

Comunicación D-12

SIMULACIONES HIRLAM DE UN CASO PYREX

Javier Calvo Sánchez

Servicio de Predicción Numérica (INM)

RESUMEN

Se realizan simulaciones con resoluciones de unos 50, 25 y 10 km de un caso típico de influencia de la orografía en el flujo atmosférico. Los experimentos se encuentran dentro del marco del proyecto COMPARE de intercomparación de modelos de mesoescala.

1. Introducción

Las montañas ejercen una influencia significativa sobre el flujo atmosférico cuyos efectos cualitativos son bien conocidos, pero todavía existen numerosas deficiencias en los modelos numéricos en el tratamiento de los efectos orográficos.

El desarrollo y la validación de los modelos numéricos necesita de experimentos de campo detallados, y éste fue uno de los motivos que llevaron a realizar el experimento PYREX (Bougeault y otros, 1993) de medida de la influencia de los Pirineos en el flujo atmosférico.

Por otro lado, el proyecto COMPARE (*Comparison of Mesoscale Prediction and Research Experiments*) pretende mejorar la predicción numérica en la mesoescala, y ha elegido como caso de estudio uno de los Períodos de Observación Interna (POI) del PYREX.

1.1 El proyecto COMPARE

Los principales objetivos del proyecto son 1) proponer y realizar experimentos de intercomparación de los modelos y sistemas de asimilación de datos para mejorar el conocimiento y la predicción de la mesoescala, 2) selección de temas que son de interés en la mesoescala y que pueden ser abordados mediante la experimentación numérica, y 3) establecer un amplio rango de casos de estudio que sirvan de banco de pruebas para los modelos numéricos utilizando bases de datos, sistemas de asimilación y análisis de alta calidad.

El primer experimento COMPARE es un caso típico de ciclogénesis marina explosiva, y ha sido organizado por *Environment Canadá*. El segundo experimento COMPARE está siendo coordinado por Mé-

téo-France y tiene como objetivo mejorar la comprensión y modelización de los efectos orográficos utilizando los datos del experimento PYREX, cuya fase de campo tuvo lugar en otoño de 1990. El caso de estudio es el **POI 3** que es un típico caso de onda de montaña.

El INM ha desarrollado una aportación importante al experimento PYREX y ha creído también conveniente participar en el segundo caso COMPARE.

1.2 Descripción general del caso

El **POI 3** se extendió desde el 14 de octubre a las 18 Z hasta el 15 de octubre a las 12 Z. La situación sinóptica (véase la Fig. 1) está dominada por una vaguada profunda acercándose a los Pirineos, con un flujo del SW a todos los niveles por encima de 800 hPa. Todo el sistema va desplazándose lentamente hacia el E y el viento va aumentando, siendo máximo en la mañana del día 15, con vientos de unos 15 m/s en 700 hPa, 20 m/s en 500 hPa y 40 m/s en la tropopausa.

Los máximos de viento en niveles bajos, del *di-ag* orográfico y de la onda de montaña también tienen lugar durante la mañana. Durante la tarde, decrece la intensidad del fenómeno, aunque se mantiene el flujo del SW en altitud.

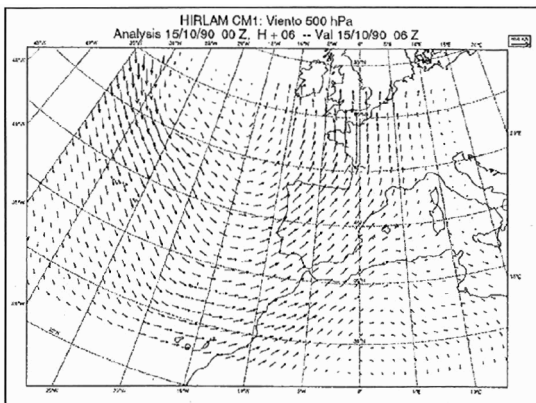


Fig. 1. Viento en 500 hPa el día 15 a las 6 Z

2. Descripción del modelo y de los experimentos numéricos

El modelo utilizado para las simulaciones es el HIRLAM, descrito en otra comunicación de este volumen (Díaz-Pabón, 1996). La versión utilizada es básicamente la operativa, adaptando la difusión horizontal. Se utilizan la parametrización de la turbulencia de Louis (1979) y la parametrización de los procesos de condensación de Sundqvist (Sundqvist y otros, 1989). En la vertical se consideran 40 niveles sigma (Fig. 2), con unos 7 niveles por debajo de los 1 500 m, y regularmente distribuidos en la atmósfera libre (con una separación de unos 500 m). En los últimos 10 niveles del modelo se ha considerado una capa absorbente, con la difusión aumentando con la altura, para evitar la reflexión espuria de ondas en el límite superior del modelo. La rejilla horizontal es regular en latitud/longitud y los dominios de integración son básicamente los de la Fig. 2.

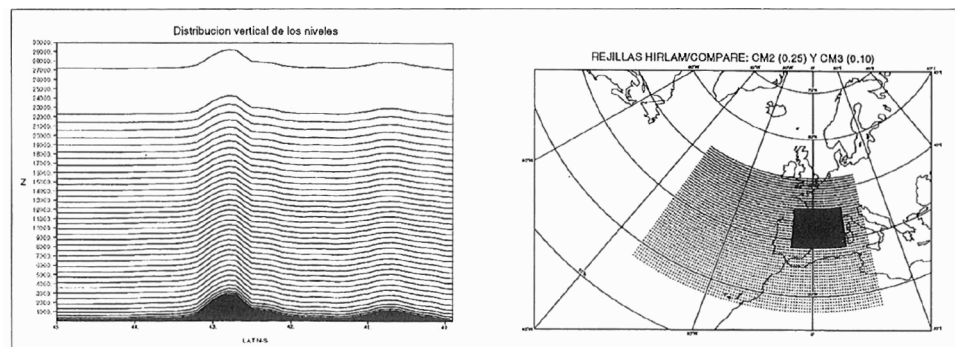


Fig. 2. Distribución de los niveles del modelo y rejilla horizontal para los experimentos con resoluciones 0,25 (dominio grande) y 0,10 (dominio pequeño) grados

Las condiciones de contorno y de partida (no se realiza análisis) se toman del reanálisis del ECMWF con truncación T213 y 31 niveles. Todos los experimentos comienzan el día 15 a las 00 Z y terminan a las 18 Z.

Se realizan experimentos de adaptación dinámica y de predicción, con distintas resoluciones. En los experimentos de adaptación dinámica los análisis se utilizan como condiciones de contorno en las fronteras del dominio pequeño, y no tendrán por tanto, errores de gran escala. En los experimentos de predicción, los análisis se utilizan en las fronteras del dominio grande, y las condiciones en la frontera no afectarán a la zona de interés.

Tabla 1

Descripción de los experimentos

Experimento	Resolución (grados)	Dominio de integración	Condiciones de contorno	Orografía	Tipo de experimento
CM1	0,50	grande	AN ECMWF	HIRLAM	predicción
CM2	0,25	grande	AN ECMWF	HIRLAM	predicción
CM3	Q,10	pequeño	PRED CM2	HIRLAM	predicción
CM4	Q,10	pequeño	AN ECMWF	HIRLAM	adaptación
CM5	Q,10	pequeño	AN ECMWF	COMPARE	adaptación
CM6	Q,10	pequeño	AN ECMWF	HIRLAM	adaptación

Los experimentos realizados se resumen en la Tabla 1. La orografía del modelo es una orografía media calculada a partir de la base de datos de la NOAA con una resolución de 5'. Para evaluar la influencia de orografía y de la rugosidad consideradas, se realiza un experimento con las versiones COMPARE de referencia de estas magnitudes. Esta orografía es una orografía *envelope* con 10 km de resolución (véase la Fig. 3).

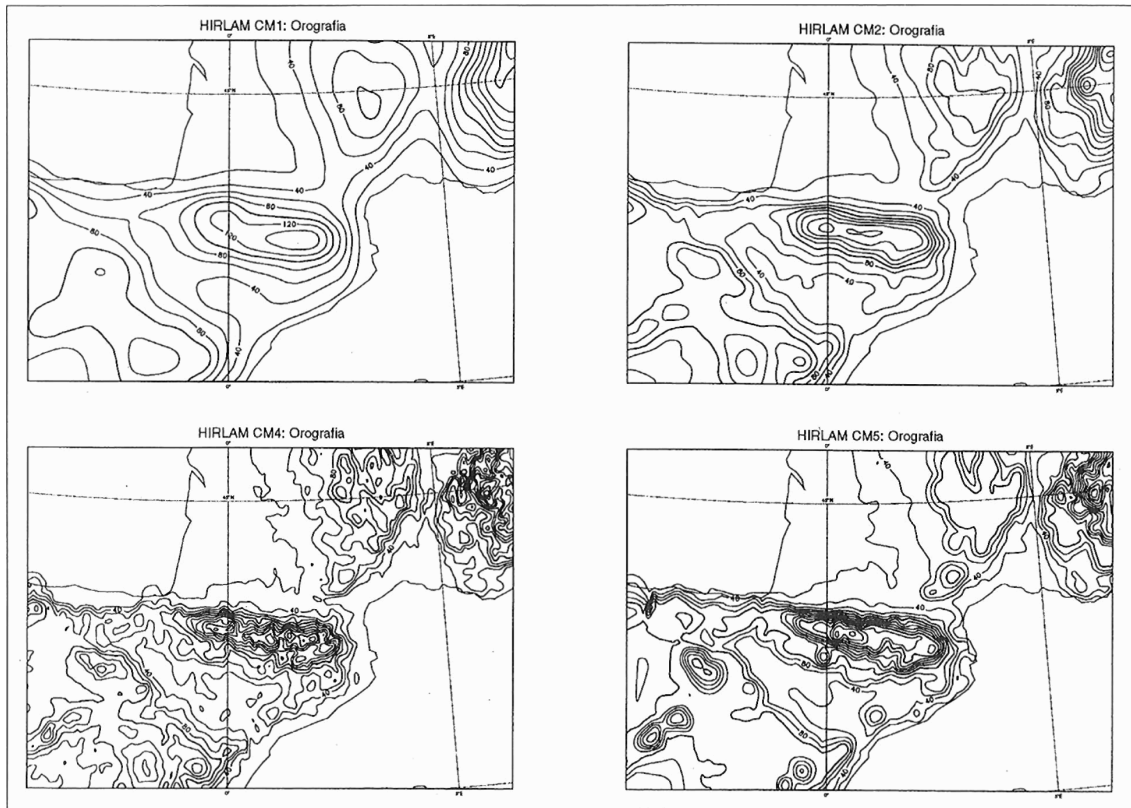


Fig. 3. Orografías utilizadas: 0,5, 0,25, Q,10 y 0,10 «envelope»

3. Resultados

Los resultados de las simulaciones son enviados al AES (*Atmospheric Environment Service*) canadiense y a *Météo-France*. Los canadienses llevarán a cabo una verificación sinóptica frente a los análisis. Sin embargo, en este caso la mayoría de los fenómenos de interés son inesoescalares y es por lo que *Météo-France* realizará una verificación frente a las observaciones del PYREX. Una primera evaluación de los resultados se da a continuación.

3.1 Efecto foehn

Tiene lugar un notable aumento de la temperatura y una disminución de la humedad. El inicio del efecto sigue un desplazamiento de W a E siguiendo el desplazamiento del sistema sinóptico como puede verse en la Fig. 5 de Bougeault y otros (1992). Al mismo tiempo se producen máximos de viento en algunas de las estaciones próximas a la montaña, alcanzándose rachas de 16 m/s en Lanneinezan, en el Pirineo central. Se alcanzan temperaturas mayores de 18 °C en todo el SW de Francia y mayores de 20 °C cerca de las montañas.

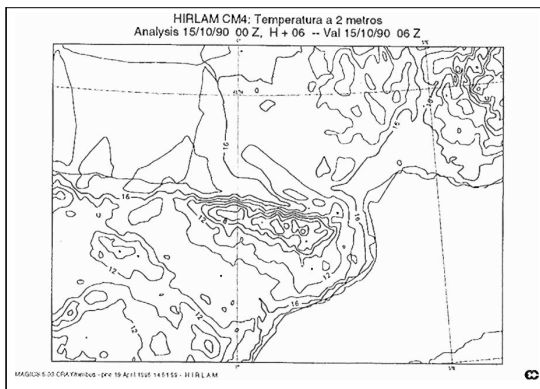


Fig. 4. Predicción de la temperatura a 2 m para el día 15 a las 6 Z

Las simulaciones de la temperatura y de la humedad a 2 m captan razonablemente bien la zona de influencia del efecto (Fig. 4), así como su desplazamiento hacia el E y hacia el N. No obstante, el máximo de las temperaturas, que tiene lugar en la zona occidental, se subestima y lo tiende a desplazar hacia la zona central de los Pirineos. El inicio del efecto tampoco está bien conseguido, en gran medida por tratarse de variables que no son inicializadas en el modelo.

Las simulaciones de temperatura y humedad cerca del suelo están fundamentalmente condicionadas por el ciclo radiativo, notándose un exagerado ciclo diurno en este experimento, en el que los efectos dinámicos son de la mayor importancia. Las predicciones son mucho mejores para estaciones algo alejadas de la montaña, en las que el ciclo diurno es más efectivo. Además estas variables notan muy poco los efectos de la resolución.

3.2 Vientos regionales

El dipolo orográfico y la canalización del flujo en niveles bajos dan lugar a un típico viento *Autan* en el área de Toulouse, que llega a alcanzar los 15 m/s. Es un viento del SE que está limitado por una fuerte inversión, por los Pirineos y por el Macizo Central francés. En el valle del Ebro también se produce un viento del SE, aunque más flojo. Al mismo tiempo, en el SW de Francia el viento es muy flojo debido al efecto de apantallamiento de la montaña. En la Fig. 5 puede verse la configuración de vientos regionales así como la comparación con una de las simulaciones.

Las direcciones del *Autan* y del SE del valle del Ebro se simulan correctamente aunque se subestima bastante la fuerza del *Autan* y se subestima algo su alcance hacia el NW. Por ejemplo, en las simulación CM4 para las 9 Z el máximo que tiene lugar al SE de Toulouse alcanza unos 7 m/s, mientras que en las observaciones llega a los 12 m/s. La zona de apantallamiento casi no se nota en las simulaciones debido a la subestimación de la orografía en el modelo. En este sentido, el experimento CM5, que utiliza la orografía *envelope*, capta mejor el apantallamiento producido por la montaña.

En el caso de los vientos se nota claramente la mejora al aumentar la resolución. Los experimentos con resoluciones 0,50 y 0,25 no ven en absoluto la zona de apantallamiento y subestiman mucho el *Autan*, además de no situar bien el máximo que se produce en la zona de Toulouse.

Los errores en las condiciones de contorno (al utilizar las predichas por el propio modelo, exp. CM3) se notan sobre todo en la parte W del dominio de integración y van propagándose hacia el E, pero no tienen una influencia significativa en la zona de interés por tratarse de una predicción corta.

En cuanto a la evolución del *Autan*, éste se mantiene aproximadamente constante hasta las 12 Z y luego disminuye algo su fuerza, a la vez que se nota un giro a S y SW en la parte occidental. El giro de vientos por la aproximación de un frente por el W queda bien simulado y la disminución del SE en el área de Toulouse casi no se nota.

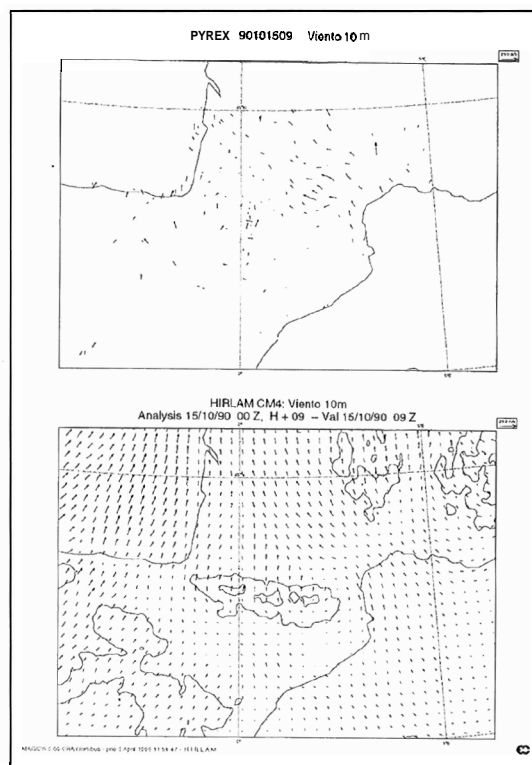


Fig. 5. Viento a 10 m a las 9 Z. Observación (arriba) y simulación del experimento CM4 (abajo)

3.3 Onda de montaña

La onda principal de montaña resulta bien simulada en los experimentos a 0,1 grados de resolución, aunque se subestima su amplitud. La onda, que se extiende hasta la baja estratosfera, tiene una ligera inclinación hacia barlovento y presenta un lento cambio de fase al subir en la troposfera. Se ve el efecto foehn asociado a la subsidencia que queda remarcado en el corte de velocidad vertical (Fig. 6).

La onda no aparece en el experimento CM1 y sí en el experimento CM2, pero con menor amplitud que en las simulaciones con 0,1 grados. Con la orografía *envelope* se consigue una ligera profundización de la onda. La resolución de las ondas secundarias a sotavento requeriría modelos no hidrostáticos con resoluciones horizontales de 2,5 km.

La evolución de la onda puede seguirse en la Fig 6. La onda se profundiza entre las 00 y la 06 Z, presenta un máximo sobre las 09 Z y va decreciendo a partir de las 12 Z. La misma evolución sigue el viento perpendicular a la montaña, que presenta un máximo en niveles bajos sobre la cima de la montaña, que se acentúa sobre las 09 Z y que va decreciendo por la tarde.

3.4 Procesos de condensación

Durante este POI, la masa de aire que alcanza los Pirineos es bastante húmeda y da lugar a diversas capas de nubes a barlovento, extendiéndose probablemente desde el suelo a la tropopausa. Sobre las crestas desaparecen las nubes, y a sotavento, reaparecen los altoestratos. En la Fig. 7 se presenta el corte vertical del contenido de agua de nube simulado para las 06 Z, que puede compararse con las medidas *lidar* desde aviones de la Fig. 15 de Bougeault y otros (1993). Las simulaciones reproducen razonablemente bien las observaciones, con la mayor nubosidad a niveles bajos a barlovento, y nubosidad entre 4 y 12 km a sotavento, aunque la nubosidad tiende a sobrepasar demasiado la línea de crestas.

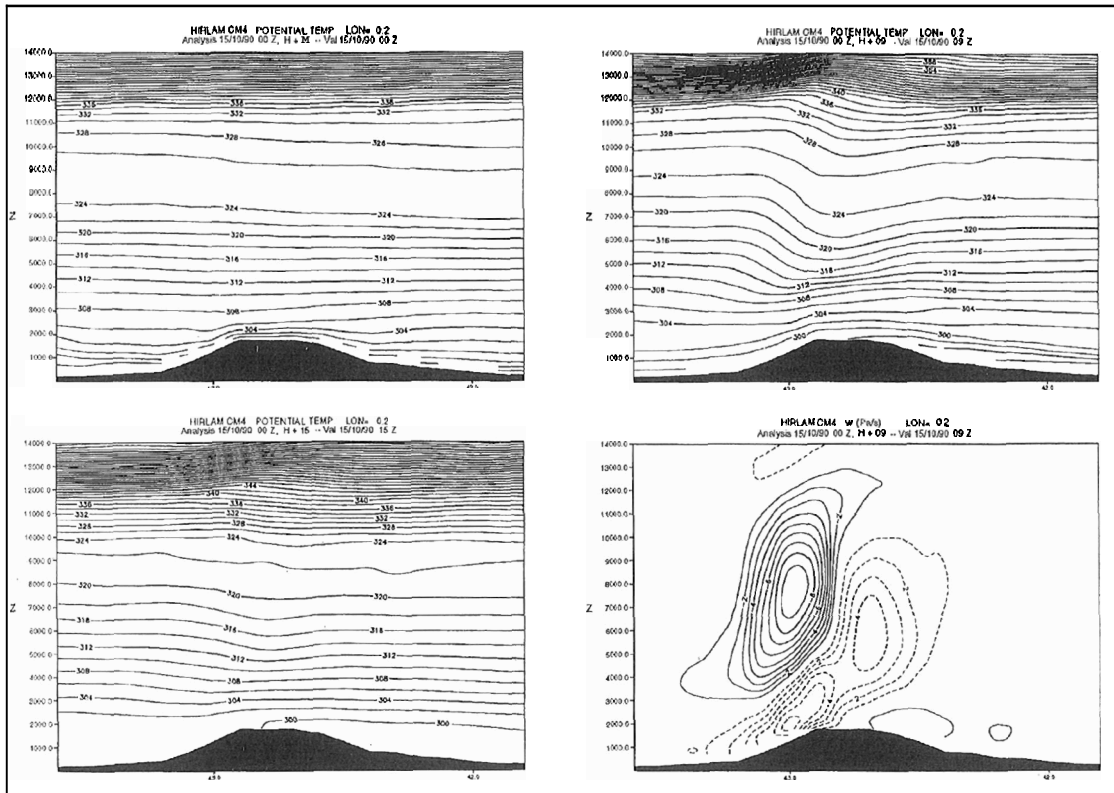


Fig. 6. Cortes verticales siguiendo un meridiano de 0,2 grados (parte central de los Pirineos, donde se concentraron la mayoría de las observaciones especiales del POI 3). Temperatura potencial a las 00, 09 y 15 Z, y velocidad vertical (Pa/s) a las 09 Z

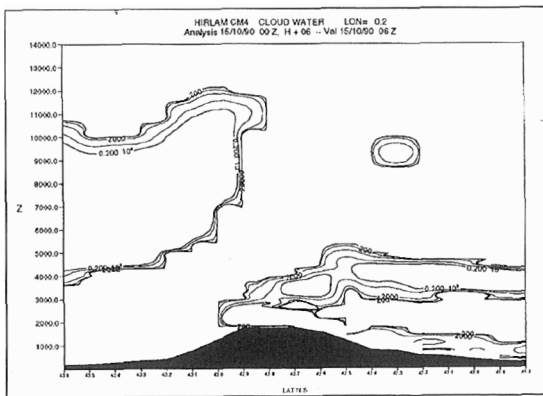


Fig. 7. Corte vertical del contenido de agua de nube para las 06 Z del día 15 siguiendo el meridiano 0,2 grados

En general, los experimentos a 0,1 grados tienden a exagerar la nubosidad ligada a la orografía, y se nota una inestabilización considerable al final del período (H+18) producida por la orografía.

Finalmente, un frente asociado a la vaguada alcanza la parte occidental de los Pirineos sobre las 12 Z, pero no existiendo ninguna evidencia de su paso posterior al norte de los Pirineos. La evolución del frente está bien captada en CM1 y CM2. En las simulaciones se nota un aumento de la precipitación al aumentar la resolución del modelo que resulta razonable al pasar de 0,5 a 0,25, pero que resulta excesivo al pasar a 0,10 grados. Las precipitaciones en 0,10 presentan un aspecto muy ruidoso con un aumento considerable de la precipitación ligada a las montañas y una notable inestabilización hacia el final del período de integración.

En las simulaciones de adaptación dinámica, la precipitación cerca de las fronteras se ve bastante alterada por el forzamiento de los campos a los valores de los análisis, y este efecto da lugar a la aparición de algunas estructuras no meteorológicas en el campo de precipitación en algún borde.

4. Conclusiones

Se han realizado simulaciones de alta resolución de un caso típico de onda de montaña y *Autan* en el contexto del proyecto COMPARE. Las simulaciones numéricas a resoluciones de unos 10 km son fundamentalmente experimentales para el modelo HIRLAM, y debe de seguir trabajándose para mejorarlas. Se ha visto la mejora en la predicción de los vientos, del dipolo orográfico y de la onda de montaña al aumentar la resolución, y se han constatado los problemas en la predicción de la precipitación. Mucha más información podrá extraerse de la verificación que *Météo-France* realizará frente a las observaciones del PYREX, especialmente de la evaluación del *drag* superficial y del flujo vertical de momento.

Parece que una de las mejoras que podría ser introducida en el modelo para mejorar la simulación de este tipo de fenómenos, es la introducción de una parametrización de la orografía subrejilla (Georgelin y otros, 1993). También sería muy adecuado la introducción de una parametrización de la turbulencia de orden superior. Las nuevas parametrizaciones de los procesos superficiales y la inicialización de los campos del suelo y de los niveles inferiores que pronto serán introducidas, también pueden conducir a una mejora en este tipo de predicciones. Por último, la parametrización de los procesos de condensación deberá ser sintonizada para escalas mesobeta, o quizás debería de introducirse un nuevo esquema que sea capaz de superar los problemas que tienen las parametrizaciones diseñadas para escalas mayores.

Referencias

Bougeault, P.; I. Beau y J. Stein, 1992: *Validation of meteorological models and parameterizations with observations of the PYREX field experiment. Validation of models over Europe, 7-11 September 1992, Reading. ECMWF.*

Bougeault, P.; A. Jansá; J. Attié; I. Beau; B. Bénech; R. Benoit; P. Bessemoulin; J. Caccia; J. Campins; B. Carissimo; J. Champeaux; M. Crochet; A. Druilhet; P. Durand; A. El Khalfi; P. Flarnant; A. Genovés; M. Georgelin; K. Hoinka; V. Klaus; E. Koffi; V. Kotroni; C. Mazaudier; J. Pelon; M. Petitdidier; Y. Pointin; D. Puech; E. Richard; T. Satomura; J. Stein y D. Tannhauser, 1993: *The atmospheric momentum budget over a major mountain range: First results of the PYREX field program. Annales Geophysicae, 11: pp. 806-819.*

Georgelin, M.; E. Richard; M. Petitdidier y A. Druilhet, 1994: *Impact of the subgrid scale orography parameterization on the simulation of orographic flows. Mon. Wea. Rev., 122. pp. 1306-1325.*

Díaz-Pabón, R., 1996: *Características generales del modelo operativo de análisis y predicción HIRLAM/INM. IV Simposio Nacional de Predicción (en este volumen).*

Louis, J. F., 1979: *A parametric model of vertical eddy fluxes in the atmosphere. Boundary Layer Meteorology, vol. 17. pp. 187-202.*

Sundqvist, H.; E. Berge y J. E. Kristjánsson, 1989: *Condensation and cloud parameterization studies with a mesoscale numerical weather prediction model. Mon. Wea. Rev. 117, pp. 1641-1657.*