

EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE DOS SISTEMAS DE PREDICCIÓN METEOROLÓGICA EN LAS COSTAS MEDITERRÁNEAS DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

Palau, J.L.⁽¹⁾, Pérez-Landa, G.⁽¹⁾, Fay, B.⁽²⁾, Neunhäuserer, L.⁽²⁾, Millán, M.M.⁽¹⁾

⁽¹⁾ Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM), Parque Tecnológico, C/ Charles R. Darwin - 14, 46980 PATERNA (Valencia), jlp@confluencia.biz

⁽²⁾ Instituto Meteorológico Alemán (Deutscher Wetterdienst), Research and Development – Air Pollution Modelling, 63067 Offenbach (Germany).

1. Introducción

Este trabajo muestra los resultados obtenidos en la comparación y evaluación de las capacidades predictivas del modelo numérico de predicción meteorológica Lokal Model (LM) y del modelo meso-meteorológico RAMS (Regional Atmospheric Modeling System). Este estudio comparativo se llevó a cabo conjuntamente por el Instituto Meteorológico Alemán (DWD) y por la Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM), en el contexto del proyecto Europeo FUMAPEX (Integrated Systems for Forecasting Urban Meteorology, Air Pollution and Population Exposure) entre 2002 y 2005.

La evaluación de las capacidades predictivas de ambos modelos se llevó a cabo en el entorno de las costas españolas de las provincias de Castellón y Valencia, mediante una serie de cinco simulaciones de 48 horas cada una, bajo condiciones anticiclónicas típicas del verano (del 26 al 30 de Septiembre de 1995).

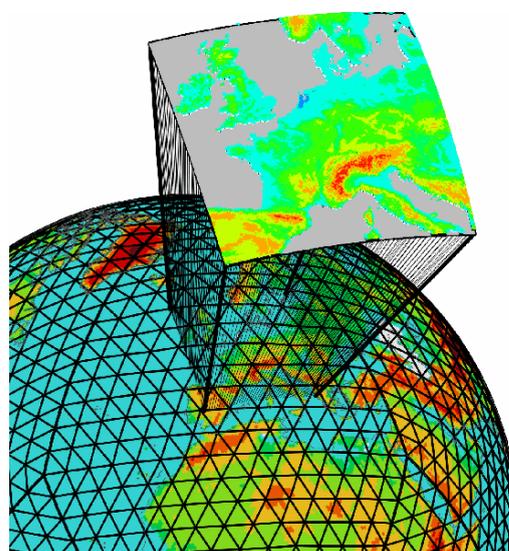


Fig. 1.- Anidamiento desde el modelo global GME al LM sobre Europa Occidental y Central.

	RAMS v. 4.3.0	LM v. 2.19
Inicialización de condiciones contorno	Datos de Reanálisis ERA (ECMWF)	Modelo operacional hidrostático global GME (DWD) con malla icosaedral-hexagonal.
Configuración dominios	Celdas: 121x101, 182x155, 146x156, 146x155 (figura 2)	Dominio operacional: Europa central y occidental (figura 1)
Espaciado de malla	Anidado 2-way: 40.5, 13.5, 4.5 y 1.5 km	Operacional: 0.0625° (~7km). Anidado 2-way a: 2.8 y 1.1 km
Configuración vertical	45 niveles. Espesor del primer nivel: 30 m	35 niveles. 10 niveles en los primeros 1500m

Tabla 1.- Resumen de las configuraciones empleadas por los modelos Lokal Model (LM) y Regional Atmospheric Modeling System (RAMS).

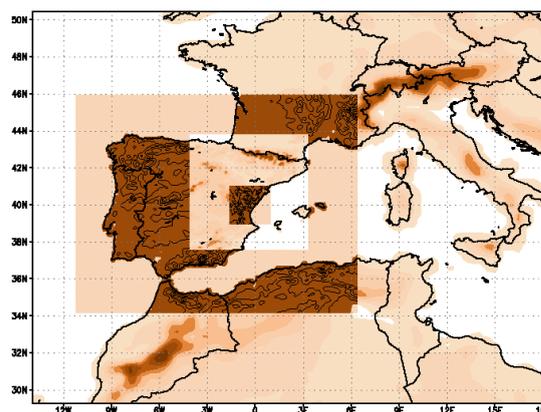


Fig. 2.- Anidamiento de cuatro mallas del modelo RAMS, centradas sobre las provincias de Valencia y Castellón

La cuenca aérea objeto de estudio se extiende desde la desembocadura del río Ebro hasta el Sur de la Ciudad de Valencia. Incluye, al Norte, parte de la

zona plana y semiárida de Calanda (a unos 100 Km. de la costa), diferentes sierras pertenecientes a la parte nororiental del sistema Ibérico y la Plana de Castellón. Esta planicie costera está delimitada al Norte por una cadena montañosa que tiene su altura más elevada en el monte Bartolo (780 m.), que se encuentra a tan sólo 6-7 Km. de la costa, siendo su vertiente mediterránea muy escarpada. Hacia el interior (Oeste), la Plana de Castellón se extiende 20-30 Km. tierra adentro. A esta distancia de la costa arrancan, en dirección SE, varios valles. Hacia el Sur, la Plana se prolonga en una franja de unos 10-15 km de anchura hacia el área del golfo de Valencia, donde los anchos valles de los ríos Túria y Júcar se funden en la amplia planicie Valenciana.

La complejidad topográfica de la región simulada, hace especialmente relevante la evaluación y la comparación de los dos modelos meteorológicos a la hora de diagnosticar circulaciones de mesoescala fuertemente determinadas por la orografía y por los intensos forzamientos térmicos asociados a regiones subtropicales (de latitudes medias).

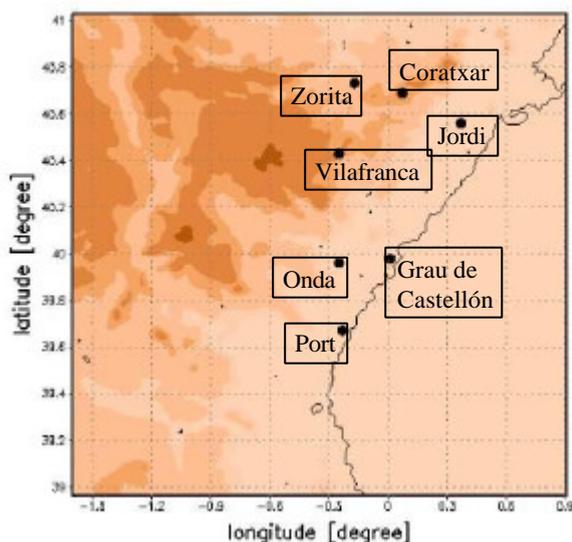


Fig. 3.- Pie de figura en Times New Roman 9

El análisis comparativo de ambos modelos se efectuó sobre la base del conocimiento previo de los procesos meteorológicos que en la zona rigen la dinámica troposférica (Millán et al. 2002). Basándose en ello, se compararon entre sí los resultados obtenidos con cada modelo a diferentes resoluciones espaciales y tanto en los campos horizontales como en los verticales (espaciado de malla horizontal a escala peninsular de 13.5 km en el RAMS y de 7 km en el LM; y, en los dominios de mayor resolución, 1.5 km en el RAMS y 1.1 km en el LM). Asimismo, se evaluaron los campos meteorológicos diagnosticados con los registros meteorológicos disponibles dentro de los dominios de mayor resolución de los modelos. Así, se

compararon las series temporales de viento (velocidad y dirección), temperatura y humedad en siete emplazamientos diferentes repartidos dentro de los dominios de mayor resolución simulados por ambos modelos.

Ambos modelos difirieron en el diagnóstico de aspectos mesometeorológicos relevantes en la predicción del campo de vientos y de la turbulencia (Millán et al., 2002), tales como la estructura de brisas combinadas, los drenajes nocturnos, las líneas de convergencia diurnas y nocturnas, etc.

2. Campo de vientos y de temperatura a escala Peninsular

Para identificar el escenario mesoescalar que determinó el episodio de contaminación atmosférica registrado durante los días seleccionados para hacer la comparación meteorológica entre ambos modelos, se compararon los campos horizontales y las temperaturas a dos metros sobre el suelo simulados por ambos modelos en los respectivos dominios que cubrían la totalidad de la Península Ibérica. La diferencias encontradas fueron analizadas como paso previo al análisis de las series temporales de los parámetros meteorológicos diagnosticados en los dominios de alta resolución (comparándolos con los registrados experimentalmente en las estaciones meteorológicas disponibles).

A pesar de la diferencia en la resolución espacial empleada en ambos modelos (7 km de espaciado de malla en el caso del modelo LM y 13.5 km en el caso del RAMS), no se encontraron grandes discrepancias en la estructura de los campos de vientos horizontales diagnosticados por ambos modelos. Ambos modelos reprodujeron las mismas características mesoescalares relevantes: líneas de convergencia a lo largo de las cadenas montañosas, áreas de subsidencia sobre los valles y sobre el mar (como consecuencia del desarrollo de las brisas diurnas).

No obstante, sí que se registraron desviaciones sistemáticas entre ambos modelos en los dos aspectos: las circulaciones diagnosticadas por RAMS están más ligadas a la topografía que las del LM, y hay un retraso del LM respecto de RAMS a la hora de activar las circulaciones de origen térmico.

Las diferencias entre los dos modelos son más evidentes al comparar los campos de temperatura a dos metros sobre el suelo a escala peninsular. Ambos modelos difieren en más de tres grados debido a diferencias en los balances radiativos parametrizados. A lo largo de los primeros cuatro días simulados (del 26 al 29 de Septiembre), y como patrón general, LM muestra mayores temperaturas durante el día que el RAMS y menores temperaturas durante la noche. Coincidiendo con la progresiva desestabilización atmosférica y el paso del frente

frío el 30 de Septiembre, este patrón general de la temperatura cambia entre los dos modelos. Así, a lo largo del 30, no existen diferencias significativas en el campo horizontal de temperaturas entre ambos modelos.

3. Campo de vientos y temperatura a alta resolución

En cuanto a las temperaturas diagnosticadas en las capas inferiores de la troposfera, y coherentemente con lo que ocurría a escala peninsular, entre ambos modelos se evidenciaron diferencias de hasta tres grados, achacables a los balances radiativos parametrizados en cada uno de ellos. Como patrón general, a dos metros sobre el nivel del suelo, el modelo LM alcanzó máximos más altos durante el día, y mínimos más bajos durante la noche, que los simulados por el modelo RAMS. El modelo LM tendió a predecir amplitudes térmicas mayores que las del modelo RAMS, sobrestimando las temperaturas máximas en todos los emplazamientos.

El modelo RAMS dio mejores resultados en las zonas costeras que en el interior, donde ambos modelos obtuvieron resultados similares. A modo de ejemplo, se presentan las series temporales de temperatura, velocidad y dirección del viento de dos emplazamientos (uno costero, Grau de Castellón y uno del interior, Coratxar). Las cinco simulaciones de 48 horas efectuadas entre los días 26 y 30 de septiembre se indican con líneas de diferentes colores en las series temporales que se presentan en esta comunicación. En negro se indica la evolución de las medidas experimentales.

En el caso de la evolución de la temperatura, los dos modelos reproducen bien la evolución cíclica (con periodicidad de 24 horas) de la temperatura, aunque cuantitativamente el comportamiento de ambos modelos es significativamente diferente (figuras 4 y 5), tal y como se pone de manifiesto al comparar las series temporales simuladas con los registros experimentales

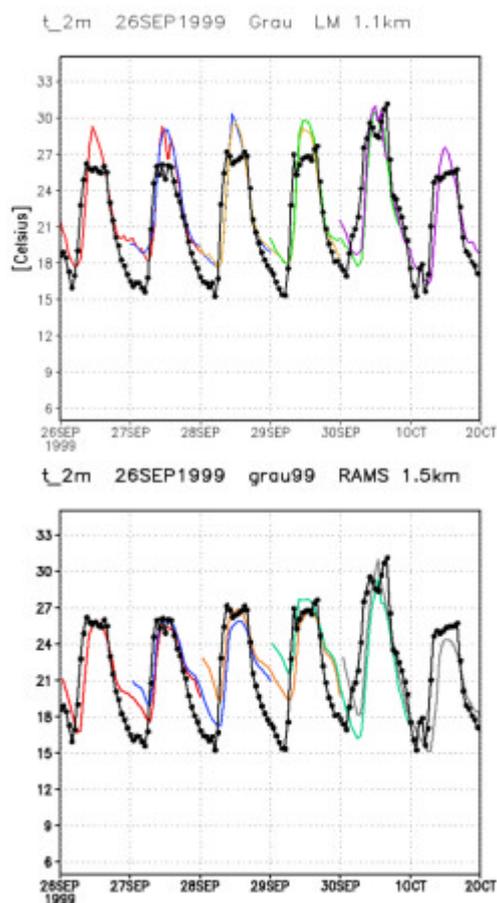


Fig. 4.- Serie temporal de la temperatura a dos metros sobre el nivel del suelo en el emplazamiento costero del Grau de Castellón. En negro, las medidas experimentales, en colores las cinco simulaciones consecutivas de 48 horas de duración. Arriba, LM; abajo, RAMS.

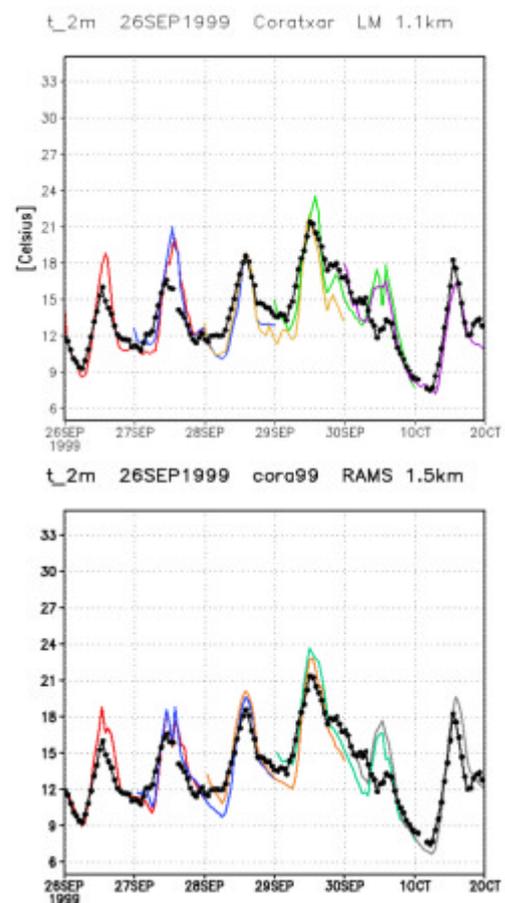


Fig. 5.- Serie temporal de la temperatura a dos metros sobre el nivel del suelo en el emplazamiento de interior de Coratxar. En negro, las medidas experimentales, en colores las cinco simulaciones consecutivas de 48 horas de duración. Arriba, LM; abajo, RAMS.

Por otro lado, ambos modelos reprodujeron bien el descenso de temperatura experimentado el día 30 de Septiembre debido al paso de un frente frío.

Con relación a los campos de viento horizontales, en este ejercicio de evaluación se compararon tres aspectos meteorológicos: (a) el desarrollo de las brisas diurnas y la estructura del campo de vientos horizontal, (b) los drenajes nocturnos (y las canalizaciones por los pasos naturales), (c) el paso de un frente frío durante el 30 de septiembre.

Al comparar las estructuras resultantes por ambos modelos en los dominios de mayor resolución espacial, se han identificado importantes diferencias en las estructuras del campo de vientos diagnosticadas.

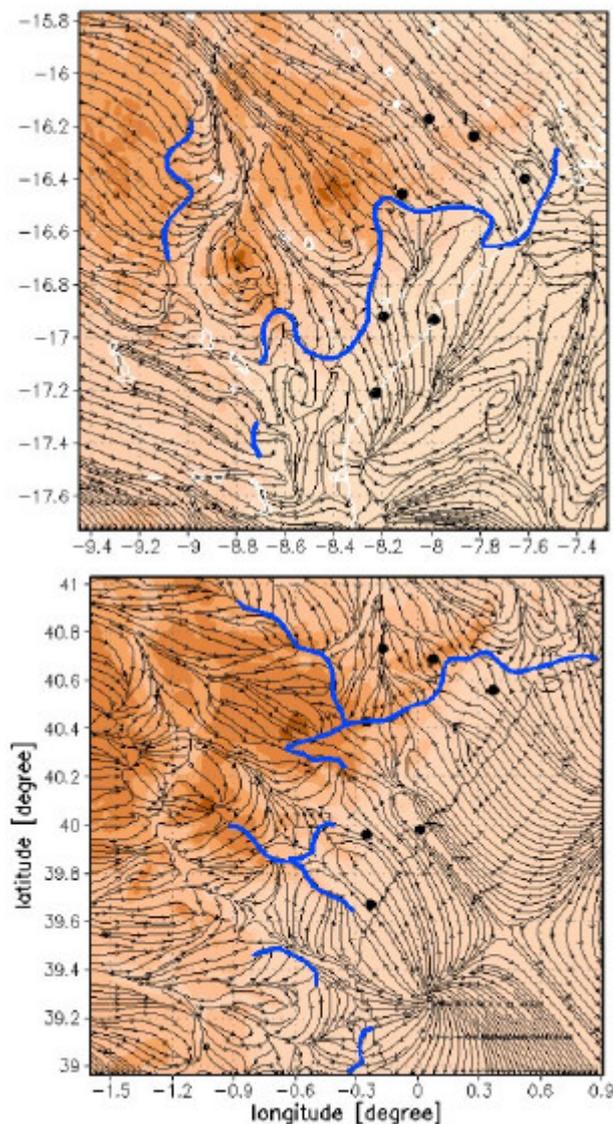


Fig. 6.- Líneas de corriente del viento simulado por LM (arriba) y por RAMS (abajo) el día 28 de Septiembre a las 12:00 h. UTC, sobre las costas de Castellón y Valencia. En azul se han representado las líneas de convergencia simuladas.

Se ha constatado como diferencias en la simulación de la evolución diurna de la estructura a escala Peninsular de las líneas de convergencia de campo de vientos afecta de manera determinante a la predicción de los campos de vientos en superficie (a 10 metros sobre el nivel del suelo). A modo de ejemplo, la figura 6 muestra como mientras las brisas costeras simuladas por RAMS (día 28 de septiembre a las 12 h. UTC) engloban la totalidad de las estaciones meteorológicas, el modelo LM todavía no ha reproducido su activación en el Norte de Castellón. Además se observa como la diferente estructura de las líneas de convergencia de los frentes de brisa determinan direcciones de viento sustancialmente diferentes en gran parte de las estaciones (este efecto se observa mejor comparando las series temporales de viento, figuras 7 y 8).

Así, pese a las diferencias en las resoluciones horizontales implementadas en cada modelo, el mejor diagnóstico que el modelo RAMS hizo de las estructuras del campo de vientos fue el responsable de que predijese, durante los cinco días simulados, las series temporales de velocidad y dirección de viento de manera más ajustada que el modelo LM (figuras 7, 8, 9 y 10).

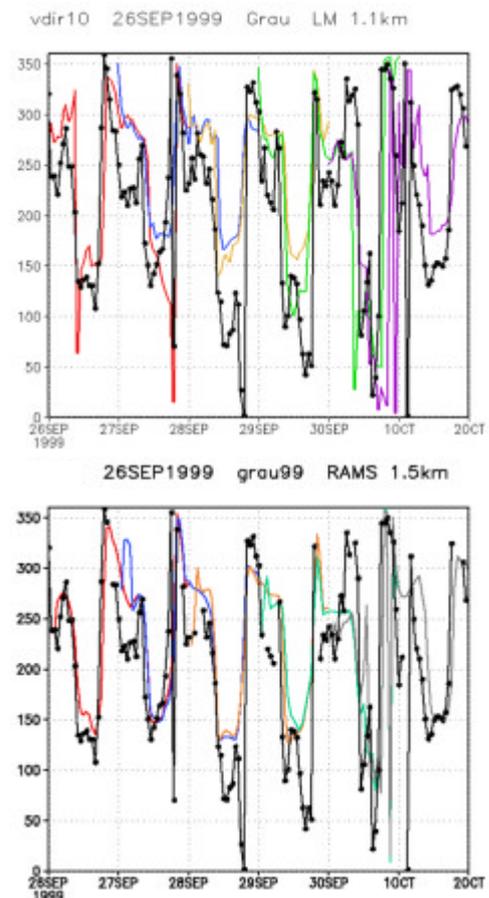


Fig. 7.- Serie temporal de la dirección del viento a diez metros sobre el nivel del suelo en el emplazamiento costero del Grau de Castellón. En negro, las medidas experimentales, en colores las cinco simulaciones consecutivas de 48 horas de duración. Arriba, LM; abajo, RAMS.

Como patrón general, durante las cinco simulaciones de 48 horas de duración cada una, el modelo RAMS activa las brisas diurnas más pronto que el modelo LM.

A modo de ejemplo, se presenta la dirección de la evolución diaria de la circulación de brisa en el emplazamiento costero del Grau de Castellón (figura 7). Se puede parecer como la brisa diurna diagnosticada por el modelo LM difiere en la mayoría de los días simulados en algo más de 20 grados respecto a la medida experimentalmente, fruto de la estructura del campo de vientos horizontal reproducido en el dominio de mayor resolución.

Respecto a los drenajes nocturnos, y directamente asociado al hecho de que ambos modelos implementan resoluciones espaciales similares en sus dominios de mayor resolución, ambos modelos diagnostican terrales muy similares. En ambos casos se identifican áreas de subsidencia en las cimas de las barreras montañosas, así como las correspondientes líneas de convergencia a lo largo de los valles.

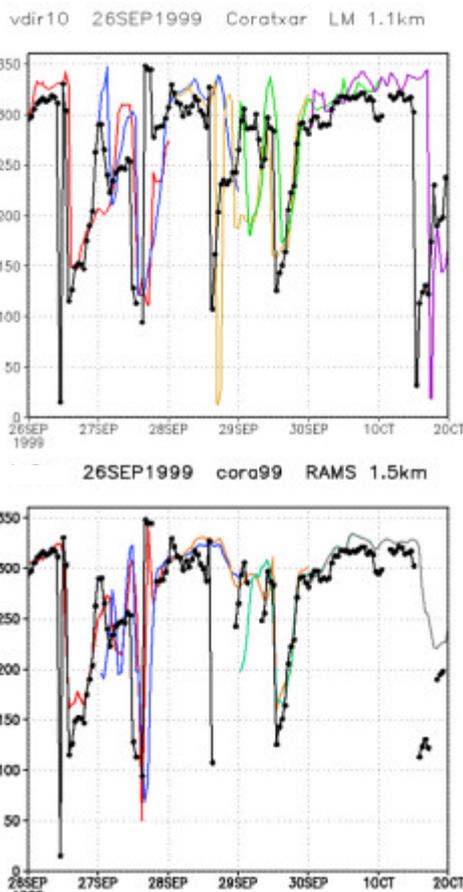


Fig. 8.- Serie temporal de la dirección del viento a diez metros sobre el nivel del suelo en el emplazamiento de interior de Coratxar. En negro, las medidas experimentales, en colores las cinco simulaciones consecutivas de 48 horas de duración. Arriba, LM; abajo, RAMS.

En las estaciones del interior, como es el caso de Coratxar (figuras 8), el comportamiento de los dos modelos meteorológicos es más similar que en las zonas costeras. Ambos modelos reproducen bien la dirección y la velocidad del viento (incluido el paso del frente frío del día 30 de septiembre que vino acompañado de un fuerte incremento en la velocidad del viento y un descenso de las temperaturas).

Este tipo de emplazamientos, no está tan afectado por las circulaciones térmicas de periodicidad diurna, y sólo eventualmente (como ocurre el 26 y el 29 en el caso de Coratxar) quedan incluidas en circulaciones de brisa diurna. En este caso, ambos modelos han reproducido bien este hecho.

Respecto de la entrada del frente frío, cabe resaltar el retardo que experimenta el LM respecto del cambio de dirección registrado el día 30

Respecto de la velocidad del viento (figuras 9 y 10), ambos modelos presentaron un comportamiento muy similar durante los cinco días simulados.

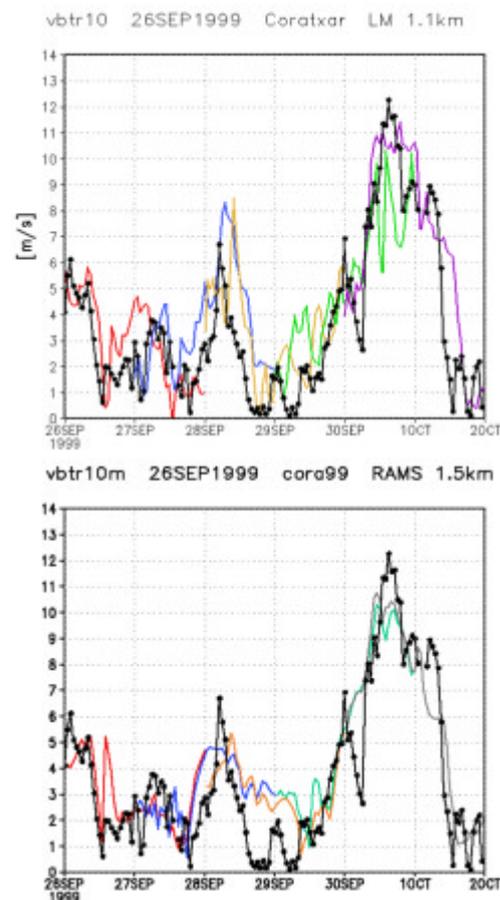


Fig. 9.- Serie temporal de la velocidad del viento a diez metros sobre el nivel del suelo en el emplazamiento interior de Coratxar. En negro, las medidas experimentales, en colores las cinco simulaciones consecutivas de 48 horas de duración. Arriba, LM; abajo, RAMS.

En términos generales, ambos modelos sobreestimaron la velocidad del viento durante las horas diurnas de los días 27 y 29 de Septiembre. También se sobreestimaron los vientos de drenaje en las estaciones costeras.

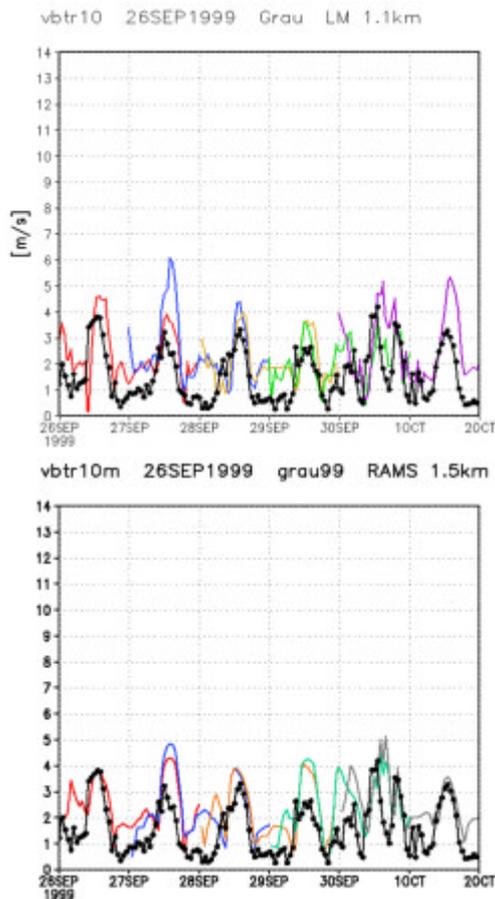


Fig. 10.- Serie temporal de la velocidad del viento a diez metros sobre el nivel del suelo en el emplazamiento costero del Grau de Castellón. En negro, las medidas experimentales, en colores las cinco simulaciones consecutivas de 48 horas de duración. Arriba, LM; abajo, RAMS.

Además de los campos de temperatura y vientos, también se incluyeron en el análisis comparativo entre ambos modelos, la humedad relativa, el balance radiativo (analizando los flujos de energía parametrizados por cada modelo), un análisis estadístico de la capacidad predictiva de cada modelo en los siete emplazamientos disponibles y la estructura vertical del campo de vientos en transectos perpendiculares a la costa.

4. Conclusiones

En términos generales, tanto para zonas costeras como para las zonas montañosas del interior, el modelo RAMS diagnosticó mejor que el modelo LM

los ciclos diarios de los campos de viento y de temperatura. Los mejores resultados obtenidos con el RAMS no son achacables a las resoluciones horizontales empleadas, puesto que el modelo LM se configuró con resoluciones y dominios mayores. Por el contrario, el conocimiento adquirido durante los últimos quince años de los procesos meteorológicos presentes en la Península Ibérica, ha permitido una adecuada configuración e inicialización del modelo RAMS y, consecuentemente, una mejor aproximación a los procesos meteorológicos resultado de las interacciones sinérgicas entre las diferentes escalas meteorológicas en la zona de estudio.

5. Agradecimientos

La Fundación CEAM está financiada por la Generalitat Valenciana y por BANCAJA. Este proyecto ha sido financiado por la Comisión Europea, proyecto FUMAPEX – EVK4-CT-2002-00097; y por el Ministerio de Educación y Ciencia, REN2002-10681-E/CLI.

6. Referencias

Baklanov, A.; Batchvarova, E.; Calmet, I.; Clappier, A.; Chordá, J.V.; Diéguez, J.J.; Dupont, S.; Fay, B.; Fragkou, E.; Hamdi, R.; Kitwiroon, N.; Leroyer, S.; Long, N.; Mahura, A.; Mestayer, P.; Nielsen, N.W.; Palau, J.L.; Pérez-Landa, G.; Penelon, T.; Rantamäki, M.; Schayes, G.; Sokhi, R.S. (2004) Improved parameterisations of urban atmospheric sublayer and urban physiographic data classification. Baklanov, A. y Mestayer, P. (editores). D4.1, 4.2 and 4.5 FUMAPEX Report, ISBN: 87-7478-506-0; pp. 1 – 75; Ed.: Danish Meteorological Institute, DMI, Scientific Report: #04-05, 2004; Copenhagen, DMI, Dinamarca.

Fay B.; Neunhäuserer L.; Baklanov A.; Bjergene N.; Kukkonen J.; Palau J.L.; Perez-Landa G.; Rantamäki M.; Rasmussen A.; Valkama I. (2004) Evaluation and comparison of operational NWP and mesoscale meteorological models for forecasting urban air pollution episodes - Helsinki case study. 9th Intern. Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes; pp. 245-249. Garmisch-Partenkirchen (Alemania).

Fay B.; Neunhäuserer L.; Baklanov A.; Kukkonen J.; Oedegaard V.; Palau J.L.; Perez-Landa G.; Rantamäki M.; Rasmussen A.; Valkama I. (2004) Evaluating and inter-comparing NWP and mesoscale models for forecasting urban air pollution episodes in FUMAPEX. 4th Annual meeting of the European Meteorological Society. EMS Annual meeting Abstracts, Vol I, 00401. Niza (Francia).

FUMAPEX (2002 – 2005) Integrated systems for Forecasting Urban Meteorology, Air Pollution and Population Exposure. <http://fumapex.dmi.dk>

Millán M.M. (2002) Ozone dynamics in the Mediterranean basin. A collection of scientific papers resulting from the MECAPIP, RECAPMA and SECAP Projects. Air Pollution Research Report 78. Brussels.

Palau J.L.; Pérez-Landa G.; Millán M. M.; Diéguez J. (2004) The importance of meteorological scales to forecast air pollution scenarios on a complex terrain coastal site of the Iberian Peninsula. 4th Annual meeting of the European Meteorological Society. EMS Annual meeting, Vol I, 00388. Niza (Francia).

Palau, J. L.; Pérez-Landa, G.; Diéguez, J. J.; Monter, C. and Millán, M. M. (2005) The importance of meteorological scales to forecast air pollution scenarios on coastal complex terrain. *Atmospheric Chemistry and Physics*, **5**, 2771-2785.