

Referencias

- BENGTSSON, L., M. KANAMITSU, P. KÄLLBERG y S. UPPALA, 1982: FGGE 4-dimensional data assimilation at ECMWF. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 63, 29-43.
- COURTIER, P., E. ANDERSSON, W. HECKLEY, J. PAILLEUX, D. VASILJEVIC, M. HAMRUD, A. HOLLINGSWORTH, F. RABIER y M. FISHE, 1998: The ECMWF implementation of three dimensional variational assimilation 3D-Var. Part I: Formulation. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 124, 1783-1808.
- DERBER, J. y F. BOUTTIER, 1999: A reformulation of the background error covariance in the ECMWF global data assimilation system. *Tellus*, 51A, 195-222 pp.
- KALNAY, E., M. KANAMITSU, R. KISTLER, W. COLLINS, D. DEAVEN, L. GANDIN, M. IREDELL, S. SAHA, G. WHITE, J. WOOLLEN, Y. ZHU, M. CHELLIAH, W. EBISUZAKI, W. HIGGINS, J. JANOWIAK, K.C. MO, C. ROPELEWSKI, A. LEETMAA, R. REYNOLDS y R. JENNE, 1996: The NCEP/NCAR Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471.
- KÄLLBERG, P. y F. DELSOL, 1986: Systematic Biases in Cloud-Track-Wind data from Jet-Stream Regions. Recopilación de artículos presentados en el Simposio de PNT de la OMM y la IUGG, Tokio, 4-8 de agosto de 1986, p. 91.
- LORENC, A.C., 1981: A global three-dimensional multivariate statistical interpretation scheme. *Mon. Weather Rev.*, 109, 701-721.
- PLOSHAY, J.J., R. WHITE y K. MIYAKODA, 1983: FGGE Level III-b daily global analyses. Part I, II, III, IV. Informe ERL GFDL-1 de Datos de la NOAA, 278 pp., 285 pp., 285 pp., 282 pp.
- PLOSHAY, J.J., W.F. STERN y K. MIYAKODA, 1991: FGGE reanalysis at GFDL, *Monthly Weather Review*. Vol. 120, N.º 9, pp. 2083-2108.
- SIMMONS A.J. y A. HOLLINGSWORTH, 2002: Some aspects of the improvement in skill of numerical weather prediction. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 128, 647-677.
- SIMMONS, A.J., 2002: Development of the ERA-40 Data Assimilation System. Seminario sobre Reanálisis, 5-9 de noviembre de 2001. Serie de Informes del Proyecto ERA-40 del CEPMMMP, 3, pp. 11-30.
- TRENBERTH, K.E. y L. SMITH, 2004: The mass of the atmosphere: a constraint on global analyses. Presentado a *J. Climate*.
- UNDEN, P., 1989: Tropical data assimilation and analysis of divergence. *Mon. Wea. Rev.*, 117, 2495-2517.
- UPPALA, S., P. KÄLLBERG, A. HOLLINGSWORTH y S. TIBALDI, 1985: Results from two recent observing system experiments. Actas del Seminario Nacional sobre El Experimento Meteorológico Mundial, Consejo Nacional de Investigación.
- UPPALA, S., 1987: ECMWF Final Level IIIb Analyses: Analysis System Performance and Impact on Forecastats. Seminarios del FGGE, 27-30 de abril de 1987, Airlie House, Virginia.
- UPPALA, S., 2002: ECMWF Reanalysis 1957-2001, ERA-40. Seminario sobre Reanálisis, 5-9 de noviembre de 2001. Serie de Informes del Proyecto ERA-40 del ECMWF, 3, pp. 1-10.
- OMM, Comité Mixto de Organización, 1973: El Primer Experimento Mundial del GARP, Objetivos y Planes. Series de Publicaciones del GARP N.º 11.

227

Contribuciones de las observaciones de aeronaves al FGGE

Por Joel TENENBAUM¹

Las observaciones de aeronaves jugaron un importante papel durante el Primer Experimento Mundial del Programa de Investigación de la Atmósfera Global (GARP) (FGGE) y, en parte como resultado de la experiencia que se obtuvo ahí, han aumentado en importancia en los años posteriores. Las observaciones de aeronaves registradas manualmente, a veces en peligrosos vuelos especiales, datan de la década de 1930 (Hughes, 1970). Lo que cambió durante la década de 1970 fue la introducción de aeronaves de fuselaje ancho con precisos sistemas de navegación inercial que producían observaciones meteorológicas como un resultado rutinario. Se emplearon dos enfoques: la reco-

gida sistemática de AIREPS en tiempo real transmitidos manualmente y la captura posterior al aterrizaje de observaciones automáticas de los registradores de datos en vuelo (Krishnamurti, 1971). Poco después del Experimento Tropical del GARP en el Atlántico (GATE), Robert Steinberg (Steinberg, 1973), de la NASA, ofreció un análisis detallado de las implicaciones de la adquisición de datos automáticos de aeronaves. Su argumento era, en parte, la química atmosférica. El enfoque de la captura de datos automáticos se usó después con éxito durante el GATE (Julian y Steinberg, 1975). El cambio a la transmisión en tiempo real de observaciones automáticas vía satélite fue el siguiente paso lógico y condujo al programa ASDAR² (Fleming *et al.*, 1979

¹ Profesor de Meteorología e Informática Científica en la Universidad del Estado de Nueva York, Purchase, NY 10577.

² Sistema de retransmisión por satélite de datos de aeronaves.

(a); Sparkman *et al.*, 1981) con una importante financiación inicial de la NASA que era un componente explícito del FGGE. La idea clave era transmitir las observaciones a los servicios meteorológicos en tiempo real sin intervención humana. Lejos de América del Norte, este enfoque continuó durante los veinte años siguientes, utilizando entre diez y treinta aeronaves de hasta ocho aerolíneas diferentes.

Las principales dificultades del ASDAR eran la necesidad de equipos extras, hechos con ese fin, que implicaba costes en términos de adquisición, peso y fiabilidad (durante el FGGE estuvieron operativos sólo una media diaria de nueve conjuntos ASDAR). Rex Fleming, Director de la Oficina de Proyecto del FGGE de los EE.UU. y otras personas (Fleming *et al.*, 1979 (b)) fomentaron un enfoque alternativo, conocido en América del Norte como ACARS³ y en el resto del mundo como AMDAR⁴. Mientras que la mayoría de los datos de aeronaves del FGGE (entre 200 y 300 000 observaciones a lo largo de los cinco últimos meses del experimento) procedían de registradores de aeronaves procesados en el Centro Especial de Datos de Aeronaves de los Países Bajos, un efecto a largo plazo del FGGE fue el ímpetu para lograr que los programas mundiales ASDAR, AMDAR y ACARS de los EE.UU. se pusieran en marcha con firmeza. En América del Norte, este enfoque ha producido datos extremadamente densos⁵ y ha dado como resultado el funcionamiento horario de las predicciones del Ciclo de Actualización Rápida (RUC) del grupo de Stan Benjamin del Laboratorio de Sistemas de Predicción de la NOAA (Benjamin *et al.*, 2004; ahora se reciben unos 200 000 informes en menos de dos días). En Fleming (1996) se ofrecen más detalles del uso actual de las plataformas de aeronaves.

Los programas operativos del AMDAR que intercambiaban todos los datos a través del Sistema Mundial de Telecomunicaciones (SMT) de la OMM comenzaron en Australia en 1986 y en Europa y Nueva Zelanda a principios de la década de 1990. La OMM creó un Grupo AMDAR en 1998 para fomentar el AMDAR en todo el mundo y, a través de sus esfuerzos combinados ha conseguido aumentar el número total de observaciones de aeronaves difundidas por el SMT a unas 150 000 por día a finales de 2003 (un incremento del triple en comparación con las cifras de 1998). De este total, unas 30 000 observaciones provienen de fuera de la densa cobertura de los EE.UU., incluidas importan-

tes contribuciones de un programa europeo (E-AMDAR), y también de programas más pequeños como el de Sudáfrica, que se inició en 2001. El número de observaciones del AMDAR seguirá creciendo a lo largo del próximo año, más o menos, a medida que se amplíen y maduren los nuevos programas de Canadá, China, Hong Kong (China), Japón y Arabia Saudí. En los próximos años también se sumarán los programas que se están desarrollando en Oriente Próximo, Asia, América del Sur, África y Europa del Este.

El enfoque original de registrar datos en vuelo adoptado por primera vez en el FGGE también ha seguido siendo valioso fuera de Europa y de América del Norte, influyendo en las importantes inversiones que las aerolíneas han hecho para registrar todos los aspectos del funcionamiento de las aeronaves, incluidos los parámetros meteorológicos. *British Airways* registra en la actualidad más de un millón de observaciones diarias, sólo una pequeñísima fracción de lo que entra en el SMT. Tenenbaum (1991) utilizó estas observaciones para cuantificar los errores importantes de análisis de los vientos fuertes de la corriente de chorro en el Suroeste de Asia. Esos resultados dieron lugar a cambios operativos en el método del *Met Office* del Reino Unido para eliminar los sesgos (Rickard *et al.*, 2001). Por separado, se modificó el formato de difusión de predicciones de aviación para disminuir tanto el volumen de datos como el excesivo atenuamiento de los chorros fuertes que afectaban a los programas de planificación operativos de vuelos de aeronaves.

Más recientemente, los resultados de un experimento sobre los sistemas de observación (OSE) han puesto de manifiesto que las observaciones de ascenso y descenso del ACARS y del AMDAR tuvieron efectos sobre la precisión del CEPMP que justificaron importantes cambios en la serie de análisis variacional en cuatro dimensiones del CEPMP para permitir su inclusión en las predicciones operativas (Cardinali *et al.*, 2003). Así, se ha alcanzado ciertamente uno de los objetivos originales del FGGE para el uso eficaz y mundial de las observaciones de aeronaves en la predicción operativa. Por último, los esfuerzos continuados para medir el vapor de agua están todavía en marcha (Fleming, 2004).

Referencias

- BENJAMIN, S. G., D. DEVENYI, S. S. WEYGANDT, K. J. BRUNDAGE, J. M. BROWN, G. A. GRELL, D. KIM, B. E. SCHWARTZ, T. G. SMIRNOVA, T. L. SMITH y G. S. MANIKIN, 2004: An hourly assimilation-forecast cycle: the RUC. *Mon. Wea. Rev.*, 132, 495-518.
- CARDINALI, C., L. ISAKSEN y E. ANDERSSON, 2003: Use and impact of automated aircraft data in a global 4DVAR data assimilation system. *Mon. Wea. Rev.*, 131, 1865-1877.

3 Sistema de Direccionamiento e Informe para Comunicaciones de ARINC.

4 Adquisición y Registro de Datos Meteorológicos de Aeronaves.

5 Obsérvese la zona verde continua en <http://www.ecmwf.int/products/forecasts/d/charts/monitoring/coverage/>.

- FLEMING, R. J., 1996: The use of commercial aircraft as platforms for environmental measurements. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 2229-2242.
- FLEMING, R. J., 2004: Summary of atmospheric water vapor information from sensors on commercial aircraft. Informe de la FAA del 8 de marzo de 2004. Disponible en Internet en www.joss.ucar.edu/wvss/.
- FLEMING, R. J., T. M. KANESHIGE y W. E. MCGOVERN, 1979a: The Global Weather Experiment I. The observational phase through the first special observing period. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 60, 649-659.
- FLEMING, R. J., T. M. KANESHIGE, W. E. MCGOVERN y T. E. BRYAN, 1979b: The Global Weather Experiment II. The second special observing period. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 60, 1316-1322.
- HUGHES, P., 1970. *A Century of Weather Service*. Gordon and Breach, 212 pp.
- JULIAN, P. R. y R. STEINBERG, 1975: Commercial aircraft as a source of automated meteorological data for GATE and DST. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 56, 243-251.
- KRISHNAMURTI, T. N., 1971: Observational study of the tropical upper tropospheric motion field during the Northern Hemisphere summer. *J. App. Meteor.*, 10, 1066-1096.
- RICKARD, G. J., R. W. LUNNON y J. TENENBAUM, 2001: The Met Office upper air winds: Prediction and verification in the context of commercial aviation data. *Meteorol. Appl.*, 8, 351-360.
- SPARKMAN, J. K., Jr., J. GIRAYTYS y G. J. SMIDT, 1981: ASDAR: A FGGE real-time data collection system. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 62, 394-400.
- STEINBERG, R., 1973: Role of commercial aircraft in global monitoring systems. *Science*, 180, 375-380.
- TENENBAUM, J., 1991: Jet stream winds: Comparisons of analyses with independent aircraft data over southwest Asia. *Wea. Forecasting*, 6, 320-336.

El legado del FGGE para el sistema de observación de los océanos

229

Por M.J. COUGHLAN*, N.R. SMITH* y J.W. ZILLMAN*

Introducción

El Experimento Meteorológico Mundial, el FGGE (Primer Experimento Mundial del GARP), era parte del Programa de Investigación de la Atmósfera Global (GARP), que tenía objetivos tanto "meteorológicos" como "climatológicos". Uno de los cuatro objetivos específicos del FGGE era "orientar el diseño de un sistema óptimo de observación y predicción meteorológicas para la predicción meteorológica operativa que empleara, de manera continua, el conocimiento técnico y científico del Experimento" (Zillman, 1977). Pero, hace sólo 25 años, con el año operativo del FGGE en marcha y con el sistema de Boyas a la Deriva del Hemisferio Sur del FGGE ya como un éxito aclamado, estaba sólo empezando a reconocerse la importancia de las observaciones oceanográficas para la predicción meteorológica operativa, todavía no se apreciaba mucho el papel central de los océanos para dar forma a los modelos del clima mundial y el concepto de oceanografía operativa estaba en pañales.

A lo largo de los 25 últimos años han cambiado muchas cosas y es obvio que puede reconstruirse el enorme progreso que se ha logrado en las observaciones del océano, a través de iniciativas como el Sistema Mundial de Observación de los Océanos (SMOO; COI,

1998), y en el conocimiento del papel de los océanos en el clima (Siedler y otros, 2001), directa o indirectamente, hasta las iniciativas que tuvieron sus comienzos en el Experimento Meteorológico Mundial y, sobre todo, en el diseño y la aplicación del Sistema de Boyas a la Deriva del Hemisferio Sur del FGGE.

Fundamento para un sistema de observación del océano del FGGE

En la planificación inicial del FGGE, a principios de la década de 1970 (Comité Mixto de Organización, 1973) empezó a verse claro que, si se quería alcanzar el objetivo de un conjunto de datos detallado y completo de todo un año sobre el estado de la atmósfera mundial, había que hacer algo muy innovador y especial para llenar los inmensos huecos de datos meteorológicos en la mayor parte del hemisferio sur oceánico. Dada la imposibilidad de abarcar una extensión oceánica tan grande con observaciones de barcos y animados por el primer éxito con boyas a la deriva experimentales que transmitían presión superficial y temperaturas a satélites que también podían determinar su situación, los planificadores del FGGE propusieron el concepto de una red completa de boyas a la deriva para los océanos del hemisferio sur comprendidos entre 20° y 65°S. No sólo podía utilizarse para suministrar una cuadrícula de observaciones de presión superficial sino también, midiendo in situ las temperaturas de la superficie del

* Oficina de Meteorología de Melbourne, Australia.