



**Servicio
Meteorológico
Nacional**

El SMN en la campaña SouthTRAC

Parte I: El avión HALO y sus instrumentos de medición

Nota Técnica SMN 2020-75

Nicolás Rivaben¹, Alejandro A. Godoy² y Paola Rodríguez Imazio^{3,4}

¹ *Dirección de Meteorología Aeronáutica*

² *Dirección de Servicios Sectoriales, Dirección Nacional de Pronósticos y Servicios a la Sociedad*

³ *Dirección de Productos de Modelación Ambiental y de Sensores Remotos, Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios.*

⁴ *CONICET*

Octubre 2020



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.

Resumen

SouthTRAC es una campaña de medición alemana basada en un proyecto conjunto propuesto por el Centro Helmholtz de Investigación, el Centro Aeroespacial Alemán (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR), el Centro Jülich de Investigación (Forschungszentrum Jülich, FZJ), el Instituto Tecnológico de Karlsruhe (KIT) y las Universidades de Mainz, Frankfurt, Wuppertal y Heidelberg. Desarrollada durante los meses de Septiembre y Noviembre del año 2019, la campaña realizó vuelos en las regiones subpolares australes con el objetivo de estudiar la dinámica, transporte y química de la UTLS (Upper Troposphere - Lower Stratosphere o Alta Troposfera - Baja Estratósfera por sus siglas en inglés), utilizando la aeronave denominada HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft). El Dr. Godoy, la Dra. Rodríguez Imazio y el licenciado Rivabén, científicos asociados de SouthTRAC, constituyen la participación del SMN en esta campaña internacional, la cual consta de diversas mediciones, remotas e in situ, de alta resolución de la atmósfera en altas latitudes al sur. En esta primera nota se describen los aspectos técnicos de la campaña, como también así los puntos clave de la participación de los autores. Los aspectos científicos y el trabajo en marcha utilizando los datos obtenidos se detallan en una segunda nota técnica.

Abstract

SouthTRAC is a German measurement campaign based on a joint project proposed by the Helmholtz Research Center, the German Aerospace Center (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR), the Jülich Research Center (Forschungszentrum Jülich, FZJ), the Karlsruhe Technological Institute (KIT) and the Universities of Mainz, Frankfurt, Wuppertal and Heidelberg. Developed during the months of September and November of the year 2019, the campaign carried out flights in the southern subpolar regions with the aim of studying the dynamics, transport and chemistry of the UTLS (Upper Troposphere-Lower Stratosphere), using the aircraft called HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft). SouthTRAC associate scientists; Dr. Godoy, Dr. Rodríguez Imazio and Mr. Rivabén, represent the participation of the SMN in this international campaign, which consists of various high resolution measurements, remote and in situ, of the atmosphere at high southern latitudes. This first note describes the technical aspects of the campaign, and introduces the main features of the participation by the authors. The scientific aspects and the work in progress using the data obtained are detailed in a second technical note.

Palabras clave: SouthTRAC, UTLS-SH, ondas de gravedad

Citar como:

Rivaben, N., A. A. Godoy y P. Rodríguez Imazio, 2020: El SMN en la campaña SouthTRAC. Parte I: El avión HALO y sus instrumentos de medición. Nota Técnica SMN 2020-75.

1. INTRODUCCIÓN

SouthTRAC es una campaña de medición alemana basada en un proyecto conjunto propuesto por el Centro Helmholtz de Investigación, el Centro Aeroespacial Alemán (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*, DLR), el Centro Jülich de Investigación (*Forschungszentrum Jülich*, FZJ), el Instituto Tecnológico de *Karlsruhe* (KIT) y las Universidades de *Mainz*, *Frankfurt*, *Wuppertal* y *Heidelberg*. Las universidades y entidades que participan en el proyecto cuentan con el apoyo del marco de la Fundación Alemana para la Investigación DFG “HALO-SPP” N°1294. Dicha campaña consta de una serie de mediciones remotas e *in situ* de la atmósfera para latitudes altas al sur, utilizando la aeronave *HALO* (ver detalles más abajo) especialmente preparada para tal fin. Las mediciones de *HALO* van acompañadas de mediciones en tierra (lidar, radar, radiosondas y ozonosondas) y mediciones a bordo de un planeador que opera desde El Calafate. Los modelos de pronóstico meteorológico y químico proporcionan información sobre el clima local, la circulación atmosférica y las distribuciones de gases traza necesarias para la planificación precisa de cada vuelo. Estas actividades incluyen contribuciones de grupos locales en América del Sur (principalmente el SMN), *EE. UU.* y otras instituciones europeas fuera de la comunidad *HALO*.

El SMN fue considerado como institución asociada al experimento (<https://www.pa.op.dlr.de/southtrac/general-information/partners/>) luego de la participación de los autores en el Workshop: *SouthTRAC Meeting Buenos Aires*, realizado en noviembre de 2018 y organizado por la oficina de Relaciones Exteriores del *CONICET*. En esta instancia se discutieron las líneas principales de investigación, las colaboraciones científicas *a posteriori* y el apoyo logístico local requerido.

Las líneas de investigación que enmarca el experimento, descriptas en más detalle en la Nota Técnica SMN 2020-76 (Godoy y otros, 2020), son:

1. DYN-1: Procesos de acoplamiento en la tropopausa del Hemisferio Sur (en lo que sigue, HS)
2. DYN-2: Ondas de gravedad en el HS.
3. CHEM-1: Impacto del vórtice Antártico en la UTLS (siglas en *inglés* para alta troposfera-baja estratosfera) del HS.
4. CHEM-2: Quema de biomasa y emisiones biogénicas en la troposfera superior del Atlántico Sur.

Como se describe más abajo, existen en la campaña dos fases de medición principales, orientadas a maximizar la cantidad y calidad de mediciones relacionadas con las líneas de investigación arriba definidas. La primera fase de la campaña, realizada en Septiembre de 2019, se centró en DYN-1 y DYN-2, y la segunda, realizada durante Noviembre de 2019 se centró en CHEM-1 y CHEM-2. Como se detalla más abajo, cada una de ellas contó con la presencia del SMN tanto en apoyo logístico como en la toma de decisiones relacionadas con el desarrollo del experimento.

El desarrollo de las fases de la campaña se describe a continuación:

- **Fase I** (06-27 Septiembre 2019): La campaña se centra en la dinámica de las ondas de gravedad generadas por la intercepción del flujo básico con Cordillera de los Andes en la Patagonia Argentina

y su relación con el vórtice polar. Se cuentan con observaciones de ozonosondeo, radiosondeo, una aeronave de investigación especial y un planeador modificado para las mediciones de ondas de montaña. El centro de operaciones principal se estableció en la Base Aeronaval de Río Grande, Tierra del Fuego y un centro secundario en el aeropuerto de El Calafate. En esta última locación, se realizaron mediciones alternativas (Godoy y otros, 2020), que contaron con la participación física del Dr. Godoy.

- **Fase II** (06-25 Noviembre 2019): Esta fase, más corta que la anterior, se centra en el estudio de gases trazas para determinar la composición y transporte del aire estratosférico en el borde del vórtice polar. Se cuentan con observaciones de radiosondeo, ozonosondas y datos de la aeronave de investigación. El centro de operaciones se estableció en la base aeronaval de Río Grande, Tierra del Fuego. Esta etapa contó con la participación física del Lic. Ribavén, quien realizó tareas operativas relacionadas al pronóstico de vuelos, y toma de decisiones respecto de las rutas de vuelo.

Para ambas fases, la operación de una aeronave especialmente modificada denominada *HALO* o *High Altitude and Long Range Research Aircraft* por sus siglas en inglés (Figura 1) fue la encargada de transportar los 13 instrumentos utilizados para medir el estado, composición, dinámica y transporte de gases en la atmósfera durante la campaña SouthTRAC. Dichos instrumentos se describen en la sección siguiente. Los vuelos realizados por dicha aeronave durante las fases I y II comprendieron latitudes entre 45° S y 65° S, y longitudes entre 85°E y 40°O. En total, se realizaron 10 vuelos durante la Fase I y 5 durante la Fase II.



Fig. 1: Aeronave “HALO” en el hangar de la base aeronaval de Río Grande en la previa al vuelo ST24 de la campaña SouthTRAC.

Por último, es importante destacar que la campaña SouthTRAC es única en su naturaleza. Por un lado, está la relativa escasez de mediciones directas e *in situ* para latitudes altas al sur. Por el otro, si bien existen otros proyectos que proporcionan datos de la *UTLS* en las zonas polares, ninguno de ellos se centra específicamente y exhaustivamente en los procesos dinámicos y químicos relevantes para la estructura de la *UTLS* del *HS* (*UTLS-HS* en adelante). La mayoría de las campañas realizadas hasta el momento se dedicaron a estudios relacionados con el vórtice antártico principalmente a altitudes mayores. Algunas, como el proyecto DEEPWAVE, proporcionaron nuevos datos específicos sobre los aspectos dinámicos de las ondas de gravedad. Los proyectos HIPPO y Atom, por otro lado, se centraron principalmente en la composición troposférica. Por último, las mediciones de aviones comerciales (IAGOS) rara vez se extienden a latitudes mayores a 35°S y cubren solo la parte inferior de la estratosfera más baja extratropical.

SouthTRAC, a diferencia de estos proyectos, aborda aspectos abiertos clave, relacionados con la *UTLS-HS*, cubriendo longitudes y latitudes no antes cubiertas y utilizando instrumentos de medición de última tecnología. El SMN, como institución asociada, posee acceso inmediato e ilimitado a todos los datos obtenidos durante esta campaña (cabe destacar que los mismos se harán públicos dentro de 5 años). Como se explica en Godoy y otros (2020), existen diversos proyectos en marcha relacionados al uso de los datos obtenidos. Entre ellos se encuentra la implementación del modelo de pronóstico numérico PolarWRF (Hines and Bromwich, 2008) con el objetivo de ser utilizado como modelo de pronóstico operativo en la región antártica. Dicha práctica, se ve beneficiada con una gran cantidad y calidad de datos para validación de dicho modelo de pronóstico. Otro de los proyectos en marcha se centra en los efectos de la falta de ozono estratosférico en la variabilidad del Modo Anular Antártico (conocido comúnmente como *SAM*, por sus siglas en *inglés*), con sus potenciales efectos sobre el tiempo y el clima local y global. En este caso, simulaciones numéricas directas de flujos turbulentos rotantes y estratificados se contrastan de manera directa con datos adquiridos por diversos instrumentos a bordo de *HALO*, principalmente aquellos que miden gases traza, como el *AMICA* entre otros, como también así de los distintos sondeos realizados de forma simultánea a los vuelos (ver detalles más abajo y Nota Técnica SMN 2020-76; Godoy y otros, 2020). Asimismo, la validación de diferentes pronósticos operativos del SMN y del polarWRF con las observaciones realizadas durante el experimento nos permitirá avanzar en el estudio de distintas situaciones sinópticas asociadas a eventos de turbulencia en aire claro y ondas de gravedad. Otras potenciales aplicaciones de los datos obtenidos se relacionan con un mejor entendimiento de los desafíos que se presentan actualmente en la aviación. Durante los últimos años se ha visto un incremento en la cantidad de accidentes aéreos en América Latina. Si bien esto podría estar relacionado con el aumento en la frecuencia de vuelos, se ha sugerido que también podría estar ligado, al menos en parte, a sistemas convectivos de mayor desarrollo vertical. Es importante destacar aquí que estudios detallados de la dinámica de la *UTLS* para altas latitudes al sur (como el transporte y difusión de gases traza y su interacción con diversos patrones sinópticos) resultan de gran relevancia.

Con todo esto, se espera una mejora sustancial tanto en el pronóstico operativo como en las líneas de investigación básica llevadas a cabo por los investigadores del SMN, como parte del plan estratégico de dicha institución.

2. LA AERONAVE ‘HALO’

La *DLR* es el propietario y operador de la aeronave de investigación *HALO* (*High Altitude and Long Range Research Aircraft* por su siglas en inglés). Esta aeronave se basa en un jet ejecutivo fabricado por *Gulfstream Aerospace* modelo ‘*G550*’ y se ha modificado para proveer infraestructura técnica necesaria para cargas útiles científicas de proyectos de investigación. Las especificaciones de dicha nave se muestran en la Tabla I. El fuselaje se ha modificado para permitir la instalación de distintas sondas como se muestra en la Figura 2. El instrumental de medición a bordo se describe en detalle en la sección siguiente.



Fig. 2: Vista de frente de la aeronave HALO. Pueden verse las sondas y tubos de pitot utilizados en la parte superior del fuselaje y la 'panza' con instrumentos en la parte inferior. (Fuente: página web campaña SouthTRAC)

Tabla 1: Características técnicas de la aeronave HALO, propiedad de DLR para el proyecto SouthTRAC.

| | |
|---|---|
| Fabricante | Gulfstream Aerospace Corporation |
| Modelo | G550 |
| Matrícula | D-ADLR |
| Dimensiones | 31.10 m x 7.9 m, envergadura 28.4 m |
| Velocidad | Mínima: 331 km/h Crucero: 756 km/h Máxima: 929 km/h |
| Techo de operación máximo | FL 510 (51000 pies) |
| Peso máximo | 22120 kg |
| Peso máximo de despegue | 41277 kg |
| Carga útil científica máxima | 3000 kg |
| Instrumentos básicos y de comunicación de la aeronave | 2 radios VHF (8,33kHz), 1 UHF y 1 HF |
| | 1 enlace satelital Iridium de dos canales |
| | radar meteorológico de abordó |
| | 2 radioaltímetros |
| | 2 EGPWS |
| | 2 GPS |
| | 2 INS |
| | 2 NDB |
| | 2 VOR/DME |
| | Transponder en modo S |
| | Homologación RVSM |
| | Homologación MNPS |
| | Homologación RNP 1, 4, 5, 10 |
| | Homologación de aproximación RNP |
| | Homologación LNAV/VNAV y LPV |
| CPDLC; ADS-C | |
| Instrumentos exteriores para ADS-B | |

3. Instrumentos a bordo de la aeronave HALO durante la campaña SouthTRAC

A continuación, se detallan las especificaciones de los instrumentos de medición a bordo de HALO. Una vista rápida de las características de dichos instrumentos puede hallarse en la Tabla II.

1. **ALIMA:** *Airborne Lidar for Studying the Middle Atmosphere* –ALIMA- o LIDAR abordo para el estudio de la atmósfera media por sus siglas en inglés es un instrumento del tipo sensor remoto que mide la temperatura y el viento vertical desde aproximadamente el nivel de la aeronave hasta una altitud de 105 km. Consta de dos transmisores de pulsaciones láser que operan con longitudes de onda de 372 nm y 532 nm, además de un telescopio receptor, que se utiliza para recolectar la luz láser por retrodispersión, y una unidad de detección óptica que analiza la luz recolectada. Ambos láseres se transmiten verticalmente hacia arriba a través de una sola ventanilla en el techo de la aeronave (Figura 3). Se utiliza una luz láser emitida a una longitud de onda de 372 nm para sondear la línea de absorción ampliado por Doppler del espectro correspondiente a iones de hierro libres en la atmósfera desde una altitud de entre 70 y 105 km. A partir de esto, se puede inferir la temperatura atmosférica y el viento en la dirección de la visual utilizando la dispersión Doppler. En la parte inferior de la atmósfera, donde no existen iones libres de hierro, se utiliza el haz láser de 532nm como fuente de luz para las mediciones de la densidad del aire y la desviación Doppler. La combinación de ambas técnicas de medición da como resultado unos perfiles con una resolución de aproximadamente 1 km en vertical y 1 km en horizontal.
2. **GLORIA:** *Gimballed Limb Observer for Radiance Imaging of the Atmosphere* -GLORIA u Observador cardánico de radiación de la atmósfera en el horizonte por sus siglas en inglés es un sensor remoto que analiza la radiación infrarroja que emite la atmósfera de la tierra en la dirección del horizonte. Este dispositivo es un espectrofotómetro que observa los espectros infrarrojos en la región de longitud de onda de entre 7µm y 13µm. Se obtienen secciones verticales/horizontales de temperatura y de concentraciones de gases trazas como ozono, vapor de agua, CIONO₂, CFC-11, CFC-12, C₂H₆ y otros en los espectros. Las secciones pueden obtenerse para altitudes por encima de las nubes y sobre el nivel de vuelo (aproximadamente 15 km) con una resolución vertical de alrededor de 800m. El instrumento debe ser enfriado a una temperatura inferior a -90°C para garantizar su funcionamiento y precisión en la sección baja de HALO (Figura 4).
3. **miniDOAS:** *Differential Optical Absorption Spectroscopy* –miniDOAS- o Espectroscopio óptico de absorción diferencial por su siglas en inglés es un espectrómetro óptico de 6 canales que analiza la luz del cielo recibida en la dirección del nadir y del horizonte. En cada dirección la luz del cielo se analiza en tres bandas de longitud de onda (310–440 nm, resolución = 0.47 nm; 420–640nm resolución = 1.1 nm; 1100–1680 nm, resolución = 10 nm) para detectar gases trazas y otros parámetros meteorológicos. Los gases seleccionados para la detección son O₃, O₂-O₂, NO₂, HONO, HCHO, C₂H₂O₂, BrO, IO, OClO, H₂O (en sus fases líquida y sólida así como también radio efectivo de las gotas de las nubes).

4. **AIMS:** *Atmospheric Chemical Ionization Mass Spectrometer* – AIMS- o Espectrómetro de masas de ionización química por sus siglas en inglés es un instrumento utilizado para medir las concentraciones atmosféricas de los gases trazas. En particular, en el SouthTRAC se utiliza para medir concentraciones muy bajas de vapor de agua (H_2O) en UTLS. Para su funcionamiento, se requiere ingresar el aire del entorno de HALO hacia el interior de la aeronave a través de una entrada ubicada en el fuselaje. Se añaden al mismo un flujo de gas nitrógeno (N_2) y el pentafluoruro de trifluorometilazufre (SCF_8) para posibilitar la reacción de ionización química. Luego, se detectan y contabilizan los iones en la cámara al vacío de un espectrómetro de masa comercial de cuatro polos a una frecuencia de 0,5 Hz para brindar información a muy alta precisión.



Fig. 3: Puesta en funcionamiento del LIDAR ALIMA en la base aeronaval de Río Grande, Tierra del Fuego. (Fuente: página web campaña SouthTRAC)



Fig. 4: Vista del detalle del espectrofotómetro infrarrojo del instrumento GLORIA.



Fig. 5: Componentes del sistema BAHAMAS. a) Sistema de turbos de pitot y termómetros. b) Cockpit de la aeronave con los sistemas de avionicas para mediciones de parámetros meteorológicos base. c) Detalle del ‘nose boom’ con los sistemas de medición de turbulencia.

- 5. AMICA:** *Airborne Mid Infrared CAvity enhanced spectrometer* –AMICA- o Espectrómetro de cavidad de infrarrojo medio mejorado a bordo por sus siglas en inglés es un instrumento desarrollado por FZJ en colaboración con *Los Gatos Research* (LGR, www.lgrinc.com). El instrumento OA-ICOS (*Off-Axis Integrated Cavity Output Spectroscopy* por sus siglas en inglés) consta de dos cavidades con combinaciones intercambiables de láser/detector/espejo para permitir la medición simultánea de varios gases traza en dos regiones con número de ondas seleccionable en la zona infrarroja media (MIR), donde muchos de los gases trazas más relevantes absorben la luz. Actualmente, mide el OCS (oxisulfuro de carbono, un precursor del aerosol estratosférico), CO, CO₂ y H₂O (vapor de agua con relación de mezcla superiores a los 200 ppm).

- 6. HAGAR-V:** *High Altitude Gas Analyzer -V* -HAGAR-V- o Analizador de gases de alta latitud de quinta generación es un paquete instrumental que consta de tres módulos de medición:
- i. Un analizador infrarrojo no dispersivo (NDIR) para el CO₂, que ofrece unas mediciones extremadamente precisas de la concentración del CO₂ atmosférico (precisión de 0,025 %) con una resolución temporal de 1-3s;
 - ii. Un cromatógrafo de gases con dos canales que utiliza la detección de captura de electrones configurada para medir la concentración atmosférica de una serie de gases traza de larga vida de efecto invernadero y/o destructores del ozono: CH₄, SF₆, CFC-12, CFC-11, CFC-113, CCl₄ cada 90s;
 - iii. Un cromatógrafo de gas que utiliza la detección espectrométrica de gases configurada para medir la concentración atmosférica de una serie de gases traza, de vida larga y corta, del efecto invernadero y/o destructores del ozono: CFC-11, CFC-113, CH₃Cl, CH₂Cl₂, CHCl₃, C₂Cl₄, HFC-125, HFC-134a cada 3 minutos.
- 7. BAHAMAS/SHARC:** El *BAasic HALO Measurement And Sensor System* -BAHAMAS- o Sistemas de sensores y mediciones básicas HALO por sus siglas en inglés, consiste en un sistema de recopilación de datos que realiza un monitoreo de los sistemas aviónicos de la aeronave además de un conjunto de instrumentos que pertenecen al propio sistema (Figura 5). Estos sensores permiten realizar una determinación precisa de los parámetros meteorológicos básicos: presión, temperatura, humedad y el vector de viento en tres dimensiones. Además, se determina la humedad mediante un sensor basado en Lyman-Alpha (SHARC).
- 8. FAIRO:** *Fast AIRborne Ozone instrument* -FAIRO- o instrumento de medición rápida de ozono es un dispositivo pequeño y ligero para la medición de trazas de ozono (O₃) en el aire ambiente. Aplica dos técnicas: (a) un fotómetro que mide la absorción de la luz del O₃ con una longitud de onda de 255 nm y; (b) un detector seco de quimioluminiscencia que realiza un seguimiento de la luz de quimioluminiscencia (con una longitud de onda de unos 500 nm) emitida por el O₃ cuando reacciona con una capa de tinte orgánico en la superficie de un pequeño disco sensor.
- 9. FISH:** *Fast In situ Stratospheric Hygrometer* -FISH- o Higrómetro *in situ* 'rápido' estratosférico por sus siglas en inglés. La técnica de medición se basa en la fluorescencia fotofragmentaria Lyman-α para medir el vapor de agua en la banda de entre 1 y 1000 ppmv.
- 10. GhOST-MS:** *Gas chromatograph for Observational Studies using Tracers – Mass Spectrometer* -GhOST-MS- o Cromatógrafo de gases para observaciones usando trazadores y un espectrómetro de masas. Mide hidrocarburos halogenados, especialmente halocarbonos con Bromo, que son de interés para nuestra comprensión de la cantidad de halógeno que entre en la estratosfera. En un segundo canal el instrumento mide el SF₆, que es un importante gas de efecto invernadero y puede utilizarse para derivar datos de la delimitación temporal para el transporte atmosférico.
- 11. KITsonde:** Es un sistema de *drop sondas* utilizados para obtener perfiles verticales en alta resolución del *Karlsruhe Institute of Technology*. Estas sondas se lanzan desde un contenedor con

dispositivo de protección de lanzamiento donde las sondas se separan unos pocos segundos después de producirse el lanzamiento y descienden hasta la tierra con un paracaídas específico. Las configuraciones permiten un total de 4 sondas en cada lanzamiento. Los parámetros medidos son: temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y localización (*GPS, Galileo, GLONASS, Beidou*) a partir de la cual se obtiene la velocidad y dirección del viento. Un contador óptico de partículas detecta los aerosoles o las gotas de las nubes y puede lanzarse junto con una sonda meteorológica. Los datos medidos se transmiten a la aeronave usando una banda estrecha de frecuencias dentro de la banda meteorológica de 400 a 405 MHz.

12. IPA-NOy: *Institut für Physik der Atmosphäre -NOy-* o Medidor de óxidos de nitrógeno del Instituto de Física de la Atmósfera es un instrumento que aplica la técnica de quimioluminiscencia para detectar compuestos de nitrógeno y oxígeno. El óxido nítrico en el aire ambiente reacciona en una cámara con el ozono y produce unas moléculas trazadoras. La luz es detectada por un fotomultiplicador. Las especies de gases traza medidas son: NO (óxido nítrico) y NOy (nitrógeno reactivo total).

13. UMAQS: *Quantum Cascade Laser Absorption Spectroscopy (QCLAS)* o Espectroscopio láser de absorción de cascada de quátums por su siglas en inglés. Se utiliza para detectar los gases CO, CO₂, N₂O y CH₄. El aire se introduce en una celda de medición, donde la atenuación de la luz láser dentro de la celda se utiliza para la determinación del respectivo relación de mezcla de gases trazas. La operación de una bomba al vacío mantiene un flujo continuo a través de la celda de medición. Para controlar el láser y la temperatura interior del instrumento, se utiliza una unidad de refrigeración. Para comprobar la estabilidad del instrumento durante el vuelo, se utiliza un cilindro de gas de aire ambiente bajo presión para realizar calibraciones durante el vuelo.

En la Tabla II se muestran las características básicas de los 13 instrumentos descritos en los párrafos anteriores. Durante cada uno de los vuelos (11 en Septiembre y 5 en Noviembre), en ambas fases, se lanzaron entre 6 y 8 sondas *KIT*, lo cual constituye una gran cantidad de datos recopilados para diferentes latitudes y longitudes. A esto deben sumarse los datos obtenidos de los lanzamientos en tierra. La campaña incluyó el lanzamiento de aproximadamente 40 radiosondas desde Río Grande. También, por medio de la coordinación del Dr. Godoy, se lanzaron ozonosondas desde las bases Marambio y Ushuaia, y desde las bases chilenas de Punta Arenas e Isla San Jorge. Esto se dispuso de forma tal de obtener la mayor información posible de la atmósfera, cada vez que la ruta de vuelo pasaba cerca o sobre alguna de las bases, y/o la situación meteorológica presentara características especiales. También se realizaron mediciones complementarias desde El Calafate, donde parte de los investigadores (incluido el Dr. Godoy) hicieron base. Esta parte alternativa de la campaña contó con la participación de dos planeadores Stemme S10 del Mountain Wave Project (<http://www.mountain-wave-project.com>), con el fin de recopilar datos específicos en la estratosfera sobre la Cordillera de Los Andes.

Tabla II: Instrumentos de medición a bordo de la aeronave HALO y sus especificaciones básicas.
(Fuente: página oficial del experimento SouthTRAC)

| Tipo de observaciones | Instrumento | Método de medición | Parámetros | Institución |
|---|--------------------------|--|--|----------------------------|
| Mediciones a través de sensores remotos instalados a bordo | ALIMA | LIDAR en la banda de 372nm y 532nm orientado hacia el extremo superior de la aeronave | Temperatura, densidad del aire, perfiles verticales de viento | DLR - IPA |
| | GLORIA | Espectrofotómetro criogénico basado en interferómetro de Michelson en el rango de infrarrojo | Temperatura, N ₂ O, CH ₄ , H ₂ O, SF ₆ , CFCs, O ₃ , ClONO ₂ | KIT/FZJ |
| | MiniDOAS | Espectrómetro del rango UV | O ₃ , O ₂ -O ₂ , NO ₂ , HNON, HCHO, C ₂ H ₂ O ₂ , BrO, IO, OClO, H ₂ O | Universidad de Heilderberg |
| Mediciones a través de sensores in situ en la aeronave | AIMS | Espectrómetro de masa de ionización química | H ₂ O, HCL, ClONO ₂ , HNO ₃ , SO ₂ | DLR - IPA |
| | AMICA | Espectroscopio integrado asimétrico | Compuestos orgánicos, CO, CO ₂ , H ₂ O | FZJ |
| | BAHAMAS con SHARC | Sistema de sensores meteorológicos básicos de HALO | Datos meteorológicos: presión, temperatura, viento y humedad. Datos de aviónica | DLR-FX |
| | FAIRO | UV fotómetro / quimiluminiscencia | O ₃ | KIT/FZJ |
| | FISH | Higrómetro Lyman-Alpha | H ₂ O total, fase del agua | FZJ |
| | GhOST-MS | Cromatografía de gases con espectrómetro de masa | CH ₃ Br, CHBr ₃ , CHCL ₃ , CH ₃ I, CFCs, SF ₆ . | Universidad de Frankfurt |
| | HAGAR V | Analizador en el rango de infrarrojo para CO ₂ , cromatografía de gases | CO ₂ , CH ₄ , SF ₆ , CFC-12, CFC-11, CFC-113, CCL ₄ | Universidad de Wuppertal |
| | IPA-NOy | Quimiluminiscencia | NO _x , NO _y | DLR-IPA |
| Mediciones in situ por medio de radiosondas lanzadas desde la aeronave | UMAQS | Espectroscopio laser de absorción de cascadas de quátums | CO, CO ₂ , N ₂ O, CH ₄ | Universidad de Mainz |
| | KITsonde | Radiosondas tipo 'dropsondes' | Temperatura, presión, humedad y perfil del viento | KIT |

Nota: Abreviatura de las instituciones: KIT= Instituto Tecnológico de Karlsruhe, Alemania; FZJ = Centro de Investigación Julich, Alemania; DLR= Centro Aeroespacial Alemán Oberpfaffenhofen, Alemania; IPA = Instituto de Física Atmosférica; FX = Centro de Experimentos Aeronáuticos

4. CONCLUSIONES

En esta nota técnica se describieron los aspectos técnicos principales de la campaña SouthTRAC, como las características del instrumental de medición, la zona de estudio comprendida y el tipo de datos a recopilar durante dicha campaña de medición. También, se enumeraron brevemente los intereses científicos y la participación de los autores como científicos asociados al proyecto. En una segunda nota técnica (Godoy y otros, 2020) se detallan las tareas específicas y los proyectos de investigación que enmarca el proyecto, como también así las colaboraciones científicas y el trabajo preliminar realizado con los datos ya disponibles.

La campaña SouthTRAC, realizada durante los meses de septiembre y noviembre de 2019 constó de una serie de mediciones en la UTLS a cargo de la aeronave HALO, perteneciente a la Agencia Aeroespacial Alemana (DLR), que hizo base en Río Grande. En total se realizaron unos 17 vuelos, comprendiendo latitudes entre 45°S y 65°S y longitudes entre 85°E y 40°O, utilizando un instrumental de última tecnología montado a bordo de la aeronave. Ozonosondeos, radiosondeos y mediciones con un planeador sobre la cordillera de Los Andes se realizaron de forma complementaria a los vuelos de HALO. El SMN brindó apoyo logístico proveyendo pronóstico meteorológico para los vuelos, y participando en la toma de decisiones a través del know-how de los autores relacionado a la dinámica de la atmósfera de la zona de interés y la aeronáutica.

El proyecto, busca descifrar aspectos claves relacionados con la composición química y la dinámica de la UTLS-HS, enmarcando 4 grandes interrogantes básicos, a saber: Los procesos de acoplamiento en la tropopausa del HS, Ondas de gravedad en el HS, El impacto del vórtice Antártico en la UTLS-HS, y la quema de biomasa y emisiones biogénicas en la troposfera superior del Atlántico Sur. De estos 4 temas, se desprenden líneas de investigación de gran interés para la investigación básica acerca de la dinámica de la atmósfera en nuestras latitudes, y de grandes beneficios para el pronóstico operativo en nuestra región. La segunda parte de la presente NT (Godoy y otros, 2020) aborda en detalle dichas líneas.

Agradecimientos

Agradecemos especialmente a las Dra. Paula Etala, Dra. Claudia Competella, Dra. Lorena Ferreira, Dra. Yanina García Skabar y a todo el personal del SMN que colaboró durante la campaña de medición, y a los investigadores Peter Hoor (Instituto de Física Atmosférica - Johannes Gutenberg Universidad de Mainz) y Andreas Dörnbrack (Centro Aeroespacial Alemán (DLR) - Instituto de Física Atmosférica Meteorología del Transporte).

Sitios de interés

Sitio web del experimento SouthTRAC. www.pa.op.dlr.de/southtrac

Deep Propagating Gravity Wave Experiment (DEEPWAVE). www.eol.ucar.edu/field_projects/deepwave

The HIAPER Pole-to-Pole Observations (HIPPO) programme. royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2010.0313

The Atmospheric Tomography Mission (Atom). espo.nasa.gov/atom/content/ATom

In-service Aircraft for a Global Observing System (IAGOS). <http://www.iagos.org>

Polar WRF. polarmet.osu.edu/PWRF/

REFERENCIAS

Godoy, A. A., N. Rivabén y P. Imazio, 2020: El SMN en la campaña SouthTRAC. Parte II: actividades científicas y apoyo en la campaña. Nota Técnica SMN 2020-76.

K.M. Hines, D.H. Bromwich Development and testing of Polar Weather Research and forecasting (WRF) model. Part I: Greenland ice sheet meteorology Mon. Weather Rev., 136 (6) (2008), pp. 1971-1989.

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).