

METEOROLOGIA OPERATIVA DE LA ANTARTIDA. PASADO, PRESENTE Y FUTURO

Por N. A. STREten*

Introducción

Los resultados científicos (incluidos los meteorológicos) de las expediciones nacionales a la Antártida a principios del siglo XX se publicaron en una serie de tomos primorosamente impresos que se han convertido en clásicos de la literatura científica y de exploraciones y aún proporcionan datos detallados, valiosos y fácilmente accesibles que a menudo son mejores en estos aspectos que los modernos. En algunos informes se utilizó información de otras expediciones que estaban simultáneamente en otra parte del continente. Estos datos, obtenidos retrospectivamente, ayudaron a preparar mapas del tiempo de entonces en zonas limitadas. En la figura 1 se muestra un ejemplo, que hizo Simpson en 1919, del tiempo que hacia en la zona del mar de Ross en la época en que Scott hizo su viaje al polo. Muchas veces, esos análisis no se hicieron hasta muchos años después de que terminaran las expediciones, como los análisis que hizo Kidson en 1947 utilizando los datos, tanto de la expedición australasiática a la Antártida (1911-1914) como de la última expedición de Scott. Hay que señalar que en 1911 Mawson experimentó la transmisión por radio de información meteorológica desde la isla de Macquarie a Australia.

Los intentos de hacer regularmente análisis sinópticos casi completos de las latitudes medias y altas del hemisferio sur comenzaron en 1950 como un proyecto de investigación del Instituto Tecnológico de Massachusetts y del Servicio Meteorológico de Sudáfrica (también en 1950); Streten y Zillman hicieron en 1984 una breve historia de alguno

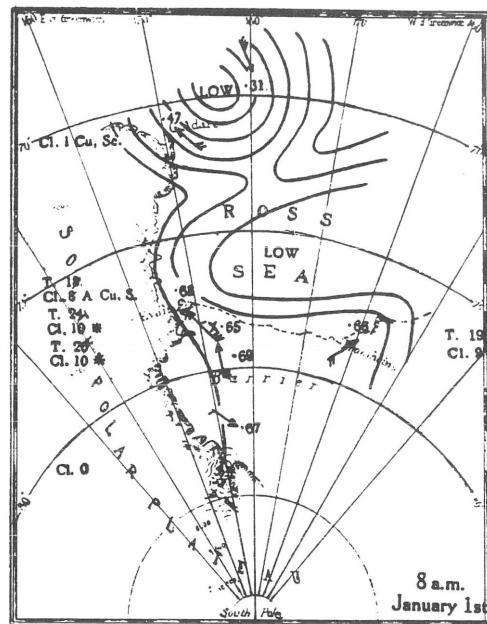


Figura 1 — Mapa meteorológico de superficie para la región del mar de Ross el 1 de enero de 1912 (Simpson, 1919)

de estos intentos. Así, en la época del siguiente máximo relativo de expediciones a la Antártida (mediados de los años 50), se emplearon en el hemisferio sur los conceptos generales de la meteorología sinóptica operativa y la teoría frontal y durante el Año Geofísico Internacional (AGI) de 1957-1958 el interés de desplazó claramente a disponer de los datos en tiempo real. Las observaciones de las estaciones antárticas se concentraron inicialmente en la "Central meteorológica de la Antártida", en Little América, la base de los EE.UU. en el mar de Ross, donde un equipo internacional de meteorólogos elaboró análisis de las latitudes sur más altas. Esto llevó a más estudios de la circulación en la región y a publicaciones importantes como las de Astapenko (1960) y Van Loon y col. (1972).

* Servicio Meteorológico de Australia. El Dr. Streten es presidente del grupo de trabajo del Consejo Ejecutivo sobre meteorología de la Antártida.

Después del AGI y del cierre de la Central meteorológica de la Antártida, el Centro internacional de análisis de la Antártida, con sede en Melbourne, continuó los análisis manuales de las latitudes altas del hemisferio sur de 1959 a 1965, año en que los continuó el Servicio Meteorológico de Australia, que más tarde introdujo la técnica de análisis numérico. También se elaboraron programas similares en otros lugares. A mediados de los años 60 se comenzó a disponer sistemáticamente de imágenes satelitarias de la región, que fueron una fuente fundamental de información para hacer análisis regionales día a día (véanse, por ejemplo, Streten y Troup, 1973, Guymer, 1978). En la época del Primer experimento mundial del GARP (FGGE), 1978-1979, se desplegaron muchas boyas experimentales alrededor de la Antártida, con la consiguiente mejora de los análisis (Guymer y Le Marshall, 1980). Más recientemente, se ha dispuesto de los datos de los sondeos desde satélite (TOVS), aunque su empleo en las latitudes australes altas presenta algunas dificultades.

Actualmente, los principales centros de análisis meteorológicos de varios países de todo el mundo incluyen a la Antártida en sus análisis mundiales rutinarios, aunque puede que éstos no sean los mapas mejores para las operaciones de campo cotidianas que precisan detalle.

Observaciones

La red básica de estaciones de observación en superficie dotadas de personal en las latitudes australes altas no ha cambiado mucho desde el AGI y se muestra en el panel superior de la figura 2. Sin embargo, ha crecido mucho el parque internacional de boyas que ahora proporcionan vía satélite datos sinópticos de superficie básicos relativos al océano Antártico (véase el panel inferior de la figura 2). No obstante, tras desplegar las boyas, éstas se desplazan bastante al norte de las aguas costeras de la Antártida y es preciso situar más boyas más cerca del continente, dentro de la zona estacional de hielos marinos. Varios experimentos han demostrado ya que boyas adecuadamente diseñadas pueden resistir y seguir funcionando en la capa de hielo.

Igual que ocurre con las boyas, en la Antártida ha aumentado el número de estaciones meteorológicas automáticas y ahora son más de 40. Se han utilizado

principalmente para experimentos científicos concretos y tienden a agruparse en regiones determinadas, como la Plataforma de hielo de Ross (Stearns y Wendler, 1988), pero ahora se empieza a reconocer que sus datos pueden ser de utilidad en los análisis numéricos rutinarios y se ha instado a quienes la explotan a que busquen formas de introducir al menos algunos de los datos en el Sistema Mundial de Telecomunicaciones (SMT) de la OMM para que se puedan utilizar en centros de análisis lejanos. La red aerológica actual se muestra en la figura 3 y también ha cambiado poco desde el AGI.

Al examinar esta red general se observan algunas deficiencias importantes, como la ausencia de observaciones de superficie en la mayor parte de la Antártida occidental con excepción de la península antártica, el agrupamiento excesivo (al menos desde el punto de vista de un meteorólogo sinóptico) de estaciones en la isla del Rey Jorge y la escasa cobertura aerológica, especialmente a las 12 T. U., en una gran parte del continente. Por otra parte, la Antártida occidental es el sector más carente de datos, pues presenta muchas dificultades logísticas para llegar por mar y para aprovisionarla y dotarla de personal desde las estaciones costeras existentes. Para las futuras expediciones nacionales a la Antártida supone un reto rectificar este problema e intentar obtener datos de esta región utilizando estaciones meteorológicas automáticas fiables y permanentes en lugares fijos y poniendo en funcionamiento una o varias estaciones aerológicas con personal.

Comunicaciones

Durante muchos años, se han transmitido por radio de alta frecuencia los datos desde la Antártida al resto del mundo, en donde se han utilizado en los centros de análisis para incluirlos en mapas de diferentes tipos. Despues del AGI, la OMM creó un grupo de trabajo en meteorología de la Antártida, el cual tenía entre sus actividades colaborar con el grupo de trabajo en meteorología del SCAR (Comité científico para investigaciones antárticas) para vigilar los datos meteorológicos disponibles y para intentar aumentar el número de observaciones y hacerlas llegar a los centros de análisis de fuera de la Antártida. También se prestó alguna atención a que dispusieran de los datos las estaciones de dentro del continente, que

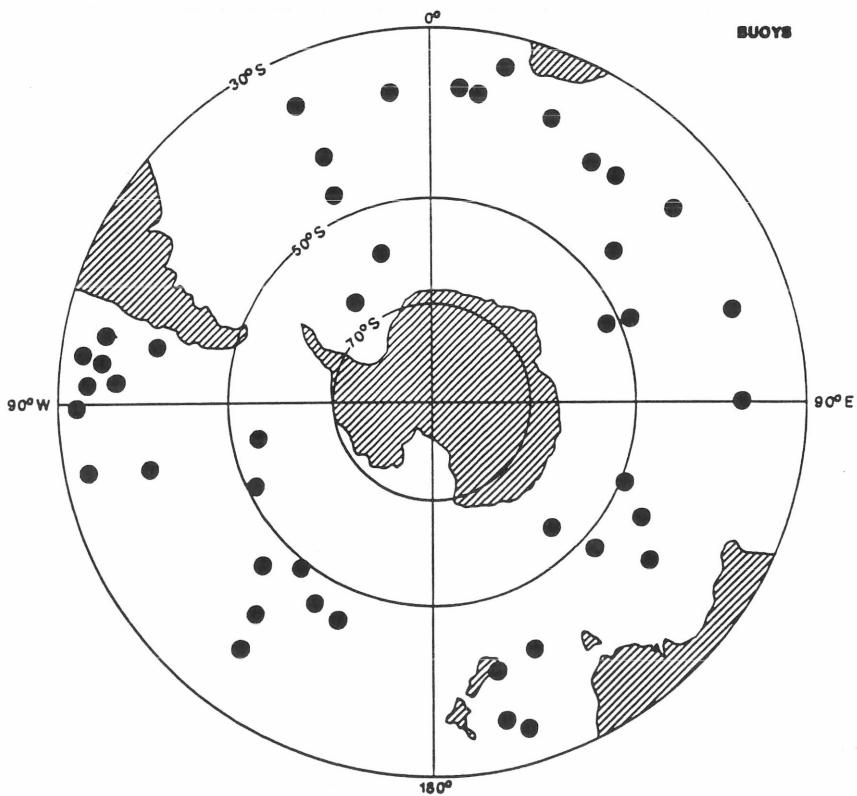
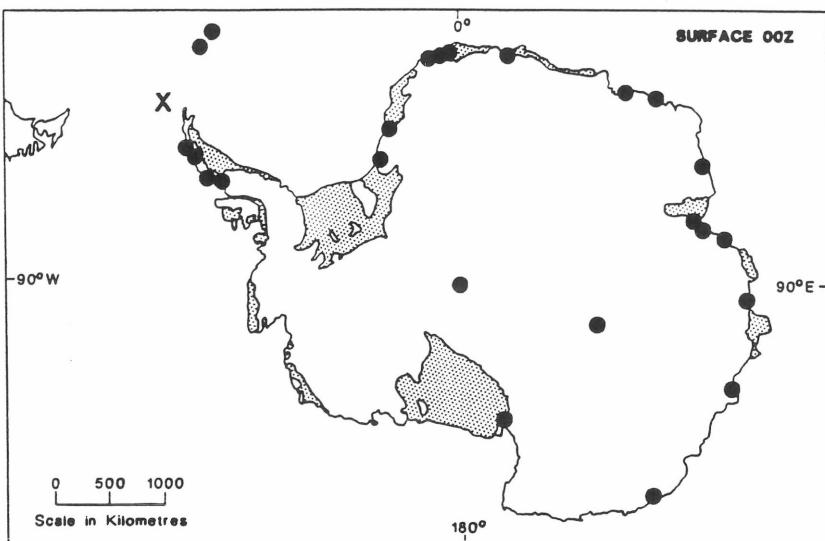


Figura 2 — (*Encima*) red actual (1991) de estaciones meteorológicas antárticas con personal que realizan observaciones diarias a las 00 T. U. La X señala la isla del Rey Jorge, emplezamiento de unas siete estaciones. (*Debajo*) situación de las boyas a la deriva que enviaron información vía satélite que se recibió en el CMM de Melbourne el 31 de octubre de 1991.

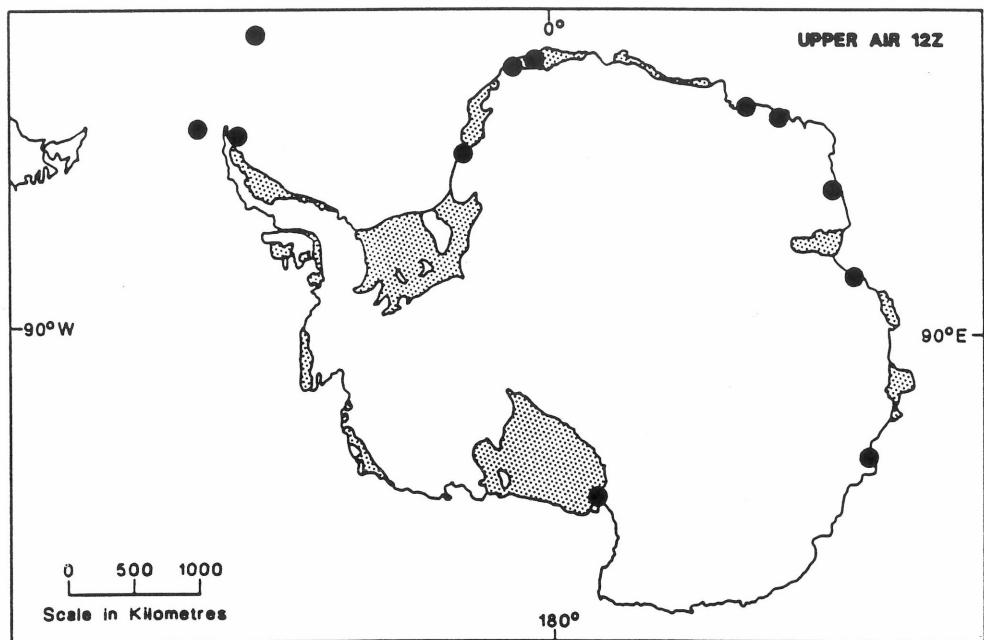
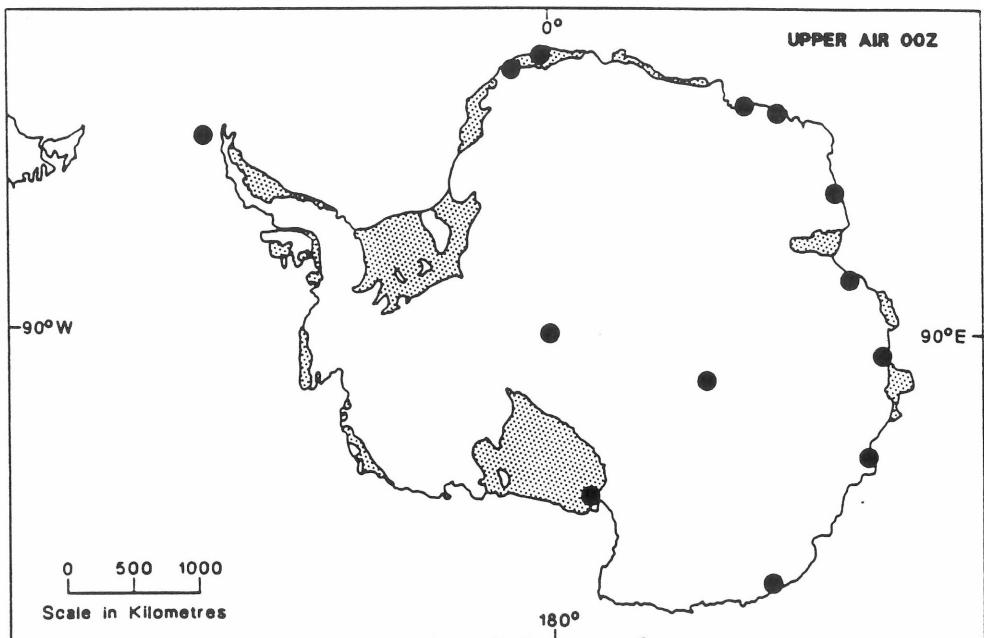


Figura 3 — Estaciones aerológicas de la Antártida que envían información (*encima*) a las 00 T. U. y (*debajo*) a las 12 T. U.

necesitaban información regional para fines operativos o de investigación. Así, se creó un sistema por el que algunas "estaciones madre" concentraban los datos de sus "estaciones hijas" de una región y las retransmitían desde

la Antártida al tronco principal del SMT. Este trabajo ha continuado evolucionando en los últimos 30 años.

En los años recientes, la OMM ha vigilado regularmente la circulación de la información

meteorológica y, de vez en cuando (más recientemente en 1989 y 1991), ha celebrado reuniones de expertos en telecomunicaciones para analizar el sistema actual y hacer recomendaciones tendentes a mejorar las técnicas y procedimientos de corregir las deficiencias.

Un examen de los canales de comunicación actuales mostraría que el uso creciente de las Plataformas de concentración de datos (DCP) y la retransmisión automática de datos que hacen los satélites están suprimiendo muchas de las dificultades que las frecuentes tormentas magnéticas polares causan a las comunicaciones por radio en la Antártida. El comité de expertos recomienda unos principios generales para el manejo de datos antárticos que recalcan la conveniencia de utilizar al máximo los sistemas de comunicaciones basados en los satélites como medio principal o alternativo de transmitir los datos de las estaciones antárticas a los centros concentradores situados fuera del continente junto con un uso mínimo de los enlaces vía radio de alta frecuencia para concentrar los datos dentro de la Antártida. Este último método de concentración se recomienda sólo donde las condiciones geográficas impiden emplear sistemas basados en los satélites o donde los actuales sistemas de alta frecuencia hayan demostrado ser muy fidedignos.

En lo referente a la difusión de la información meteorológica de la Antártida, el comité de expertos recomendó confiar al máximo en el SMT para difundir los datos por todo el mundo, incluyendo su retorno a las estaciones de la Antártida cuando fuere necesario, minimizando así la utilización de comunicaciones por radio de alta frecuencia dentro del continente. Hay también una necesidad clara de normalizar las técnicas de telecomunicación que se emplean en la Antártida y se están investigando algunas sugerencias técnicas relativas a normalizar las comunicaciones por satélite y vía radio de alta frecuencia.

La fiabilidad del SMT y de sus sistemas auxiliares para suministrar datos antárticos en cualquier parte del mundo en que se precisen, la ha puesto a prueba la OMM mediante controles en períodos de dos semanas al año durante los últimos años. En general, se piensa que el sistema funciona con bastante eficacia; por ejemplo, los datos antárticos disponibles

dentro de las 3 horas siguientes al momento de la observación superan el 75 por ciento de los datos esperables según el tipo de datos y la hora de observación. Sin embargo, los resultados de los controles han revelado algunas deficiencias importantes producidas por factores complejos del funcionamiento de los sistemas de comunicación, de la preparación de los datos y boletines a transmitir, de algunos cambios imprevistos en los programas de observación y también del propio método de control.

Muchos de estos tipos de problemas no son fáciles de resolver. Sin embargo, se continúa trabajando para mejorar los procedimientos y los métodos de preparar los boletines, a fin de hacer el mejor uso de las nuevas comunicaciones por satélite y de los sistemas de conmutación de mensajes mediante ordenador.

Archivo y disponibilidad de los datos

Los investigadores en meteorología de la Antártida, frecuentemente, han encontrado dificultades para conseguir datos archivados. Esto se debe a la falta de un catálogo definitivo de material de referencia, de las diferentes agencias responsables en los distintos países, de los diversos formatos y procedimientos de archivo y, a veces a la falta de interés de determinados organismos nacionales. Algunos países, especialmente los EE.UU., han estudiado este tema; en 1987, en un cursillo práctico sobre los sistemas de distribución de los datos antárticos de los EE.UU., se hicieron varias recomendaciones útiles para mejorar el acceso en ese país a los datos de la Antártida, incluidos los datos meteorológicos. Sin embargo, hay en general en los diversos países una gran variedad de disposiciones que complican el acceso a los datos meteorológicos distintos de los que se transmiten diariamente por el SMT.

La cuestión general de disponer de todos los datos antárticos se ha tratado también en el campo internacional por el SCAR y, recientemente, en las Reuniones Consultivas del Tratado de la Antártida (ATCM). En la XV ATCM, celebrada en París en 1989, se adoptó una recomendación en la que se solicitaba a las partes del Tratado que elaboraran guías nacionales y las entregaran al SCAR para hacer una "Guía completa de los datos científicos antárticos"; con esto quedaría más perfilado un plan de acción para crear en el futuro un

Sistema de datos científicos y ambientales de la Antártida. Es éste un proyecto muy ambicioso y será grande la magnitud de la tarea, incluso si se trata sólo de la meteorología. Si se aplican estas medidas, parece asegurado que en el futuro será más fácil el acceso a los datos históricos.

El análisis, la predicción y los servicios regionales meteorológicos en la Antártida

En los últimos 30 años, la participación de la OMM en la meteorología de la Antártida ha consistido en gran parte en definir técnicas de observación normalizadas y en buscar métodos mejores para transmitir los datos a otros continentes y para intercambiar datos entre las estaciones antárticas. Más recientemente se ha reconocido que algunas de estas estaciones requieren análisis y predicciones rutinarias suministrados por diversos centros de análisis, tanto de la Antártida como de otros lugares, y esto ha llevado a que la OMM, a través de la estructura del Tratado de la Antártida, intente que se disponga de más análisis, predicciones e informaciones meteorológicas especiales para la toma de decisiones logísticas a corto y largo plazo en la Antártida. En los últimos años, ha quedado de manifiesto lo importante que sería esta mejora por algunos incidentes relacionados con el tiempo o con los hielos marinos, como el hundimiento de varios barcos en los hielos marinos, los peligros de otros y varios accidentes de aviones con muertos. Es bien sabido que al Antártida plantea problemas muy difíciles a las actividades humanas, entre los que destacan las condiciones meteorológicas, a menudo peligrosas.

La cuestión de los servicios a la navegación marítima se suscitó en la XIV ATCM, en 1987, y se remitió al SCAR, que organizó una reunión conjunta de expertos SCAR/OMM/COI en Leningrado a principios de 1989. El informe de los expertos se estudió ese mismo año en la XV ATCM y se remitió de nuevo al grupo de trabajo de la OMM en meteorología de la Antártida, que lo estudió en su reunión de 1990, informó al Undécimo Congreso de la OMM y suministró información para la XVI ATCM, en 1991. Esencialmente, la opinión que la OMM transmitió a la ATCM fue que:

- Se necesitan servicios meteorológicos generales de gran calidad para la

seguridad y eficacia de las actividades operativas e investigadoras en la Antártida;

- En el continente y los mares vecinos se necesitarían varios centros de predicción del tiempo para cubrir las necesidades de servicios detallados en zonas limitadas y de predicciones para determinadas condiciones meteorológicas locales;
- Estos centros de predicción meteorológica deben tener:
 - Acceso a los datos antárticos pertinentes y a los productos que se transmiten por el SMT;
 - Instalaciones adecuadas de comunicaciones;
 - Capacidad para recibir los datos de alta resolución que transmiten los satélites;
- En vista de la dificultad de mantener personal y equipos en la Antártida, no es necesario crear ahora en el continente un centro del SMPD, pero la OMM debería organizar apoyo para los centros de predicción a través de los Centros Meteorológicos Regionales Especializados (CMRE) y los Centros Meteorológicos Mundiales (CMM) que ya existen.

Durante varios años, han suministrado servicios meteorológicos importantes la base estadounidense de McMurdo y el Centro Meteorológico Antártido de la URSS, en Molodezhnaya. También aportan algunos servicios los Centros Meteorológicos Antárticos de Marambio, perteneciente a Argentina, y Eduardo Frei, perteneciente a Chile. A finales de 1991, Australia inauguró en Casey su Centro Meteorológico Antártico, que se ajustará al modelo propuesto por la OMM y tendrá enlaces interactivos con el CMM de Melbourne; la Oficina del Centro de Investigación Meteorológica desarrollará progresivamente un modelo operativo de análisis regional antártico. El centro funcionará inicialmente sólo durante la temporada de la expedición estival a la Antártida pero con opción de funcionar todo el año en el futuro. En la figura 4 se muestra un esquema de funcionamiento y en la figura 5 se indica la cobertura de datos del receptor AVHRR de Casey. Este último se considera vital para analizar los sistemas meteorológicos de escala pequeña y para estudiar los hielos marinos.

La OMM ha determinado los servicios meteorológicos disponibles en las diferentes partes del continente y señala que todavía caben mejoras, especialmente en la Antártida occidental. Muchas expediciones trabajan ahora desde modernos rompehielos con lectura directa de alta calidad de los datos de satélite, con acceso a los mapas de análisis de que se dispone a bordo y, frecuentemente, también con helicópteros en los buques, que son muy útiles para reconocer los hielos marinos, como ayuda a la navegación. Estos navíos, que a menudo llevan también meteorólogos operativos, pueden trabajar de forma prácticamente independiente de las instalaciones meteorológicas de análisis situadas en la costa. Sin embargo, cada vez

visitárán más las aguas antárticas buques con medios menos sofisticados como parte de expediciones nacionales más pequeñas o privadas o relacionadas con el turismo.

Un asesoramiento meteorológico regular acerca de las condiciones meteorológicas y los hielos marinos, para las actividades diarias y para la planificación logística a plazo más largo, puede ser vital para la seguridad humana y para minimizar los posibles daños al medio ambiente antártico (como los vertidos de petróleo), que se está convirtiendo en punto de interés básico para las Partes Consultivas del Tratado de la Antártida. Se hacen consideraciones similares para la aviación en la región y el Consejo de Gestores de los Programas Nacionales para la Antártida

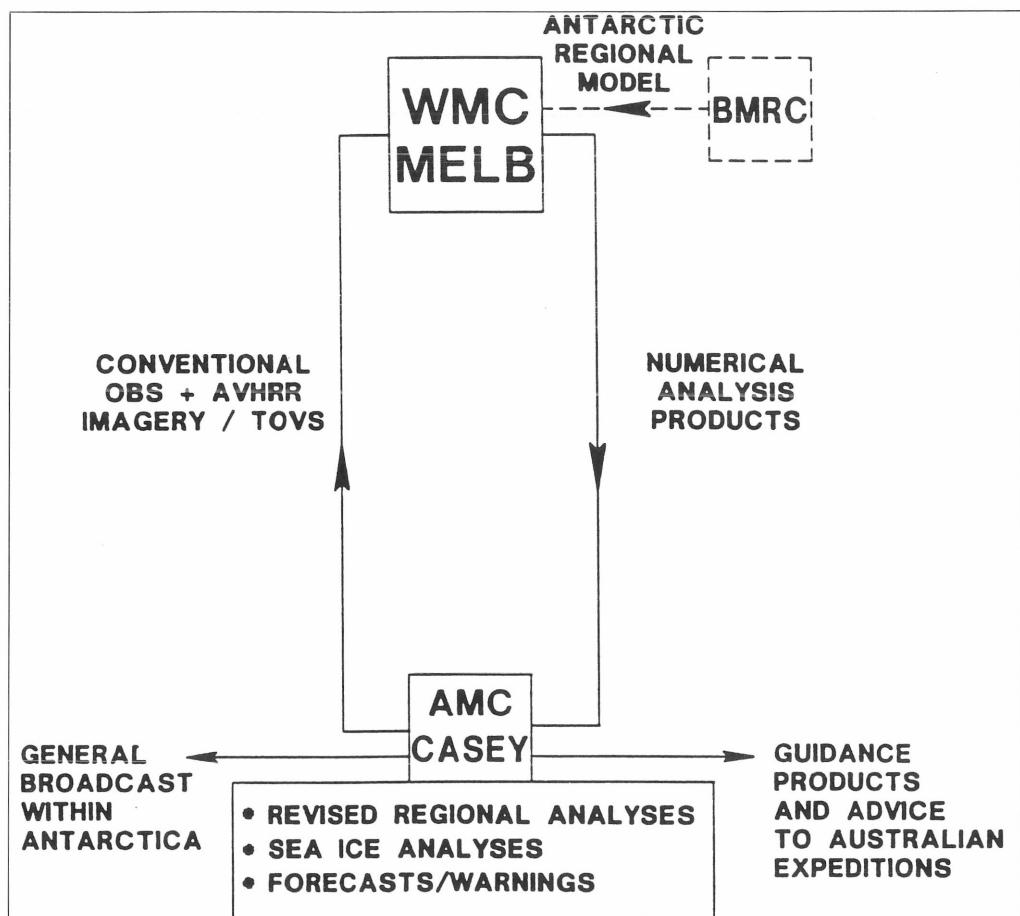


Figura 4 — Esquema del funcionamiento del Centro Meteorológico Antártico de Australia en Caey (WMC = Centro Meteorológico Mundial de Melbourne; BMRC = Oficina del Centro de Investigación Meteorológica; AMC = Centro Meteorológico Antártico de Australia, en Casey)

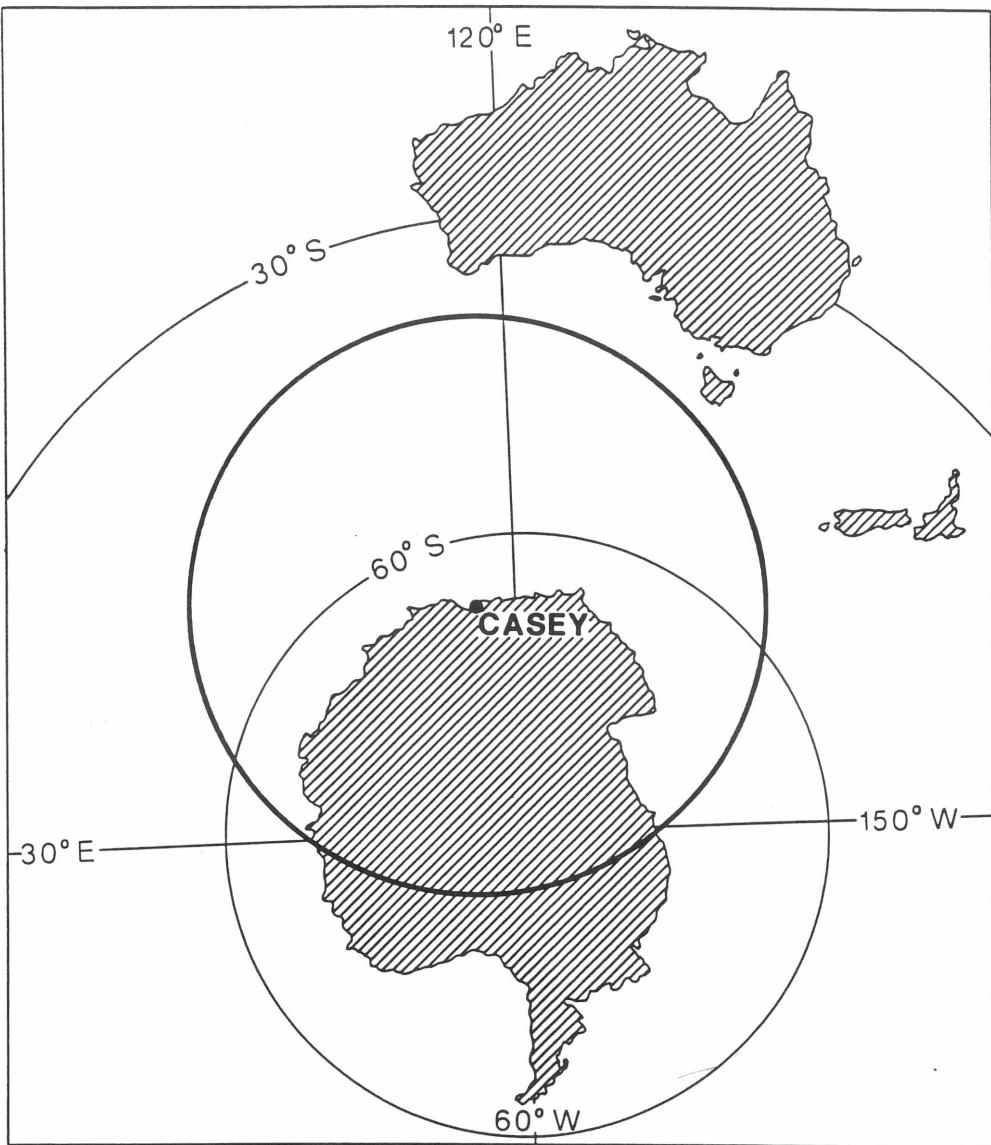


Figura 5 — Zona (en el círculo) de la que se reciben datos satelitarios de radiómetro avanzado de muy alta resolución (AVHRR), que se leen en Casey.

(COMNAP) ha publicado recientemente un práctico *Manual de información para los vuelos a la Antártida* que ofrece, entre otras cosas, información sobre las instalaciones meteorológicas en las bases administradas por diversas expediciones nacionales. Puede que fuera útil elaborar un documento similar para la navegación marítima.

Análisis regionales especializados para la Antártida

Aunque los diversos modelos mundiales dan

actualmente los mejores análisis meteorológicos a gran escala para la región antártica, se necesita investigar más y avanzar más en proporcionar a la región un sistema más detallado. Como se indicó anteriormente, la red no es ideal y hay que depender mucho de los datos satelitarios. Para la modelización y el análisis numéricos presentan problemas la existencia de un extenso casquete polar con una altura de más de 4 000 m, las abruptas pendientes desde la meseta al océano y la consiguiente estructura de vientos catabáticos

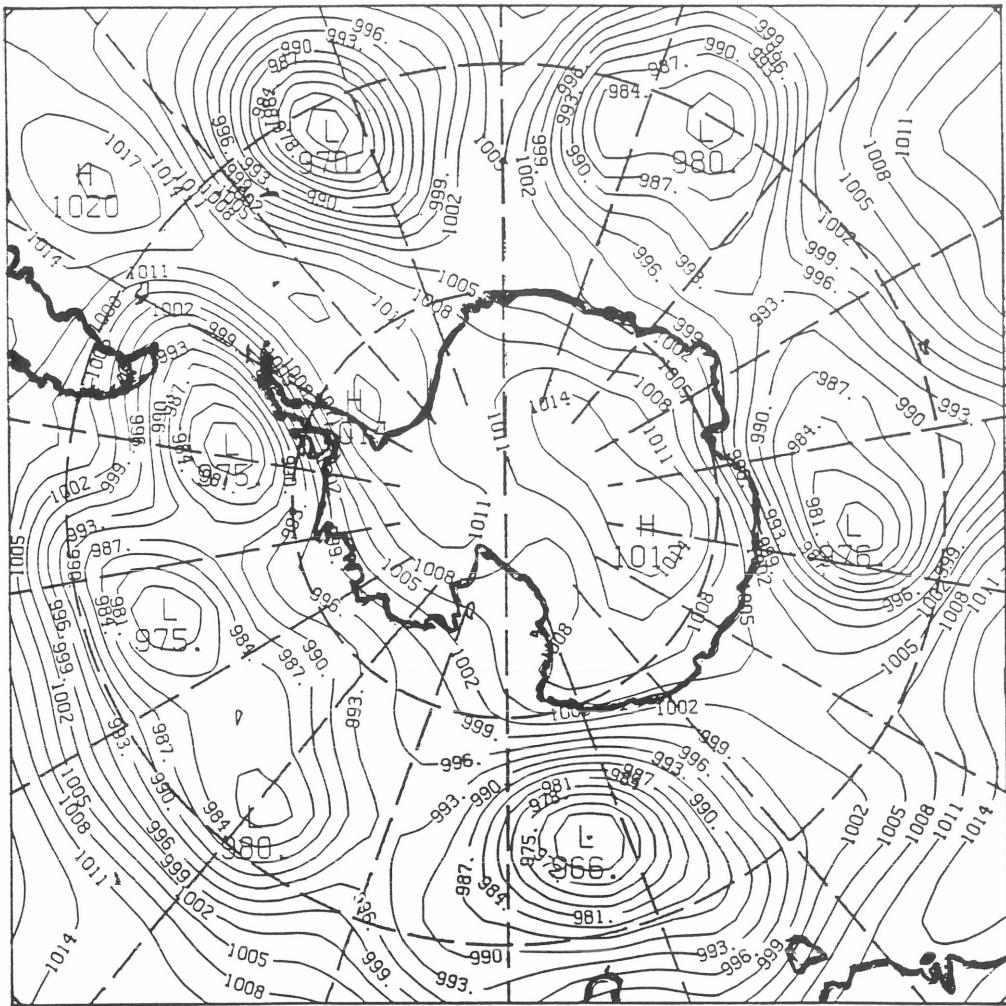


Figura 6 — Análisis del modelo de ecuación primitiva de la región antártica MSL, correspondiente a las 00 horas T. U. del 20 de enero de 1987.

en las capas más bajas de la atmósfera. La mayoría de los modelos que se usan actualmente tienen un número insuficiente de niveles en las capas inferiores para representar adecuadamente los procesos físicos que actúan en la atmósfera antártica; se necesitan también técnicas especiales para insertar convenientemente en el esquema de análisis las observaciones de las AWS de nivel alto. A menudo son difíciles de interpretar las imágenes satelitarias de los hielos marinos, y especialmente del casquete de hielo, y la calibración de los datos de los TOVS en latitudes altas presenta más problemas.

Se dedica un interés especial a la evolución y el comportamiento de las características de escala subsinóptica de la

circulación, en especial las depresiones polares (véase, por ejemplo, Carleton, 1992) que, con frecuencia, son importantes en los fenómenos meteorológicos cotidianos de la costa antártica y que también pueden afectar a las características y a la distribución local de los hielos marinos, por lo que suponen problemas para la navegación marítima. Para estudiar estos fenómenos es importante no sólo tener acceso a los datos satelitarios de alta resolución sino también tener sistemas de análisis numérico que pueden utilizar todos los tipos diferentes de datos disponibles en un modelo regional especializado. Se han hecho algunos primeros intentos para elaborar dicho modelo en el Servicio Meteorológico de Australia y en la figura 6 se muestra un

ejemplo de los resultados del modelo. Sin embargo, queda mucho por hacer antes de que estos modelos sean plenamente operativos. Al igual que en otros muchos temas de investigación es de desear que participen meteorólogos investigadores y operativos en el análisis diario de los datos para intentar conocer los procesos que intervienen y, simultáneamente para utilizar óptimamente la información en el suministro de servicios a la navegación, la aviación y otras actividades en la Antártida.

Para resolver algunos de estos problemas, el grupo de trabajo del SCAR en la física y la química de la atmósfera está planificando un experimento, conocido como el FROST (Primer estudio regional de la troposfera), que realizará dos períodos especiales de observación, en julio de 1994 y enero de 1995, y el consiguiente análisis de los resultados. Los objetivos principales del FROST son evaluar las posibilidades actuales para utilizar los datos meteorológicos de la Antártida en esquemas operativos de asimilación numérica y determinar las deficiencias en la predicción relacionadas con la representación de los sistemas sinópticos y subsinópticos, la estructura de la capa límite y las características costeras y topográficas locales. Otros objetivos son: comprender mejor los procesos de la Antártida sinópticos y a mesoscala mediante el análisis de los datos locales y satelitarios y mejorar la obtención de productos geofísicos para la región a partir de los datos satelitarios. El éxito del FROST dependerá de un apoyo adecuado de los órganos pertinentes, operativos y de investigación de la Antártida, a medida que se desarrolle el plan.

Conclusión

Nuestro conocimiento de la atmósfera antártica ha evolucionado continuamente desde las primeras observaciones invernales que se hicieron en el continente, en cabo Adare en 1899. Sin embargo, a medida que aumentaba ese conocimiento, se vislumbraban otras fronteras del conocimiento nuevas y lejanas. Al igual que en otros campos de la meteorología, los satélites, los ordenadores y la teledetección están proporcionando los medios para las investigaciones futuras. Hay que esperar que los administradores nacionales de los recursos para los programas

de la Antártida continúen apoyando a las operaciones, los análisis y las investigaciones meteorológicas y que los científicos y estudiantes continúen considerándolos campos de estudio útiles.

Referencias

- ASTAPENKO, P. D., 1960: *Atmosfernye protessy v vysokikh shriotakh uizhnogo poluohariia* (*Atmospheric Processes at High Latitudes of the Southern Hemisphere*) Akad Nauk SSSR, Moscow. 286 pp. (Israel Program for Scientific Translations Jerusalem, 1964).
- CARLETON, A.M., 1992: *Synoptic Interactions Between Antarctica and Lower Latitudes*. Australian Meteorological Magazine (in press).
- GUYMER, L.B., 1978: *Operational Application of Satellite Imagery to Synoptic Analysis in the Southern Hemisphere*. Technical Report 24, Bureau of Meteorology, Melbourne, 83 pp.
- GUYMER, L. B. and J. F. LE MARSHALL, 1980: *Impact of FGGE Buoy Data on Southern Hemisphere Analyses*. Australian Meteorological Magazine, 28, 19-42.
- KIDSON, E ,1947: *Daily Weather Charts Extending from Australia and New Zealand to the Antarctic Continent*. Australasian Antarctic Expedition 1911-1914, Sci. Reports Series B, Vol. VII, Government Printing Office, Sydney, 31 pp and 365 charts.
- SIMPSON, G C ,1919: *British Antarctic Expedition 1910-1913*. Meteorology, Vol. 11—Weather Maps and Pressure Curves. Thacker Spink and Co., Calcutta, 138 pp.
- STEARNS, C. R. and G. WENDLER, 1988: *Research Results from Antarctic Automatic Weather Stations*. Rev. of Geophysics, 26,45-61.
- STRETN, N. A. and A.J. TROUP, 1973: *A Synoptic Climatology of Satellite Observed Cloud Vortices over the Southern Hemisphere*. Quart.Jour. R. Meteor. Soc., 99,56-72.
- STRETN, N. A. and J. W. ZILLMAN, 1984: *Climate of the South Pacific*. In: *Climates of the Oceans*. H. van Loon (Ed.). World Survey of Climatology, Vol. 15. Elsevier, Amsterdam, 263-429.
- VAN LOON, H., J. J. TALJAARD, T. SASAMORI, J. LONDON, D.V HOYT, K. LABITZKE and C.W. NEWTON, 1972: *Meteorology of the Southern Hemisphere*. Meteorological Monographs, American Meteorological Society, Boston, 263 pp.