

ciudad, que estaba esperando a verdaderos expertos y no a recién licenciados. Nuestra tarea era ayudar al personal municipal a luchar contra las inundaciones. Otros participantes eran miembros de los bomberos, cuya tarea era regular el nivel del agua abriendo o cerrando los desagües y manejando las palancas. De alguna manera, hacían la maniobra equivocada y las consecuencias eran las opuestas a lo esperado. Observé lo importante que era la cuestión de la supervisión y coordinación de esfuerzos en dichas operaciones, requiriendo una cuidadosa planificación, control y ejecución. A veces, un tema trivial, como el desayuno de los trabajadores, si se descuida, puede obstaculizar operaciones correctas. Aprendí que la disciplina es un requisito previo.

Otro acontecimiento estuvo asociado con el accidente de la central nuclear de Chernobyl. En 1987, el Congreso de la OMM decidió que la Organización debía poder proporcionar información meteorológica e hidrológica sobre un posible flujo transfronterizo de materiales peligrosos. La CHI pidió a sus miembros que hicieran contribuciones en esta área vital, y en respuesta a esta petición, visité la Agencia de Energía Atómica en Viena en marzo de 1988. El resultado de nuestras discusiones

fue que la OMM prepararía un manual sobre los aspectos hidrológicos de la contaminación accidental de masas de agua. Para esta tarea, se organizaron reuniones de expertos en Kíev en 1989 y en Viena en 1990. El resultado fue la publicación de un informe muy útil que proporciona la guía de los Servicios Hidrológicos y Autoridades del Agua. El estudio más integral trata de la contaminación radioactiva de masas de agua después del accidente nuclear de Chernobyl, que fue preparado por expertos. Considero este un acontecimiento importante de mi carrera, puesto que participé en un esfuerzo conjunto con expertos de Alemania, Hungría, Rusia, Suecia, el Reino Unido y los EE.UU.

H.T. — *Dr. Starosolszky, usted y yo nos hemos visto en el Secretariado de la OMM durante muchos años. Hemos intercambiado breves observaciones, estrechado las manos y tomado caminos diferentes. Esta entrevista ha sido la oportunidad de conocerle mejor a usted —y a su vida profesional. Me ha posibilitado observar la persona inteligente y trabajadora que es usted y a quien es imposible no admirar— y ha sido un placer.*

El Programa Alpino Mesoescalar

Por Philippe BOUGEAULT¹ y Peter BINDER²

El tiempo atmosférico intenso en cadenas montañosas importantes, como los Alpes europeos, ocasiona a la sociedad un alto coste en forma de inundaciones, tormentas de viento y amenazas para la aviación. El Programa Alpino Mesoescalar (MAP) es una respuesta comediada de la comunidad atmosférica e hidrológica internacional al desafío de mejorar el conocimiento y la predicción de tiempo atmosférico intenso en las zonas montañosas. Se inició en 1994 por parte del colectivo alpino y se aprobó en 1998 como el primer Proyecto de Investigación y Desarrollo del recién creado Programa Mundial de Investigación Meteorológica (PMIM) de la OMM.

Los objetivos del MAP son mejorar el conocimiento y la predicción de (a) los episodios de precipitación influenciada por la orografía y las inundaciones asociadas, que incluyen convección profunda,

precipitación frontal y escorrentía; (b) el ciclo de vida de los fenómenos relacionados con el foehn, los flujos canalizados por la orografía, la ruptura de ondas gravitatorias y la estela alpina en general; y (c) la capa límite turbulenta dentro de los valles alpinos.

El Período Especial de Observación del MAP (MAP-SOP) tuvo lugar del 7 de septiembre al 15 de noviembre de 1999. El SOP fue financiado por muchos servicios meteorológicos de Europa y América del Norte y por agencias científicas de los 14 países participantes, y la ayuda del PMIM de la OMM fue fundamental para obtener parte de esta financiación. Se ofreció apoyo particular a través de un proyecto dedicado de EUMETNET, mediante el que se financia la infraestructura central del MAP, es decir el Centro de Datos del MAP y la Oficina de Programa del MAP. El SOP se organizó en ocho Proyectos Científicos, llamados P1 a P8, que competían por acceder a los equipos e instalaciones principales. A continuación se ofrece un pequeño perfil de estos proyectos. Bougeault y otros

¹ Météo-France, Toulouse

² MeteoSwiss, Zurich



Una vista del aeropuerto de Innsbruck (Austria), con los aviones NCAR Electra y NOAA P3. Innsbruck acogió el Centro de Operaciones del MAP durante las 10 semanas del Período Especial de Observación.

(2001) han publicado un informe más completo del SOP.

El Proyecto P1 (Mecanismos de Precipitación Orográfica) trataba los mecanismos básicos de la producción o intensificación de la precipitación por medio de la topografía. Implicó estudios de la dinámica a pequeña escala de los sistemas de precipitación, incluidos los sistemas convectivos y su interacción con la topografía, y estudios de los mecanismos de crecimiento detallado de las partículas de precipitación.

El Proyecto P2 (Anomalías Incidentes de la VP en la Troposfera Superior) se centró en la dinámica de las grandes anomalías de vorticidad potencial que se aproximan a los Alpes desde el oeste a nivel de la tropopausa, llamadas también bandas de VP. Se investigó el papel de estas anomalías como precursores de precipitación severa en los Alpes, junto con su modificación por el calentamiento diabático debido a la precipitación alpina y la importancia de las estructuras de pequeña escala vistas en las imágenes de satélites de vapor de agua.

El Proyecto P3 (Medidas Hidrológicas y Predicción de Inundaciones) exploró las capacidades de predicción en tiempo casi real de los modelos hidrológicos de inundaciones, forzados por las medidas especiales de precipitación o por los modelos meteorológicos de mesoescala. Se examinaron en particular las pruebas de técnicas de control de la hume-

dad del suelo, la importancia de las condiciones iniciales de humedad del suelo y los efectos de la información sobre el almacenamiento hídrico en los pantanos de las compañías eléctricas.

El Proyecto P4 (Dinámica del Flujo Canalizado por la Orografía) investigó la distribución tridimensional de la velocidad en el Paso de Brenner y dentro del Valle de Wipp y su variabilidad temporal y espacial en relación con el flujo sobre las cimas de las montañas. Los datos tratan algunas cuestiones claves de la dinámica de flujos estratificados, tales como la posible formación de un salto hidráulico corriente abajo de la formación montañosa y las consecuencias de dicho salto.

El Proyecto P5 (Aspectos No Estacionarios del Foehn en un Valle Grande) trataba la variabilidad en cuatro dimensiones del flujo foehn en el Valle del Rin corriente arriba del Lago Constanza. Se investigaron varios procesos dinámicos que determinan la amplitud espacial, el carácter de la turbulencia y las variaciones temporales del foehn. Un desafío especial es determinar los procesos predominantes responsables de la eliminación del estancamiento frío presente frecuentemente en el valle, tales como la modificación de la masa de aire por radiación, o la erosión por interacción con el flujo de niveles superiores.

El Proyecto P6 (Ruptura Tridimensional de las Ondas Gravitatorias (ROG)) buscaba respuestas a las

cuestiones básicas relacionadas con la creación de la turbulencia en aire claro mediante la ruptura de ondas gravitatorias, tales como la distribución espacial y temporal de las ROG, la capacidad de predicción de las ondas gravitatorias por parte de los modelos de mesoescala, la distribución vertical de los flujos de momento en presencia de ruptura de ondas gravitatorias y la generación asociada de vorticidad potencial. También se utilizaron nuevas estrategias experimentales de observación, combinando la teledetección y las técnicas *in situ*. Las aeronaves de investigación fueron guiadas a las zonas de interés por medio de productos especializados obtenidos de los pronósticos de predicción numérica del tiempo (PNT) de alta resolución.

El Proyecto P7 (Bandas de Vorticidad Potencial) investigaba la estructura de alta resolución de la estela alpina en, o por debajo de, el nivel de la cima de las montañas. Los modelos numéricos sugieren que la estela está organizada en bandas de vorticidad potencial bien definidas, que se extienden corriente abajo a lo largo de varios cientos de kilómetros. Se documentó la existencia y la escala espacial a través de las corrientes de estas estructuras de flujo.

El Proyecto P8 (Estructura de la Capa Límite Planetaria (PBL) sobre Orografía Escarpada) buscaba respuestas a varias cuestiones extensas sobre la estructura de la PBL orográfica, tales como su profundidad y evolución, la distribución tridimensional de los flujos turbulentos dentro de un valle escarpado, la interac-

ción de la turbulencia de la PBL con los vientos locales y el intercambio de masa de aire y de componentes atmosféricos entre la PBL y la troposfera libre.

En cuanto a los sistemas terrestres, el MAP ha sido, probablemente, el mayor experimento de campo realizado nunca en Europa. Las actividades de campo se concentraron en tres zonas objetivo. La Zona Objetivo del Lago Mayor (LMTA) fue el centro de atención principal de los proyectos P1 y P3 (llamados Wet-MAP), y también de parte del P8. La Zona Objetivo de Brenner fue el centro de atención del Proyecto P4; la Zona Objetivo del Valle del Rin fue el centro de atención del Proyecto P5 y de parte del P8. Los demás proyectos (P2, P6 y P7) no estaban vinculados a zonas geográficas específicas, ya que dependían principalmente de medidas de aeronaves.

Las zonas objetivo fueron equipadas temporalmente con toda una serie de plataformas de observación desde tierra. Las facilitaron e hicieron funcionar muchas instituciones de investigación distintas de los países participantes. El Servicio Meteorológico Conjunto del Ejército Suizo se encargó del funcionamiento de cinco estaciones adicionales de radiosonda en el Valle del Rin. En la tabla de la pág. 17 se ofrece una breve visión general de la instrumentación experimental.

Un equipo internacional de 25 predictores que trabajaban a turnos en el Centro Principal de Operaciones (CPO) del MAP en Innsbruck realizaron las predicciones para las operaciones del MAP. Contaban con una variedad de productos de varios modelos de PNT de alta resolución, imágenes de satélite y de radar, para emitir predicciones diarias hechas a la medida de las necesidades de la planificación de la misión. También se disponía de apoyo a la predicción en el Centro de Operación de Proyecto (COP) de Milán, en especial para predicción inmediata.

Los servicios meteorológicos nacionales y regionales de los países alpinos realizaron un notable esfuerzo para responder a las necesidades de datos y de predicciones del MAP. Una ilustración de ello es la red de radares operativos y de investigación y la red de medidas de aire en niveles altos por medio de radiosondas y de perfiladores de viento. También fue impresionante y sin precedentes el intercambio en tiempo real de datos de superficie desde estaciones automáticas, que multiplicaron por 10 ó más, las necesidades normales del SMT. Todos estos datos ya están disponibles en el Centro de Datos del MAP sin restricciones.

También se facilitó a los predictores y a los científicos varios productos especiales durante el SOP. EUMETSAT activó para periodos de 24 horas barridos rápidos (cinco minutos) del satélite de reserva METEOSAT-6 sobre la región de los Alpes, a petición



En el Centro de Operaciones del Proyecto de Milán-Linate los científicos del Wet-MAP Bob Houze, Joel Van Baelen, Michel Chong y sus compañeros están ansiosos por realizar análisis en tiempo real de las observaciones. (Fotografía: P. Taburet, de Météo-France)



Una imagen fija del canal visible de la secuencia de barrido rápido del METEOSAT-6 del 20 de septiembre de 1999 (09:42 UTC) muestra que se está desarrollando una convección muy intensa de forma muy rápida sobre Italia. Después, ese mismo día, se dirigió por advección hacia las zonas objetivo del MAP. (Cortesía de EUMETSAT)

del CPO. Estos cubrían la mayor parte de los Períodos Intensivos de Observación (PIO). El DLR realizó una "Composición Alpina de Radar" especial con datos de todos los radares operativos alrededor de los Alpes. Se facilitaba a través de Internet en los 30 minutos siguientes a las observaciones. Por un acuerdo especial con la mayoría de las redes operativas de electricidad atmosférica, se transmitieron en tiempo real al ALDIS (en Viena) más datos de rayos. Se usaron para calcular localizaciones más precisas de las caídas de rayos en todos los Alpes combinando la información de las redes nacionales. Esta información se mostraba sobre el sistema operativo austríaco en el CPO y estaba a disposición de los predictores del MAP.

Por último, se ejecutó una serie especial de PNT para ofrecer predicciones de muy alta resolución en la

escala alpina. El modelo canadiense de mesoescala AES MC2 se ejecutó con una resolución horizontal de 3 km y forzado por las condiciones iniciales y de contorno obtenidas del modelo operativo de MeteoSwiss. El modelo se ejecutaba cada noche en el Centro Suizo de Computación Científica de Manno para el período comprendido entre las 21 UTC del día anterior y las 24:00 UTC (es decir, una ventana temporal de 27 horas). Se disponía de predicciones detalladas de precipitación, viento, turbulencia y vorticidad potencial en cortes transversales horizontales y verticales de interés y los científicos de la misión los utilizaban para optimizar los planes de vuelo del día. Una evaluación humana especial llevada a cabo por los predictores del grupo indica que se benefician de este tipo de predicción de modelos de muy alta resolución. La verifica-

Resumen de la instrumentación experimental durante el SOP

Aeronaves	2 de EE.UU., 1 del Reino Unido, 2 de Francia, 2 de Alemania, 1 de Suiza
Radares de precipitación	2 Doppler de barrido tridimensional 1 Doppler de barrido móvil 2 apuntando verticalmente
Lídar	2 Doppler de barrido tridimensional 2 apuntando verticalmente
Radiosondeos	Estaciones adicionales: 7 en la zona objetivo del Valle del Rin 4 en otros lugares
Perfiladores de viento	Red europea (CWINDE) Otros 3 en zonas objetivos
Globos de volumen constante	Trayectorias transalpinas
Estaciones de superficie	Más de 50 estaciones meteorológicas adicionales, torres, globos cautivos, cámaras de vídeo, estaciones de suministro de energía, medidas de estado del suelo, etc.

ción detallada de las predicciones del MC2 era un objetivo central de varios proyectos científicos. Además, se facilitó a los predictores y a los científicos del MAP, por medio de Internet, varias pasadas de modelos (p. ej., BOLAM, COAMPS, MM5, MC2 a baja resolución, etc.).

En resumen, se llevaron a cabo 17 PIO, sumando 42 días de actividad durante los 70 días del SOP. Al final del SOP se habían agotado todos los recursos disponibles (en términos de sondas, horas de vuelo, etc.). La evaluación estadística muestra que 1999 fue un

18

año muy bueno en lo que se refiere a la frecuencia y la distribución de episodios de tiempo relacionados con el MAP. Todos los fenómenos se produjeron con mayor frecuencia de la esperada, en relación a los promedios de los 10 últimos años.

Desde el final del SOP se ha mantenido un gran ritmo de actividad. Cuatro gestores de datos están trabajando en la actualidad en el Centro de Datos del MAP para incorporar los datos recibidos de distintos grupos de investigación en la base de datos del MAP, a los que cualquiera puede acceder mediante Internet. Los principales comités del MAP se reunieron en Eslovenia en mayo de 2000, en el marco de la reunión anual del MAP en Austria en septiembre de 2000 y en Alemania en mayo de 2001. Se han presentado los pri-



Uno de los hallazgos del Proyecto P1 es la presencia ubicua de los vientos de ladera descendentes en los valles durante los episodios de precipitación. El radar Doppler del avión NOAA P3 muestra aquí el flujo a 1 000 m sobre el nivel del mar en los valles de Toce y Ticino (en el norte de Italia). (Cortesía de O. Bousquet, de la Universidad de Washington)

meros resultados del SOP en varias conferencias (asamblea anual de la Sociedad Europea de Geofísica, reuniones del MAP, Conferencia de Meteorología de Montaña de la Sociedad Americana de Meteorología y Conferencia Internacional sobre Meteorología Alpina).

Se pueden obtener más detalles y acceder a los datos y a la información impresa en la dirección de Internet del MAP <http://www.map.ethz.ch>.

Referencia

BOUGEAULT, P., P. BINDER, A. BUZZI, R. DIRKS, R. HOUZE, J. KUETTNER, R. B. SMITH, R. STEINACKER y H. VOLKERT, 2001: The MAP Special Observing Period. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 82, 433-461.