

EL NUEVO ESQUEMA DE PARAMETRIZACIÓN DE LA CONDENSACIÓN EN HIRLAM

José A. García-Moya

Servicio de Modelización Numérica del Tiempo. INM.

RESUMEN

Desde su adopción como modelo operativo de predicción numérica del tiempo del INM, el modelo Hirlam ha tenido diferentes esquemas de parametrización de los procesos de condensación y, en particular, de los procesos de convección en la atmósfera. En la presente comunicación se presenta un nuevo esquema, el de Kain-Fritsch que se ha instalado en el modelo con vistas a su inclusión, cuando sea posible, en el sistema de referencia Hirlam. Se muestran los resultados obtenidos con él, tanto en casos de estudio de fuertes precipitaciones convectivas como en pasadas paralelas. Presentaremos resultados a diferentes resoluciones y comparaciones con el actual esquema operativo de Hirlam.

1. Introducción

La precipitación es uno de los parámetros más solicitados de los que normalmente se incluyen en los boletines de predicción. De la misma manera los predictores solicitan de los modelos numéricos cada vez mejores valores de la precipitación prevista, tanto en cantidad como en localización de los máximos. Aunque cada una de las partes de un modelo numérico influye en los resultados del mismo, en el caso de la precipitación, los resultados están directamente relacionados con los esquemas de parametrización de los procesos de condensación, tanto estratiformes como convectivos.

Existen infinidad de esquemas de parametrización de la convección, pero la mayoría están desarrollados para modelos usados en investigación y, por tanto, no dan mucha importancia al gasto que supone el esquema en términos de tiempo de cálculo. En el caso de modelos operativos como Hirlam, las limitaciones que es necesario tener en cuenta para incluir un esquema determinado en el modelo son: el tiempo de cálculo y que los resultados operativos sean mejores que los obtenidos con el esquema anterior (comparando con las observaciones).

En el modelo Hirlam, partiendo de un esquema de convección de tipo Kuo, se adoptó inicialmente el esquema de Sundqvist (Sundqvist et al 1989) cuya principal ventaja era la parametrización de los procesos de la microfísica de nubes (Sundqvist 1993). Posteriormente se realizaron modificaciones al esquema que trataron de subsanar los principales inconvenientes que tenía manteniendo sus ventajas. Apareció así el esquema llamado STRACO (Sass 1997) desarrollado por el servicio meteorológico de Dinamarca y que es el que actualmente se encuentra operativo en el INM.

Sin embargo, este esquema al ser también de tipo Kuo sufre de las desventajas de tales esquemas por lo que pronto se empezó a trabajar en la adaptación de un esquema más dirigido a los modelos de mesoescala, o sea, a modelos de resoluciones de hasta 5 Km. Se eligió el esquema de Kain-Fritsch (Kain y Fritsch 1990) Kristjansson para los procesos de convección y una recodificación de las ideas de Sundqvist para los procesos de condensación explícitamente resueltos por el modelo, esquema de Rasch-Kristjansson (Rasch y Kristjansson 1997). El conjunto de los dos esquemas forma el nuevo esquema de parametrización de los procesos de condensación que se está probando para el modelo Hirlam.

En este trabajo se presentan los resultados de aplicar el nuevo esquema a casos de estudio convenientemente elegidos para probar su habilidad en la predicción de precipitaciones convectivas intensas. Una vez asegurados mejores resultados con el nuevo esquema, se realizaron dos pasadas paralelas para asegurar igualmente la mejora en términos operativos. Se presenta aquí una selección de los índices de verificación más significativos.

2. El esquema de convección de Kain-Fritsch

El esquema de parametrización de los procesos convectivos de Kain y Fritsch (Kain y Fritsch 1990; Fritsch y Kain 1993) se basa en la hipótesis de que los procesos convectivos eliminan la energía potencial convectiva disponible (CAPE) en un cuadrado de rejilla y en un paso de tiempo. Las principales características del esquema es que se trata de un esquema de flujo de masa, o sea, plantea las ecuaciones de las tendencias temporales de las variables en forma de flujo. Además considera la condición de cierre del esquema en función de la CAPE y no de la convergencia de humedad en niveles bajos; esto disminuye la posibilidad de formación de tormentas de punto de rejilla y otras inestabilidades. Y, finalmente, como consecuencia de estudios observacionales más detallados considera la mezcla turbulenta con el ambiente (“detrainment”) restringida a los niveles más altos de la nube convectiva.

El esquema se formula de manera que conserve la masa, la energía térmica, la humedad total y el momento. Además considera el modelo unidimensional de corriente ascendente en la nube (updraft) del tipo “entrainment/detrainment plume”, una microfísica relativamente sofisticada y una parametrización de las corrientes descendentes (“downdrafts”).

El principal inconveniente del esquema es que el tiempo de cálculo es mayor que en los esquemas hasta ahora probados dentro de Hirlam. Este inconveniente no es muy importante debido al aumento de la capacidad de cálculo de los ordenadores moderno, pero, no obstante, será necesaria una optimización informática para intentar reducir el coste computacional.

No es objetivo de este trabajo dar una descripción muy detallada del esquema, ésta puede encontrarse en las referencias bibliográficas y en cualquier texto moderno sobre convección (Fritsch y Kain 1993; Emanuel 1994).

3. Casos de estudio

La validación de cualquier nuevo esquema de parametrización en un modelo numérico siempre empieza por su uso en casos de estudio, es decir, en situaciones en las que los resultados del modelo incluyendo el nuevo esquema se van a comparar con los del esquema antiguo. Estos casos de estudio deben ser, lógicamente, relevantes respecto del tipo de esquema que se va a probar. En nuestro caso como se trata de un nuevo esquema de convección, debemos considerar casos de estudio en los que la actividad convectiva en general, y la precipitación de origen convectivo en particular, sean muy intensas.

Para ello, hemos elegido tres casos de estudio que representan situaciones meteorológicas en las que las precipitaciones recogidas fueron de varios cientos de mm en pocas horas. El primer caso de estudio corresponde a una situación convectiva mediterránea sobre el SE de Francia (Vaison-La Romaine); el segundo también corresponde a convección mediterránea pero en este caso la convección se produjo sobre Valencia (Valencia); y, finalmente, el tercer caso corresponde a una situación de convección de tipo continental, o sea, con mayor forzamiento sinóptico. Se trata de la situación que produjo la inundaciones de Badajoz en 1997 (Badajoz).

Debido a las limitaciones de extensión del presente trabajo, la información presentada de cada caso será muy poca, pudiendo quién esté interesado en más información solicitarla al autor por correo electrónico (email: j.garciamoya@inm.es).

3.1 Vaison La-Romaine

Se trata de una típica situación de convección mediterránea, ocurrida en el SE de Francia el 22 de septiembre de 1992. Un frente frío se aproxima a la costa mediterránea desde el NW. Al forzamiento sinóptico de altura se une una corriente de viento en niveles bajos que alimenta la zona convectiva de aire cálido y húmedo. Como consecuencia se producen grandes núcleos convectivos que dan lugar a precipitaciones de más de 300 mm en pocas horas. En la Figura 1 se muestran las cantidades de precipitación recogidas en 24 horas en la zona de estudio.

Para diferenciar los efectos producidos por la orografía y por el nuevo esquema de convección se realizaron cuatro experimentos diferentes, uno a resolución de 0.5 grados y con el esquema antiguo (REF), otro a la misma resolución y con el esquema nuevo (KFK), y otros dos a resolución 0.25 grados, uno con el esquema antiguo

obs/vais hres 2206 2306n
 ACCUMULATED PRECIPITATION (MM)
 PMAX = 327 mm

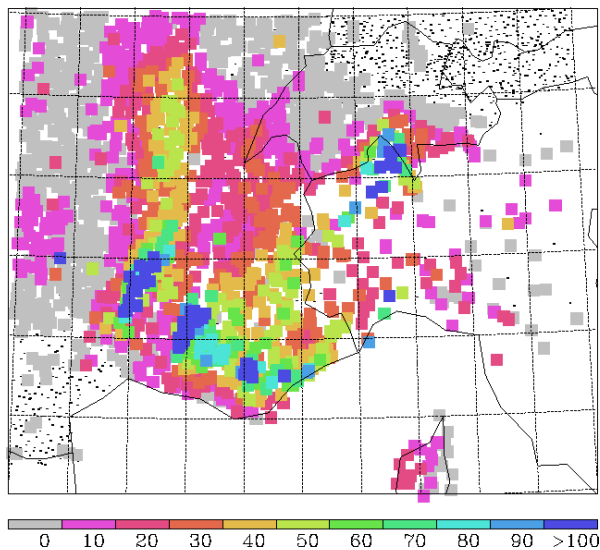


Figura 1. Precipitaciones recogidas en 24 el 22 de septiembre de 1992 (cortesía de MeteoFrance).

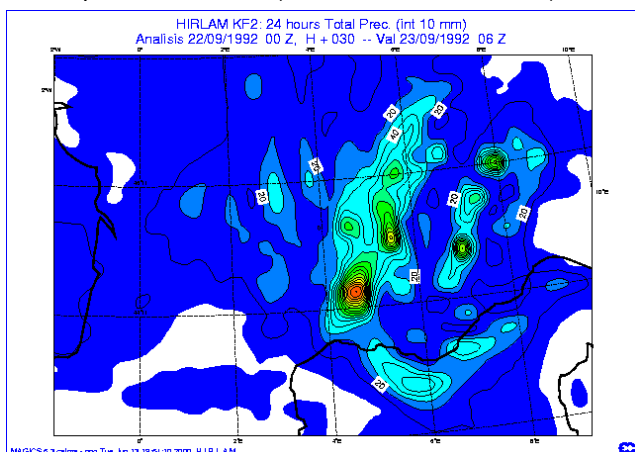


Figura 2. Precipitaciones en 24 horas del experimento KF2.

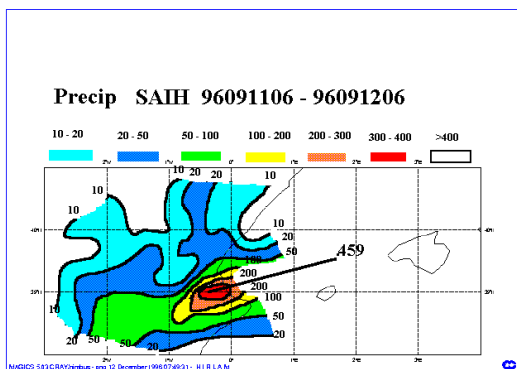


Figura 3. Precipitaciones recogidas en 24 horas por las estaciones del SAIH.

(H2G) y otro con el nuevo (KF2). Todos los experimentos se integraron a 30 horas para poder incluir todo el periodo en el que se recogieron las precipitaciones.

Los resultados de los experimentos (no mostrados aquí) demuestran que el principal factor que coloca la convección en el lugar en el que se produjo es la orografía de manera que la mejora en los resultados más espectacular se produce al aumentar la resolución horizontal, tanto con el esquema antiguo como con el de Kain-Fritsch. Las cantidades máximas pasan de 100 a 150 mm en 24 horas, y la localización de los máximos de adecua mucho más a las observaciones.

Los resultados con el esquema nuevo son ligeramente mejores que los obtenidos con el esquema antiguo, a las dos resoluciones. Sobre todo los resultados mejoran a la resolución de 0.25 grados, donde el máximo pasa de 150 a 160 mm, aunque la localización no varía.

Como ejemplo de resultados, la Figura 2 presenta la precipitación en 24 horas para el experimento KF2, o sea, el de alta resolución con el esquema de Kain-Fritsch.

3.2 Valencia

La situación de este caso de estudio se produjo el 10 de septiembre de 1996. Se trata de una típica convección de la costa mediterránea española en otoño. Una baja aislada en niveles altos (DANA) se colocó en el SW de la península, dando lugar a una fuerte difluencia sobre la costa mediterránea. De esta manera el forzamiento sinóptico produce una convección que, una vez más, se ve alimentada por un chorro en niveles bajos de aire cálido y húmedo proveniente del Mediterráneo. Esta convergencia de humedad en niveles bajos debido a la orografía costera produce un estancamiento de la

convección sobre el mismo lugar durante un periodo de tiempo anormalmente grande. Por este motivo estas situaciones producen precipitaciones tan grandes. En la Figura 3 se presenta un análisis manual de la precipitación recogida en 24 horas por la red de estaciones automáticas de la Confederación Hidrográfica del Júcar (los datos fueron proporcionados por el GPV de Valencia).

En este caso se realizaron los mismos experimentos que en el caso anterior para la alta resolución (H2G y KF2) y solo el de referencia para la baja resolución (REF). Los resultados (no mostrados en el texto) indican nuevamente que la mayor influencia es debida a la orografía, de manera que la colocación del máximo de precipitación mejora notablemente en los experimentos a alta resolución. Además el experimento con el

esquema de Kain-Fritsch aumenta el valor del máximo en 20 mm (hasta un valor de 90 mm en 24 horas). Naturalmente, el valor del máximo aún está muy alejado de los valores medidos. En la Figura 4 se presenta la precipitación en el mismo periodo obtenida del experimento KF2.

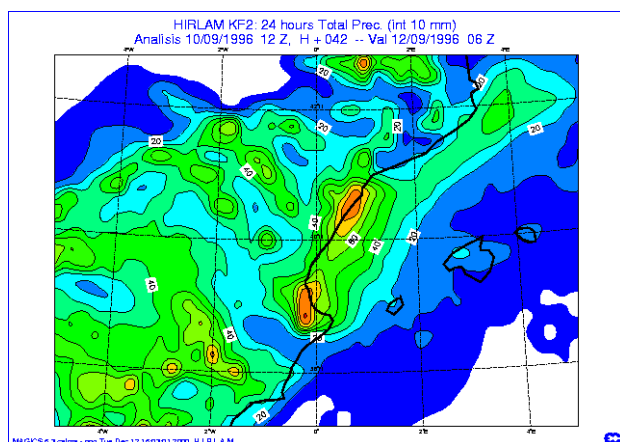


Figura 4. Precipitación en 24 horas del experimento KF2.

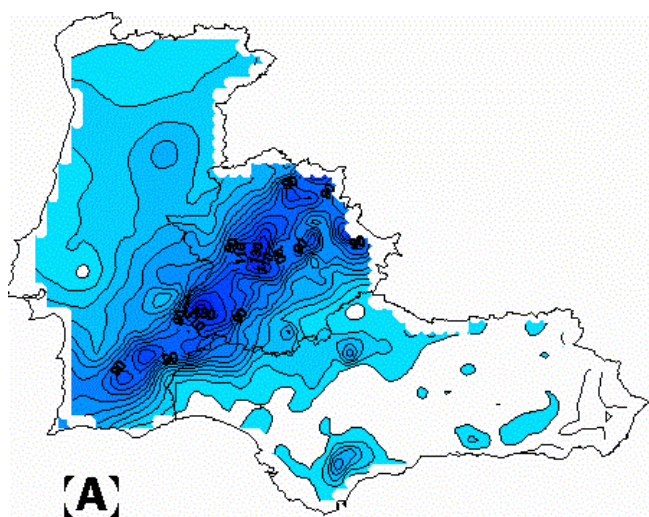


Figura 5. Precipitaciones en 24 horas el 7 de noviembre de 1997.

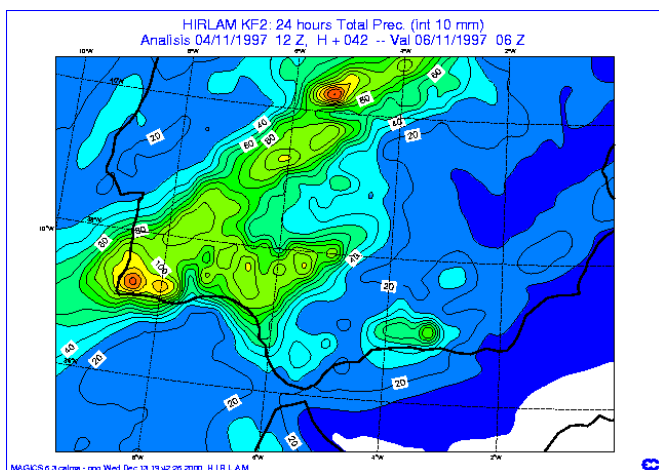


Figura 6. Precipitaciones en 24 horas del experimento KF2.

3.3 Badajoz

Durante los primeros días del mes de noviembre de 1997 se produjo una ciclogénesis muy intensa en la costa atlántica de la península. Una baja presión no muy profunda entro en España por la provincia de Badajoz sufriendo una profundización muy intensa en muy pocas horas. El proceso de inestabilidad baroclina produjo un forzamiento sinóptico muy importante que dio lugar a una convección muy activa en la zona. La liberación de calor latente debido a la convección, probablemente realimentó la inestabilidad baroclina y por esa razón la ciclogénesis fue tan intensa.

En este caso no se produjo una alimentación de la convección por aire cálido y húmedo, pero el efecto del esquema de convección del modelo numérico jugará un papel importante tanto en la colocación de los máximos de precipitación como en los valores centrales de presión de la baja.

Se repitieron los mismos experimentos que en el caso de Valencia (REF, H2G y KF2). En la Figura 5 se muestra la precipitación recogida en 24 horas por las estaciones tanto principales como secundarias de España y Portugal (máximos de más de 140 mm).

Otra vez el esquema nuevo mejora la colocación y las cantidades de precipitación de los máximos (hasta 150 mm en las mismas 24 horas, Figura 6). De la misma manera mejora notablemente la colocación y profundización de la borrasca, con 978 hPa de presión central (12 hPa en 12 horas).

4. Pasadas paralelas

Una vez asegurado que el nuevo esquema produce mejores resultados que el antiguo en situaciones meteorológicas de gran actividad convectiva, debemos asegurar también que produce mejores resultados que el sistema de referencia en situaciones normales de predicción. Esto se lleva a cabo con la realización de pasadas paralelas, es decir, se integran las dos versiones de Hirlam, la de referencia (esquema antiguo) y la que incluye el esquema nuevo, durante un periodo de dos semanas. Los resultados de la verificación operativa de los dos experimentos nos aseguran que el nuevo esquema no produce un deterioro en la conducta normal del modelo de predicción.

En nuestro caso hemos realizado pasadas paralelas

en dos periodos de quince días, uno en otoño de 1994 (del 1 al 15) y otro en primavera de 1995 (del 1 al 15 también).

A continuación presentamos de manera muy resumida los resultados de ambas pasadas paralelas.

4.1 Otoño 1994

Se trata de un periodo elegido porque predominó sobre España la actividad convectiva clásica de otoño. Entonces esperamos que el nuevo esquema de convección tenga mayores efectos sobre el sistema completo. Se realizaron integraciones a 48 horas cada 6 horas y cada experimento contó con su propio ciclo de asimilación.

Los experimentos son REF (resolución 0.5 grados y esquema antiguo), H2G (resolución 0.25 grados y esquema antiguo) y KF2 (resolución 0.25 grados y esquema nuevo). Como resumen de resultados mostramos en la Figura 7 los índices de verificación del geopotencial en altura. Las curvas rojas representan los resultados del experimento KF2, mientras las azules representan al H2G y las verdes al REF.

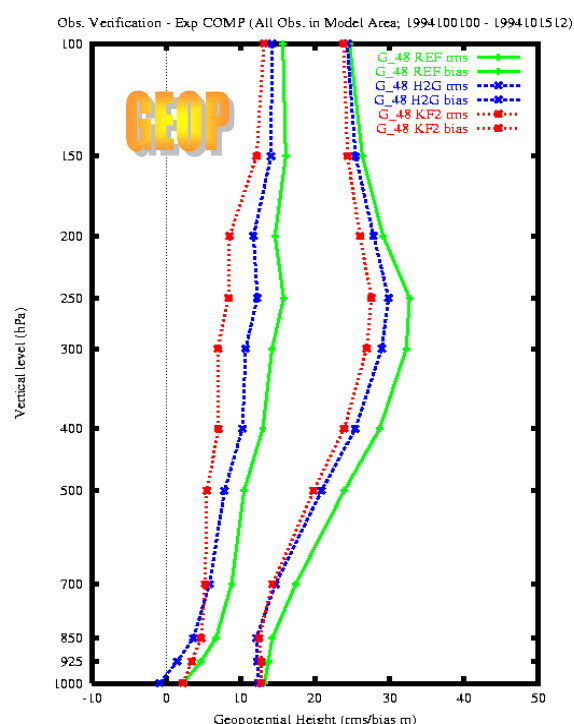


Figura 7. Índices de verificación del geopotencial en altura para el periodo de otoño

De esta gráfica puede deducirse que el nuevo esquema a alta resolución es el que da los mejores resultados. Naturalmente, los resultados en otros parámetros de altura y superficie no son tan espectaculares, pero en promedio puede afirmarse que el nuevo esquema de convección da mejores resultados que el antiguo, sobre todo en los parámetros de la Tropósfera media.

Como ejemplo de parámetro de superficie presentamos en la Figura 8 los índices de verificación para la humedad relativa a 2 m, representada respecto del alcance de la predicción (los códigos de colores son los mismos de antes). En este caso también los resultados del nuevo esquema son mejores que los del antiguo.

4.2 Primavera 1995

Como hemos señalad más arriba se trata del periodo del 1 al 15 de mayo de 1995. Es un periodo de primavera sin especial actividad convectiva. De esta manera los efectos del esquema de convección no tendrán tanta importancia como en el periodo de otoño.

En este caso solo se realizaron los experimentos de alta resolución, o sea, H2G con el esquema antiguo y KF2 con el esquema de Kain-Fritsch. En la Figura 9 presentamos los resultados de verificación del geopotencial en el periodo de primavera, puede observarse que los resultados del nuevo esquema son ligeramente peores que los del antiguo.

En la Figura 10 presentamos los resultados de la presión al nivel del mar, en este caso el experimento con el nuevo esquema da mejores resultados que el del antiguo, sobre todo en términos de error medio.

5. Conclusiones

Hemos presentado los resultados de un nuevo esquema de

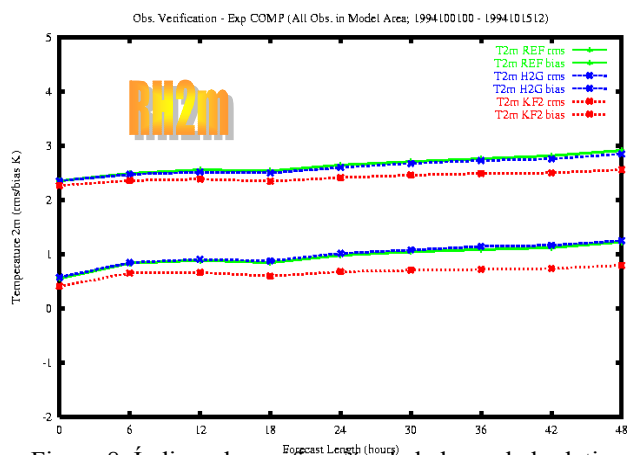


Figura 8. Índices de verificación de la humedad relativa a 2 m en el periodo de otoño.

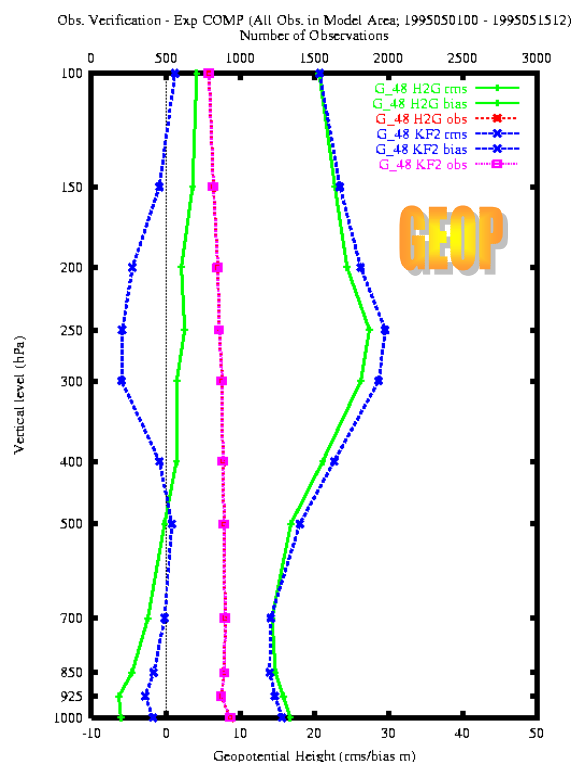


Figura 9. Índices de verificación del geopotencial en el periodo de primavera.

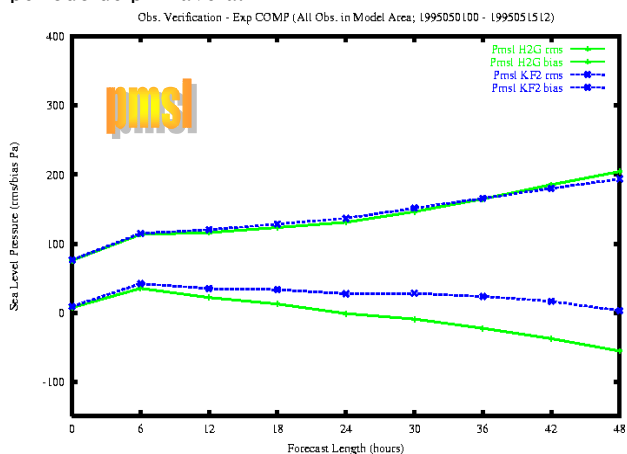


Figura 10. Índices de verificación de la presión al nivel del mar en el periodo de primavera.

Referencias

Sundqvist, H.,; Berge, E.,; Kristjansson, J. E., 1989: "Condensation and Cloud Parameterization Studies with a Mesoscale Numerical Weather Prediction Model". *Mon. Wea. Rev.*, **117**, 1641-1657.

Sundqvist, H., 1993: "Inclusion of Ice Phase of Hydrometeors in Cloud Parameterization for Mesoscale and Largescale Models, *Beitr. Phys. Atmosph.*, **66**,137-147.

Sass, B. H., 1997: "Reduction of numerical noise connected to the parameterization of cloud and condensation processes in the Hirlam model". *Hirlam Newsletter*, **29**, 37-45.

Rasch, P. J., Kristjansson, J. E., 1997: "A comparison of the CCM3 model climate using diagnosed and predicted condensate parameterizations". *J. Climate*, **11**,1587-1614.

parametrización de los procesos de condensación en el modelo Hirlam. El nuevo esquema lo forman el esquema de Kain-Fritsch para los procesos convectivos y una nueva formulación de las ideas de Sundqvist (esquema de Rasch-Kristjansson) para los procesos de condensación a gran escala y precipitación.

Como primera fase de las pruebas hemos escogido tres casos de estudio que representan situaciones meteorológicas típicamente convectivas (convección mediterránea y continental), en todos los casos el nuevo esquema da mejores resultados que el antiguo, tanto en cantidades de precipitación como en colocación de los máximos medidos.

Después hemos planteado dos pasadas paralelas de quince días cada una. En ellas todos los experimentos tienen su propio ciclo de asimilación y se hicieron predicciones hasta 48 horas cada 6 horas.

Uno de los periodos se escogió en otoño del 94 porque la actividad convectiva sobre la Península Ibérica fue bastante alta. De esta manera la influencia del esquema de convección debe ser mayor. El otro periodo fue en primavera de 1994 y en él no hubo prácticamente actividad convectiva.

De las verificaciones objetivas se deduce que la conducta de los dos esquemas es bastante similar, no obstante, en el periodo de otoño (con más actividad convectiva que el de primavera) los resultados del nuevo esquema son mejores que los del antiguo.

El nuevo esquema consume más tiempo de ordenador que el antiguo y como este parámetro es también muy importante para los modelos operativos, tenemos que intentar una optimización informática del esquema antes de introducirlo en el sistema de referencia de Hirlam.

Una vez concluidas estas pruebas el esquema se usará operativamente en la nueva versión del modelo Hirlam que estará operativa en el INM una vez que se adquiera el nuevo ordenador de supercomputación.

Kain, J. S., Fritsch, J. M., 1990: "A one-dimensional entraining/detraining plume model and its application in convective parameterization". *J. A. S.*, **47**, 2784-2802.

Fritsch, J. M., Kain, J. S., 1993: "Convective parameterization for mesoscale models: The Kain-Fritsch scheme". The representation of Cumulus convection in numerical models. AMS, Editores Kerry A. Emanuel y David J. Raymond, 159-164.

Emanuel, Kerry A., 1994: "Atmospheric convection". Oxford University Press, 580 pp.