Väisälä modelo RS41-SGP con sensores SLWC de marca Anasphere.

La tecnología WV funciona mediante un segmento de alambre que se encuentra expuesto al ambiente, y su vibración se fuerza mediante un electroimán, el cual registra la frecuencia resultante. En los sensores SLWC utilizados, el alambre expuesto vibra siempre a una misma frecuencia de base f_0 , siempre que el alambre esté libre de hielo. A medida que el hielo se acumula debido al congelamiento de las gotas de agua super frías que impactan al alambre, f_0 se reduce. Las partículas sólidas no se adhieren al alambre y, por lo tanto, no afectan el cálculo del SLWC. Siguiendo la formulación matemática de Hill y Woffinden (1980) y con refinamientos posteriores descritos por Hill (1994), la concentración de SLWC se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$SLWC = - \frac{2b_0 f_0^2}{\epsilon D \omega f^3} \frac{df}{dt} \quad (1)$$

donde f_0 es la frecuencia del alambre sin hielo antes del lanzamiento, ϵ es la eficiencia de recolección de gotas, D es el diámetro del alambre, ω es la velocidad del aire relativa al alambre, f es la frecuencia del alambre en un momento dado durante el vuelo, df/dt es la tasa de cambio de la frecuencia en el tiempo, y b_0 es una medida del peso del alambre de acero por unidad de longitud, con un valor de 0.0224 g cm^{-1} (para la configuración probada). Para estimar la eficiencia de recolección de gotas para el diámetro específico del alambre utilizado en el sensor de SLWC, se siguió el método descrito en Lozowski et al. (1983). Cabe destacar aquí que para las mediciones recolectadas durante T-SCAN, esta estimación se encuentra en proceso.

Las mediciones: los lanzamientos de las RS con los sensores SLWC (RS+SLWC de aquí en adelante) se fijaron de rutina a las 12 UTC, sujetos a las condiciones favorables o desfavorables del tiempo, con la posibilidad de remover el sensor de SLWC, o agregar mediciones con RS+SLWC en un mismo día. Como se explicará en detalle más abajo, esto se determinó en los briefings de pronóstico. Cada lanzamiento insume: 1 globo, 1 sensor, 1 devanador, 1 radiosonda, 2 baterías 3V y 1 cartón. En condiciones óptimas, la campaña contaba con la posibilidad de realizar 22 lanzamientos completos.

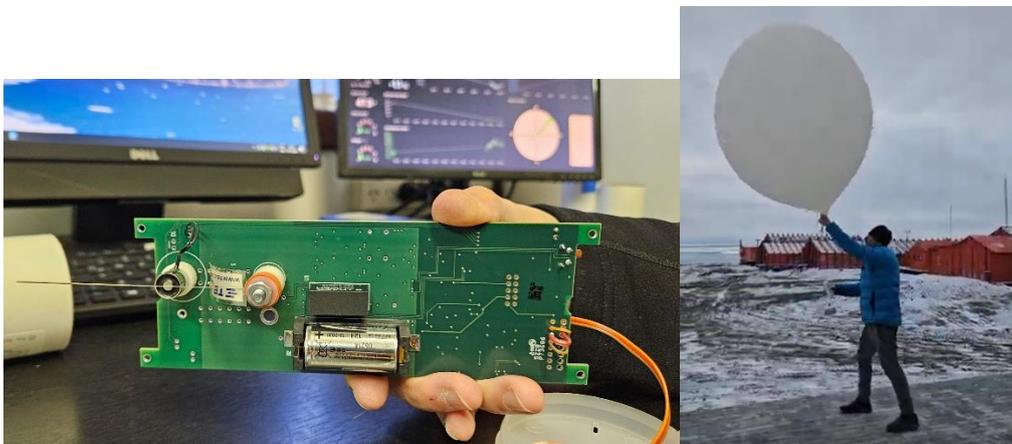


Figura 2: Sensor de SLWC donde se observa el detalle del alambre saliente y el imán que fuerza la vibración de base f_0 . Lanzamiento de la radiosonda con el sensor.

Equipo de apoyo en tierra: Los datos de las condiciones de tiempo presente se complementaban con datos de la observación de la estación meteorológica del SMN, realizada por los observadores en forma horaria, disponibles en tiempo real. Además, se contaba con un radiómetro y cámara todo cielo para determinar el entorno nuboso y datos de los anemómetros en pista y datos de estaciones automáticas en los distintos puntos estratégicos de la base (a saber, meseta, pista y shelter, ubicados en distintos puntos complementarios).

Equipo de pronóstico: Durante el experimento se realizaron briefings de pronóstico diariamente y un briefing semanal en el que participaban el equipo de pronóstico de T-SCAN e integrantes del Centro Meteorológico Antártico Marambio (CMAM). En el briefing semanal se realizó la planificación semanal de los lanzamientos y un resumen de lo ocurrido durante la semana previa, tanto de los fenómenos meteorológicos destacados como resultados de las mediciones. En el briefing diario se discutían las condiciones del tiempo actual y el pronóstico para las siguientes 48 hs lo que permitía ajustar los horarios de los lanzamientos más favorables para las mediciones de SLWC y los cambios necesarios.



Figura 3: Equipo de pronóstico realizando el briefing en la oficina de pronóstico de la base Marambio.

4. RESULTADOS PRELIMINARES

A continuación, se muestran resultados preliminares de perfiles verticales de las variables meteorológicas de interés y agua sobre-enfriada obtenidos durante la campaña.

4.1 Perfiles de las variables meteorológicas medidas con las radiosondas

La Fig. 4 muestra perfiles verticales de la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del viento obtenidos a partir de los RS realizados durante la segunda semana de la campaña. Como referencia, se muestran también los perfiles verticales promedio desde 1987 hasta 2020, calculados a partir de los datos históricos en la misma locación. Estos perfiles permitieron evaluar las condiciones atmosféricas en la vertical durante los eventos de detección de gotas super frías, como también así las características de la atmósfera en la región asociadas a eventos meteorológicos como Ríos Atmosféricos.

Los perfiles verticales de temperatura muestran una inversión persistente de la tropopausa, con amplitudes que van desde los 4 °C hasta los 10 °C, y una variabilidad de alturas de 4 km, aproximadamente. Esta inversión de la tropopausa persistente en verano es característica de la estación, en buen acuerdo con el perfil promedio (ver línea de trazos negra en el panel de la izquierda de la Fig. 4). Sin embargo, la variabilidad de altura es más inusual, y, de acuerdo a los registros, la tropopausa en las mediciones alcanzó alturas

inusualmente altas en comparación con los registros previos desde el año 1987 (esto también puede verse al observar el perfil promedio de temperatura). La altura inusual de la tropopausa térmica, en varios días consecutivos, estuvo asociado a un patrón de bloqueo atmosférico y al posicionamiento de un sistema de alta presión en latitudes polares sobre la península Antártica, que a su vez favoreció temperaturas más altas que la normal climatológica por los cielos despejados, el efecto de subsidencia y advección térmica cálida en el norte de la Península Antártica.

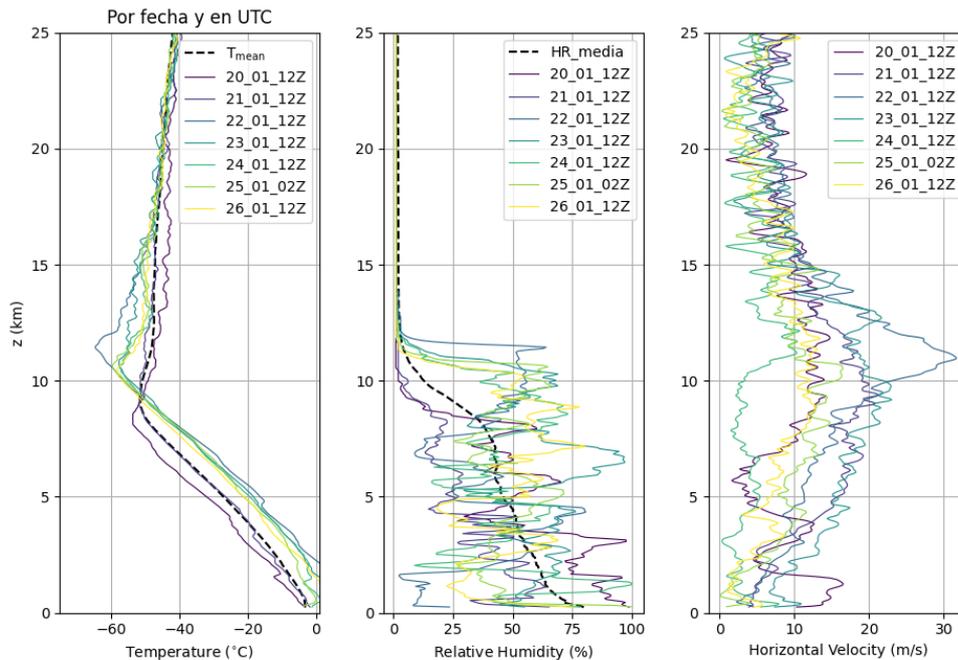


Figura 4: Perfiles de temperatura (°C), humedad relativa (%) y viento horizontal (m/s) para la segunda semana de mediciones de T-SCAN. La línea negra punteada indica la temperatura y la humedad relativa media desde 1987 hasta 2020.

4.2 Datos del sensor de SLWC

Los datos del sensor de SLWC fueron procesados para evaluar la calidad de los datos y obtener los perfiles verticales de SLWC en nubes. Cabe destacar aquí que los umbrales de eficiencia de recolección de gotas dependen de la velocidad del viento y de factores como el momento de inercia de la configuración cable+gota, al momento de la recolección (ver, por ejemplo, Lozowsky et al. 1983). Si bien la eficiencia de recolección aumenta con la velocidad del viento, existe un umbral aproximado, alrededor de 20 nudos, para el cual la eficiencia cae drásticamente, o el sensor no logra resistir el estrés mecánico. Dado que es la primera vez que estos sensores se utilizan en condiciones tan extremas como las que se dan en la PA, el proceso de calibración de datos incluyó un estudio de dicha eficiencia, infiriéndose a su vez un rango para el tamaño esperado de las gotas. Por último, se aplicó una técnica de suavizado a 10 puntos a los perfiles de frecuencia, siguiendo lo sugerido en Serke et al. (2014) y referencias contenidas.

La Fig. 5 muestra los perfiles verticales de la temperatura, la temperatura, humedad relativa y frecuencia de vibración del cable obtenidos el 15.01.2025, correspondiente al tercer día de la campaña. La caída drástica de la frecuencia de vibración alrededor de los 5 km de altura indica la detección de gotas SLW, en buen acuerdo con el aumento de la humedad relativa, indicando la presencia de nubes en esa altura. De forma consistente, la temperatura y la temperatura de punto de rocío se igualan alrededor de los 5 km (ver panel izquierdo en la fig. 5), como es de esperarse en presencia de estas gotas.

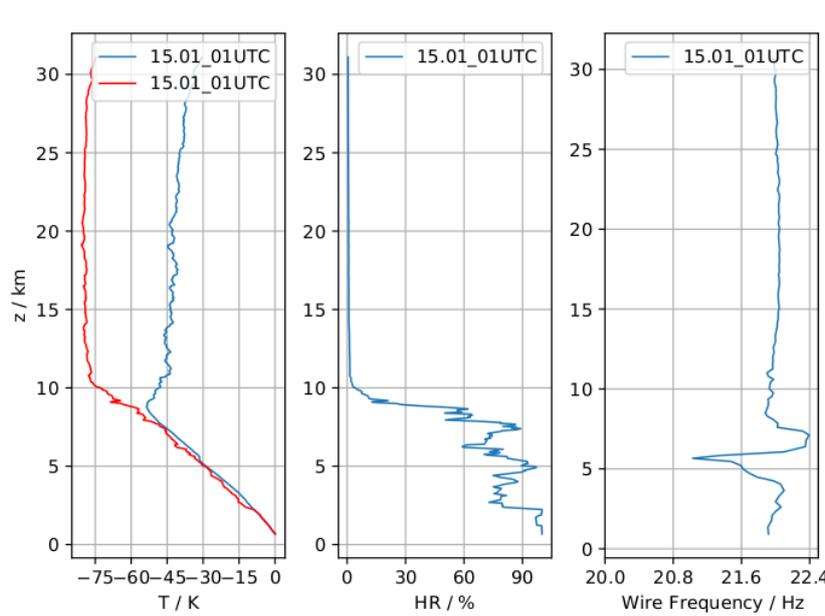


Figura 5: Perfil de Temperatura (azul) y temperatura de punto de rocío (rojo) en °C, Humedad Relativa (HR, porcentaje) y la frecuencia de vibración del cable del sensor SLWC, en Hz.

5. CONCLUSIONES

En esta nota técnica se introdujo la temática asociada a la campaña de medición T-SCAN, junto con algunos resultados preliminares de las mediciones adquiridas. La campaña, desarrollada entre el 12 de Enero y el 12 de Febrero de 2025, constó del lanzamiento de radiosondas Vaisälä junto con sensores de agua sobreenfriada de última generación marca Anasphere (SLWC), y es la primera dirigida enteramente por investigadores del Servicio Meteorológico Nacional (SMN-MinDef), en colaboración con el Instituto Antártico Argentino (IAA-DNA) y el instituto de Ciencia Polar de Italia (ISP-CNR).

Durante la campaña se lograron utilizar la totalidad de los equipos para medir in situ (RS+SLWC), con todos los equipos de sensoramiento remoto en funcionamiento (a saber, dos radiómetros, un ceilómetro y la cámara a todo cielo). Si bien los datos de los sensores SLWC están en proceso de análisis, estudios preliminares muestran que se registraron, por primera vez en la región, gotas sobreenfriadas en nubes, posiblemente relacionadas con el paso de dos ríos atmosféricos que ocurrieron a principios y mediados del desarrollo de la campaña. Esto se evidenció por perfiles verticales obtenidos de los sensores SLWC que muestran disminuciones abruptas en la frecuencia de vibración de cable que indican la presencia de gotas sobreenfriadas, en buen acuerdo con mediciones complementarias de variables meteorológicas y resultados de modelos de pronósticos que indican la presencia de nubes superfrías. A su vez, el entorno sinóptico,

predominado por el paso de varias bajas polares por la PA y las permanentes inversiones de la tropopausa registrada en los perfiles verticales de temperatura y viento horizontal indican un escenario turbulento de fondo en alrededor del 90% de las mediciones. La estimación en gramos de la cantidad de agua sobreenfriada en las nubes, y su relación con el entorno sinóptico y de mesoscala están en proceso de estudio, y serán publicados en una nota técnica futura.

Finalmente, cabe destacar que la realización de la campaña de medición asociada al proyecto T-SCAN representó un hito para el avance de la investigación Antártica en el SMN, logrando la colaboración de distintos sectores, y nucleando tareas y saberes de distintas áreas. De esta forma, pronosticadores, observadores, científicos y operadores técnicos colaboraron durante toda la realización de las mediciones, generando un intercambio invaluable y poco usual. Se espera que esto tenga un fuerte impacto en las actividades de transferencia de conocimiento hacia las operaciones, permitiendo una mejora en los pronósticos y los servicios Antárticos.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores quisieran agradecer la participación y particular dedicación del equipo de pronóstico y del equipo técnico asociados a la campaña T-SCAN, sin los cuales las mediciones no hubieran sido posibles. También agradecemos el trabajo de Proyectos Antárticos, y al COCOANTAR por la logística.

7. REFERENCIAS

- Bromwich, D. H., and Coauthors. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **105**, E1662–E1684, (2024).
- Cesana, G., Kay, J. E., Chepfer, H., English, J. M., & de Boer, G. *Geophysical Research Letters*, **42**(13), 5633–5641 (2015).
- Cronin, T. W., & Tziperman, E. *Nature Geoscience*, **8**, 197–202 (2015).
- Dong, X., Bennartz, R., & Xi, B. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, (2010).
- E. Bodenschatz, S. P. Malinowski, R. A. Shaw, F. Stratmann, *Science*, **327**, 970 (2010).
- Gierens, K., B. Kärcher, H. Mannstein, and B. Mayer, *J. Atmos. Sci.*, **66**, 217–226, (2009).
- G.E. Hill, *J. Atmos. Ocean. Technol.*, **11**, 1242-1252 (1994).
- G.E. Hill, D. Woffinden *J. Appl. Meteorol.*, **19**, 1285-1292 (1980).
- Kay, J. E., L'Ecuyer, T., Gettelman, A., Stephens, G., & O'Dell, C. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **121**(16), 10,790–10,801 (2016).
- Lozowski, E. P., Stallabrass, J. R., & Hearty, P. F. *Journal of applied meteorology and climatology*, **22** (12), 2053-2062 (1983).
- McCoy, D. T., Hartmann, D. L., & Grosvenor, D. P. *Journal of Climate*, **28**(19), 7788–7804 (2015).

- Miller, N. B., Shupe, M. D., & Turner, D. D., *Atmospheric Chemistry and Physics*, **20**, 9895–9914 (2015).
- Pithan, F., Medeiros, B., & Mauritsen, T. *Climate Dynamics*, **51**, 2817–2832 (2018).
- Politovich M.K., *J. Aircr.*, **33**, 291-297 (1996).
- R. A. Shaw, *Annu. Rev. Fluid Mech.* **35**, 183 (2003).
- Serke D. et al, *Atmospheric Research*, 149, 77-87 (2014).
- Siebert H. et al., *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **87**, 1727 (2006).
- S. Fernández-González, J. Sánchez, E. Gascón, L. López, E. García-Ortega, A. Merino, *Sci. World J.*, 1-17, (2014).
- Silber, I., Verlinde, J., & Eloranta, E. W., *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, (2019).
- Shupe, M. D., & Intrieri, J. M. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, (2004).
- Tan, I., & Storelvmo, T., *Geophysical Research Letters*, **46**(5), 2894–2902 (2019).
- Tan, I., Storelvmo, T., & Zelinka, M. D., *Science*, **352**(6282), 224–227 (2016).
- Tsushima, Y., Webb, M. J., Williams, K. D., & Gregory, J. M. *Geophysical Research Letters*, **33**(18), L18709 (2006).
- R. A. Shaw, *Annu. Rev. Fluid Mech.* **35**, 183 (2003).

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. Cualquier consulta o duda al respecto, comunicarse con Melisa Acevedo (macevedo@smn.gov.ar).