

INFLUENCIA DE LAS OBSERVACIONES EN EL SISTEMA OPERATIVO DEL CEPMPM¹

Por Graeme KELLY

Introducción

El sistema de observación meteorológica mundial es extremadamente costoso y, en la actual situación económica están empezando a reducirse las observaciones convencionales, como los radiosondeos. Simultáneamente se está disponiendo de sistemas de satélites perfeccionados. La red de observación operativa, que emplea medidas tanto convencionales como satelitales, influye en la precisión con la que se puede describir el estado inicial de la atmósfera y, en gran medida, en la exactitud de la predicción resultante. Existe por tanto una urgente necesidad de investigar el peso de los diferentes sistemas de observación en el rendimiento de la predicción numérica del tiempo (PNT).

En este trabajo cuantificamos, mediante experimentos con el sistema de observación (ESO), la contribución de los principales sistemas operativos terrestres y satelitales a la predicción a plazo medio. En un ESO, la influencia de un sistema de observación específico se evalúa comparando la asimilación extensa de datos y las predicciones periódicas basadas en el sistema operativo completo con aquellas que se generan excluyendo el sistema de observación específico que se investiga. El valor de un sistema de observación nuevo o experimental puede evaluarse de manera similar.

En un estudio previo (Kelly y col., 1993) se llevaron a cabo una serie de ESO empleando el entonces sistema operativo del CEPMPM basado en la interpolación óptima (Lorenz, 1981). Emplearon un sistema de observación básico consistente únicamente en datos *in situ*, que abarcaban radiosondeos, partes AIREP y SYNOP, barcos y boyas. Los ESO se emplearon para evaluar la influencia de añadir al sistema básico sólo información satelital de temperatura y humedad (SATEM), sólo vientos por movimiento de nubes (SATOB), y SATEM más SATOB. Hallaron que añadir sólo SATEM o sólo SATOB mejoraba la predicción, pero que añadir ambos producía menos mejoría que añadir únicamente uno de esos sistemas

de observación. Esos insatisfactorios resultados desencadenaron una valoración del empleo de los datos en el sistema de E/S y ayudaron a tomar la decisión de desarrollar un sistema 3D-Var que pudiese analizar directamente las radiancias de la sonda operativa vertical Tiros (TOVS), junto con todos los demás datos. El propósito de este trabajo es repetir y ampliar los primeros experimentos, pero empleando, esta vez, el sistema de asimilación 3D-Var que se puso operativo a comienzos de 1996. Estos nuevos resultados, descritos en los siguientes epígrafes, demuestran que los sistemas de observación principales contribuyen de forma importante a las predicciones a plazo medio en el hemisferio norte, en los trópicos y en el hemisferio sur.

Diseño del experimento

Se realizaron dos series de ESO en períodos de diciembre de 1996 y de febrero de 1997. Esos experimentos emplearon el sistema operativo del 15 de mayo de 1997, que incluye una revisión de la función de costo subyacente del análisis variacional (Andersson y col., 1994, 1996; Bouttier, Derber y Fisher, 1997). En los primeros experimentos (Kelly y col., 1993) aparecieron problemas al emplear los SATEM en el hemisferio norte (Kelly y Pailleux, 1988). Como resultado, dichos datos satelitales fueron eliminados del hemisferio norte y de los trópicos hasta la introducción del 1D-Var (Eyre y col., 1993). La interpretación de los ESO no es siempre evidente. El valor de un sistema de observación se demuestra más fácilmente cuando un fenómeno energético, visto por un solo sistema de observación, acaece en la zona observada. Se incluye el estudio de un caso que lo demuestra.

Los nuevos experimentos ESO eliminaron sistemáticamente del sistema operativo completo los siguientes sistemas de observación:

- (a) los datos de radiancia clara de los satélites TOVS (NOTOVS);
- (b) los vientos del movimiento atmosférico geoestacionario (AMW) a partir de las nubes y del vapor de agua (NOAMW);
- (c) los datos de viento, temperatura y humedad de

los radiosondeos (NORAOB);

- (d) los vientos y temperaturas suministrados por aeronaves (NOAIREP);
- (e) la eliminación de la combinación de (a) y (b) (NOSAT).

Todos esos experimentos se han comparado con el sistema operativo completo (CONTROL).

Los resultados se han agrupado en dos secciones, la primera con las medidas satelitales y la segunda con las medidas aerológicas convencionales. Todas las estadísticas de verificación emplean el análisis operativo del CEPMPM. Se hallaron resultados similares para los dos períodos: 5 al 20 de diciembre de 1996 y 1 al 14 de febrero de 1997; por consiguiente ambos experimentos se han combinado para obtener un conjunto de valoración de las predicciones de 29 días.

Resultados

ESO satelitales

Se han incluido cuatro series de experimentos: CONTROL, NOTOVS, NOAMW y NOSAT. El dispersómetro ERS se ha incluido en todos los experimentos. Su influencia se discutirá en un próximo artículo.

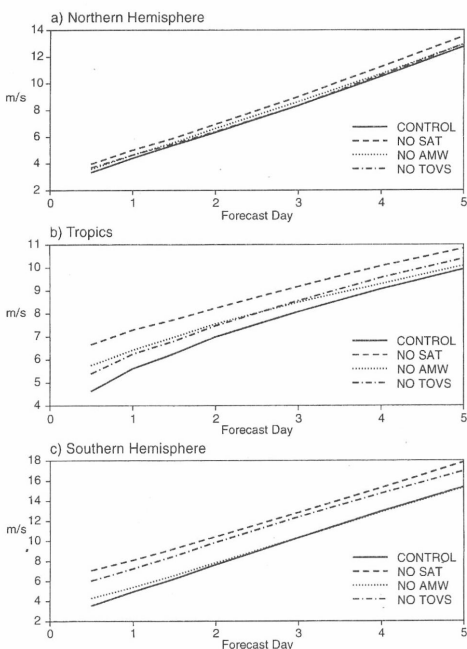


Figura 1 — Error cuadrático medio del vector viento previsto a 200 hPa mediante un ESO satelital para (a) el hemisferio norte; (b) los trópicos; y (c) el hemisferio sur

Influencia en el viento previsto a 200 hPa

Las predicciones aeronáuticas que usan los vientos a niveles altos son uno de los principales productos obtenidos mediante la PNT y por tanto se ofrece la gráfica del peso de los datos de satélite en los vientos a niveles altos. La figura 1 muestra la influencia absoluta de los datos satelitales y ésta varía, en el corto plazo, entre un tercio de día en el hemisferio norte y 1,5 días tanto en los trópicos como en el hemisferio sur. Los AMW tienen mayor valor en los trópicos pero dan una mejora significativa en el hemisferio norte. Los TOVS tienen una influencia significativa en los trópicos y una gran influencia en el hemisferio sur.

La figura 2 muestra la dispersión del error cuadrático medio (ecm) de los vientos previstos para el segundo día, frente a NOSAT y CONTROL. Casi todas las predicciones son positivas para CONTROL. En todos los casos CONTROL da un ecm menor y el mayor deterioro en la predicción NOSAT varía desde los 2 m s^{-1} en el hemisferio norte a los 5 m s^{-1} en los trópicos.

Influencia en la altura de 500 hPa prevista

La figura 3 muestra el comportamiento del modelo operativo de predicción del CEPMPM. Los puntos calculados son los de correlación de la anomalía de la altura del geopotencial de 500 hPa. El experimento NOSAT muestra una influencia negativa en todas las zonas. Este es un hallazgo importante pues a menudo se ha sugerido que no es posible demostrar el peso de los datos de satélite, especialmente en el hemisferio norte. El resultado comprende los datos de AMW y también los de radiancia clara de los TOVS. En el caso de los AMW existe una influencia positiva en el hemisferio norte que debe estar ampliamente influenciado por los trópicos, en los cuales se encuentra la gran masa de los datos. Sin embargo, los datos TOVS tienen sólo una pequeña influencia en el hemisferio norte, situándose su peso principal en el hemisferio sur, en donde mejoran la predicción a medio plazo hasta en un día y medio. Cuando se usan los datos TOVS, los AMW aportan poco beneficio adicional en el hemisferio sur. Cuando se eliminan los datos TOVS, los AMW tienen un peso positivo.

ESO de aerología convencional

Los experimentos incluidos en este grupo son:

- CONTROL, que emplea todos los datos;
- NORAOB, que excluye tanto los datos de viento como los de temperatura y humedad de radio-

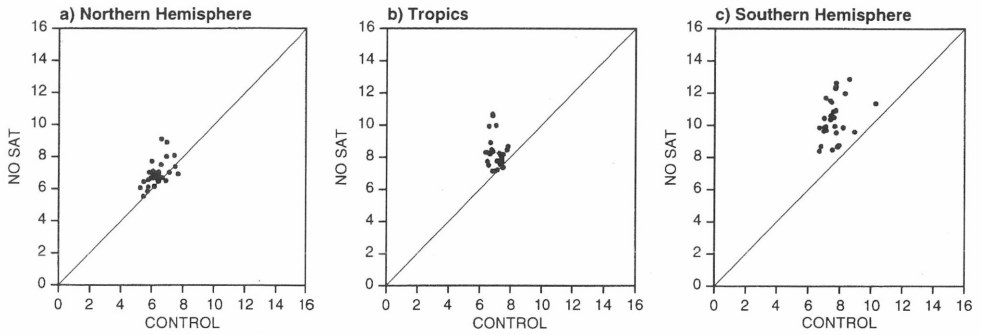


Figura 2 — Dispersión (CONTROL frente a NOSAT) del error cuadrático medio del vector viento previsto a 48 horas a 200 hPa mediante un ESO satelital para (a) el hemisferio norte, (b) los trópicos y (c) el hemisferio sur

sondeos; y

- NOAIREP que excluye las observaciones de aeronaves tanto de temperatura como de viento.

Con fines comparativos, el experimento NOAMW se considerará también en este grupo para evaluar la importancia relativa de los sistemas de observación de vientos AIREP y AMW.

Influencia en el viento previsto a 200 hPa

En la figura 4 se muestra la influencia sobre los vientos a 200 hPa. Como para los experimentos con sistemas de satélite, toda la verificación se basa en el análisis operativo del CEPMPM.

En el hemisferio norte los resultados están

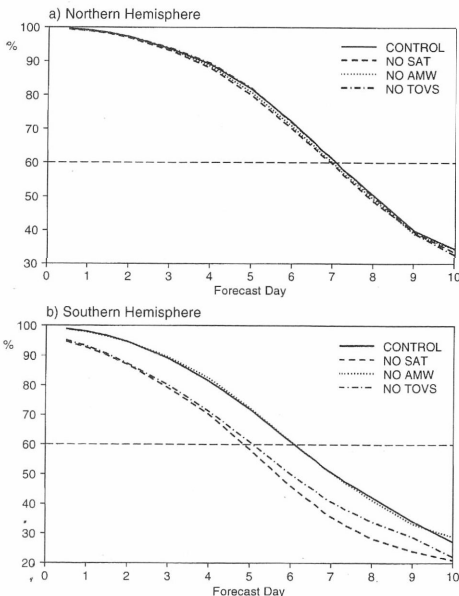


Figura 3 — Error de la correlación de la anomalía prevista de 500 hPa de un ESO satelital para (a) el hemisferio norte y (b) el hemisferio sur

dominados por los radiosondeos, con su exclusión (NORAOB) la exactitud de la predicción se reduce en un día. Los AMW y los AIREP tienen un efecto menor y pesos casi iguales, degradando cada uno de ellos la predicción en un tercio de día si se les omite.

En los trópicos, los radiosondeos y los AMW tienen una influencia comparable de cerca de dos tercios de día. Eliminar los AIREP tiene una influencia menor pero sigue siendo negativa. Actualmente hay pocos radiosondeos en los trópicos y su número se está reduciendo. Dicha reducción afectará negativamente a la pericia de la predicción.

Como vimos previamente, los datos TOVS dominan en su influencia sobre la predicción en el hemisferio sur. Su eliminación degrada la pericia de la predicción aproximadamente en un día y medio. La exclusión de los datos de radiosondeos en esa región reducen la exactitud de la predicción en un tercio de día y los AMW y los AIREP tienen sólo una pequeña influencia.

En la figura 5 se muestran los diagramas de dispersión de las predicciones a 48 horas CONTROL frente a NORAOB y casi todos los puntos muestran, en las tres regiones, un impacto negativo debido a la exclusión de los radiosondas. La mayor influencia del radiosondeo se da en el hemisferio norte y tiene una magnitud de aproximadamente 3 m s^{-1} .

Influencia en las alturas previstas

La figura 6 muestra los valores de la correlación de la anomalía a 500 hPa. En el hemisferio norte la exactitud de la predicción viene dominada por los radiosondeos sin los que la precisión de la predicción a cinco días se reduce en cerca de un día. Los radiosondeos tienen un impacto menor en el hemisferio sur. La influencia de los AMW y de los AIREP es algo menor pero es positiva.

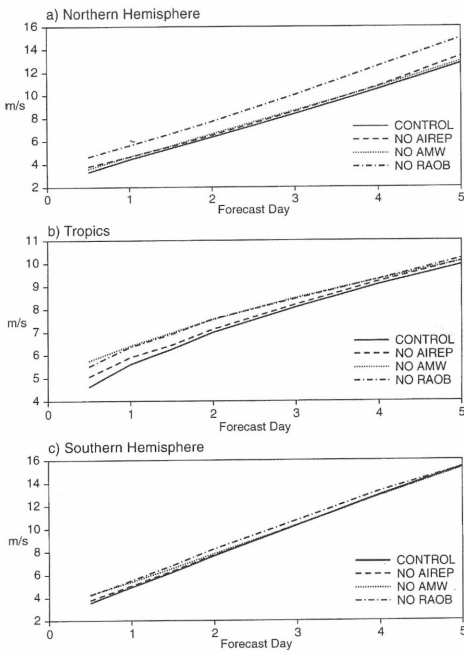


Figura 4 — Error cuadrático medio del vector viento previsto a 200 hPa mediante un ESO aerológico convencional para (a) el hemisferio norte, (b) los trópicos y (c) el hemisferio sur

Caso sinóptico

Tras la discusión de los datos objetivos es interesante fijarse en la influencia sinóptica. Se ha seleccionado un caso del experimento de febrero durante el cual se dio una fuerte ciclogénesis en el Atlántico norte. El punto de partida de dicha situación fueron las 12 UTC del 10 de febrero de 1997. Como vimos, los experimentos ESO de mayor peso son el NORAOB y el NOSAT y las predicciones basadas en ellos se han

comparado con el control y con el análisis de verificación operativo.

La figura 7 muestra las predicciones a 48 horas y los análisis de verificación. Se aprecian claramente grandes errores tanto en el NORAOB como en el NOSAT al sur de Terranova. Ambas predicciones fallaron al no profundizarse el sistema de bajas presiones, bien captado por el control. Para captar dicha evolución son necesarios tanto los radiosondeos como las observaciones de satélite. Otra región en la cual el experimento NORAOB se degrada aún más, en comparación con los demás experimentos, es el complejo sistema de bajas presiones que se extiende desde el Atlántico medio, sobre Escocia, y hacia el este del Báltico. En ese experimento el sistema es de intensidad mucho más débil que en el control o en el NOSAT. El sistema de bajas presiones de ese complejo cercano a Escocia resulta también pobremente pronosticado.

Si nos desplazamos hacia las predicciones a 96 horas, mostradas en la figura 8, el sistema de bajas presiones situado el segundo día al sur de Terranova se había movido hacia el noroeste y se había ahondado. La predicción de control brinda la mejor representación de dicho sistema de bajas presiones. Profundiza la baja considerablemente más que los demás experimentos, incluso aunque su presión en el centro sea demasiado alta y su posición tenga 2° de error. El conjunto de bajas presiones contemplado en las predicciones a 48 horas ha evolucionado ahora hasta cuatro sistemas principales de bajas presiones. Son evidentes considerables errores en la predicción NORAOB, causando una mala predicción para Europa. La predicción NOSAT es un poco mejor pero existe un gran error en el sistema al sur de Irlanda. En comparación, la predicción de control desarrolla muy bien ese sistema de bajas presiones.

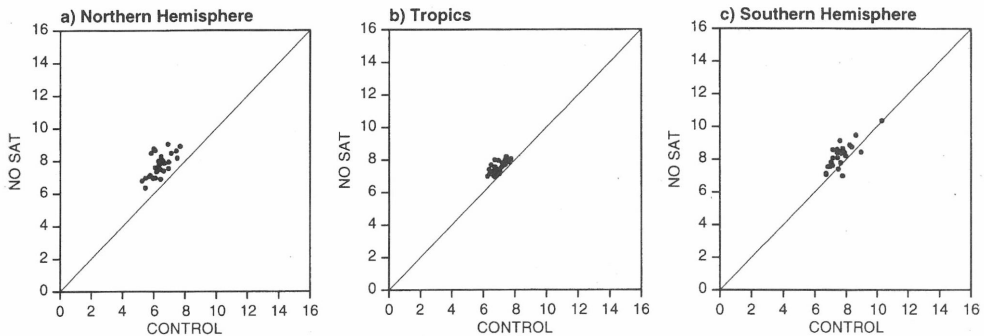


Figura 5 — Dispersión (CONTROL frente a NORAOB) del error cuadrático medio del vector viento previsto a 48 horas a 200 hPa mediante un ESO aerológico convencional para (a) el hemisferio norte, (b) los trópicos y (c) el hemisferio sur

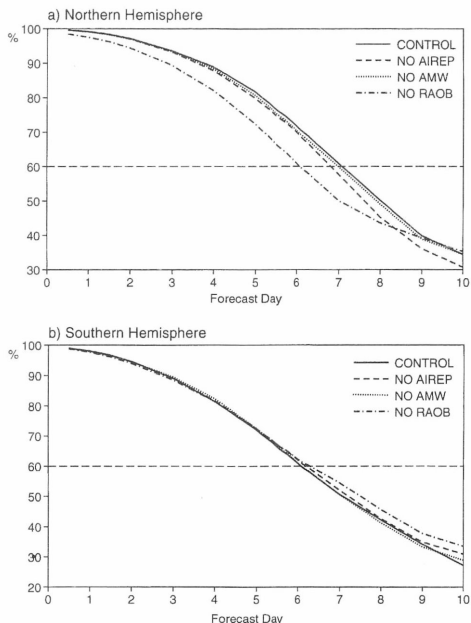


Figura 6 — Error de la correlación de la anomalía prevista a 500 hPa de un ESO aerológico convencional para (a) el hemisferio norte y (b) el hemisferio sur

Conclusiones y recomendaciones

En general, los resultados obtenidos de este conjunto de experimentos son alentadores. Se ha demostrado que el actual sistema operativo 3D-Var se beneficia con la asimilación tanto de los datos de satélites como de los de las observaciones convencionales y, hablando de forma general, su comportamiento en el hemisferio norte, en los trópicos y en el hemisferio sur es satisfactorio. Está claro que en algunas regiones existe un cierto grado de redundancia en el actual sistema de observación, pero es necesario tener cobertura en caso de fallos ocasionales de partes de los sistemas de observación. La inclusión de cada uno de los tipos de datos mejora, no obstante, casi siempre el sistema de predicción lo que no era invariablemente cierto en el pasado.

Los ESO satelitales muestran que los AMW tienen un influjo positivo, particularmente en el hemisferio norte y en los trópicos. Se están generando actualmente AMW de alta resolución espacio-temporal y debería comprobarse su influencia. Por contra, las radiancias claras de los TOVS resultan beneficiosas en el hemisferio sur y en los trópicos pero tienen poca influencia en el hemisferio norte. En esa región la red de radiosondeos es particularmente importante en la mejora de la exactitud de la predic-

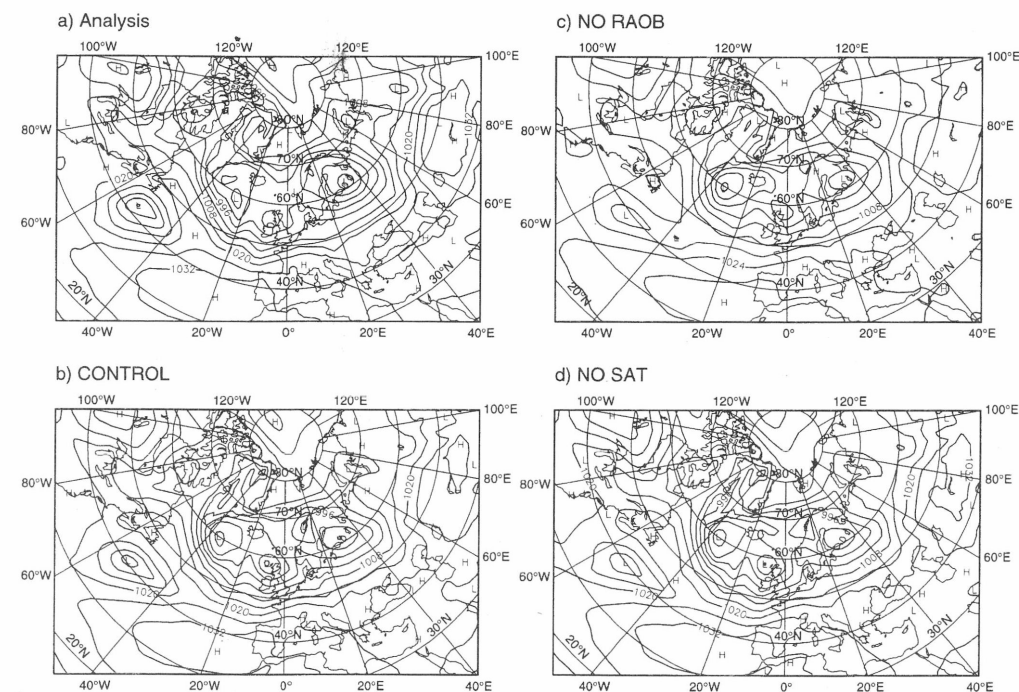


Figura 7 — Campos al nivel medio del mar válidos a las 12 UTC del 12 de febrero de 1997 para (a) el análisis operativo de la presión en superficie, (b) la predicción a 48 horas de un experimento control, (c) de un experimento NORAOB y (d) de un experimento NOSAT

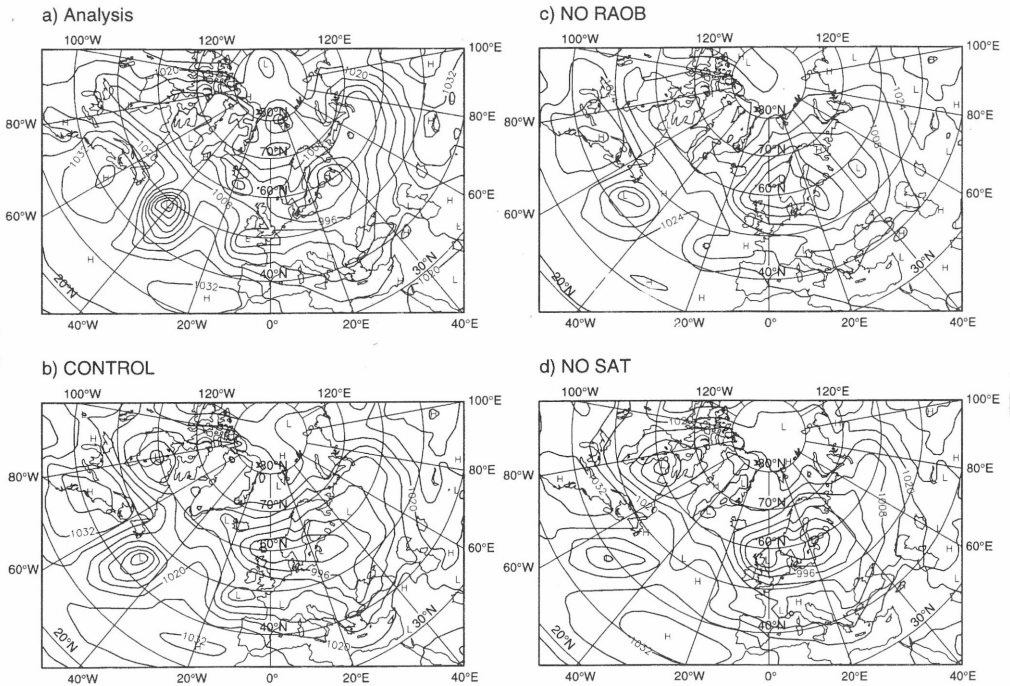


Figura 8 — Campos de nivel medio del mar válidos a las 12 UTC del 14 de febrero de 1997 para (a) el análisis operativo de la presión en superficie, (b) la predicción a 96 horas de un experimento control, (c) de un experimento NORAOB y (d) de un experimento NOSAT

ción. Sin embargo, si continúa la actual tendencia a reducir dicha red pronto se apreciará una disminución de la exactitud de las predicciones. El amplio peso de los TOVS en el hemisferio sur sugiere que incrementar su uso en el hemisferio norte puede volverse prioritario a causa del continuo debilitamiento de la red de radiosondeos. Finalmente, los datos de los TOVS dan un gran impacto positivo en los vientos tropicales, resultado no obtenido en experimentos anteriores.

Referencias

ANDERSSON, E., J. PAILLEUX, J.-N. THÉPAUT, J.R. EYRE, A.P. McNALLY, G.A. KELLY and P. COURTIER, 1994: Use of cloud-cleared radiances in three/four-dimensional variational data assimilation. *Q. J. R. Meteor. Soc.*, **120**, 627-653.

ANDERSSON E., J. HASELER, P. UNDÉN, P. COURTIER, G. KELLY, D. VASILJEVIC, C. BRANKOVIC, C. CARDINA, C. GAFFARD, A. HOLLINGSWORTH, C. JAKOB, P. JANSSEN, E. KLINKER, A. LANZINGER, M. MILLER, F. RABIER, A. SIMMONS, B. STRAUSS, J.-N. THÉPAUT and P. VITERBO, 1996: The ECMWF implementa-

tion of three dimensional variational assimilation (3D-Var). Part. III: Experimental results, submitted to *Q. J. R. Meteor. Soc.*

BOUTTIER, F., J. DERBER and M. FISHER, 1997: The 1997 revision of the Jb term in 3D/4D-Var. ECMWF Tech. Memo. No. 238.

EYRE, J.R., G.A. KELLY, A.P. McNALLY, E. ANDERSSON and A. PERSSON, 1993: Assimilation of TOVS radiance information through one-dimensional variational analysis. *Q. J. R. Meteor. Soc.*, **119**, 1427-1463.

KELLY, G.A. and J. PAILLEUX, 1988: Use of satellite vertical sounder data in the ECMWF analysis system, ECMWF Tech. Memo. No. 143.

KELLY, G.A., J. PAILLEUX, F. RABIER and J.-N. THÉPAUT, 1993: Observing System Experiments made with the ECMWF System. World Weather Watch Tech. Report. 16. WMO/TD No. 594.

LORENC, A.C., 1981: A global three-dimensional multivariate statistical interpolation scheme. *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 701-721.

□