

# HARMONIE/AROME: Predicción operativa a escalas convectivas

Gema Morales, Daniel Martín, y Javier Calvo

Agencia Estatal de Meteorología, c/ Leonardo Prieto Castro, 8, 28040 Madrid  
j.calvo@aemet.es

HARMONIE (HIRLAM-ALADIN Research on Meso-scale Operational NWP in Europe) es un modelo no hidrostático diseñado para la predicción operativa en alta resolución. Ha sido desarrollado principalmente por Meteo-France y el Consorcio ALADIN en colaboración con el Centro Europeo (CE) y HIRLAM. El modelo está operativo en Meteo-France y en bastantes Servicios Meteorológicos europeos.

## Descripción del modelo

HARMONIE trabaja sobre una dinámica no-hidrostática, espectral, con una discretización de las ecuaciones semi-lagrangianas, semi-implícita de dos tiempos, con la coordenada vertical híbrida (Bubnová *et al.*, 1995). Para resoluciones menos finas, queda contemplada la posibilidad de utilizar la versión hidrostática del esquema semi-lagrangiano. Distintas configuraciones de la física son posibles dependiendo de las escalas en las cuales integremos el modelo: AROME para 2.5 km, ALARO para las escalas grises (2-9 km) y ALADIN, HIRLAM o ECMWF para resoluciones por encima de los 10 km. La física de AROME es una adaptación de la del modelo de investigación Meso-NH (Lafore *et al.*, 1998) y una referencia más detallada se puede encontrar en Seity *et al.* (2011). El modelo incluye 12 variables de pronóstico 3D incluyendo 5 especies de agua distintas: lluvia, gotas de nube, cristales de hielo, nieve y *graupel*. La microfísica que regula el intercambio y crecimiento de todas las especies es bastante sofisticada de tipo *bulk* (ICE3, Pinty and Jabouille 1998). Para la turbulencia local dentro de la capa límite planetaria se utiliza el esquema de TKE descrito en Cuxart *et al.* 2000. Este esquema se combina con una formulación de flujo de masa que describe la convección seca y húmeda dentro de la capa límite, para dar lugar a un esquema unificado llamado EDMF (Eddy-Diffusivity Mass-Flux) tratado en De Rooy *et al.*, 2010. En cuanto a la convección profunda, a estas escalas se considera que puede tratarse explícitamente sin necesidad de incluir una parametrización. El esquema de radiación utiliza el mismo que el del ECMWF (Morcrette, 1991). Para los procesos de superficie existe un módulo denominado SURFEX (Le Moigne, Ed, 2009) que puede ser utilizado

externamente de forma independiente o dentro del propio modelo atmosférico. Está compuesto por varios esquemas que parametrizan el suelo natural, urbano, lagos y océanos. SURFEX calcula los flujos desde el suelo a la atmósfera y posteriormente, diagnostica la temperatura a 2 m y la humedad y el viento a 10 m.

Para la asimilación de los campos verticales, HARMONIE usa un esquema *3D-var* (Fisher *et al.*, 2005), que comparte la mayor parte del código con el modelo del CE y ARPEGE. Para las variables de superficie utiliza un algoritmo de interpolación óptima.

Desde octubre de 2011, AEMET utiliza la configuración AROME del modelo para correrlo 4 veces al día con un alcance de 48 horas para 2 dominios de integración (Península-Baleares y Canarias, *fig. 1*) y con una resolución horizontal de 2.5 km, 65 niveles en la vertical y un paso de tiempo de 60 s. De momento solo se realiza análisis de superficie y los campos en altura se inician a partir de una predicción a 6 horas del modelo del CE. Las condiciones de contorno son refrescadas también cada hora usando el CE. Actualmente el modelo se encuentra corriendo en fase pre-operativa.

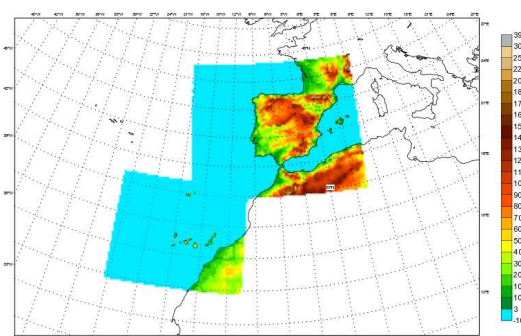


Fig. 1.- Dos dominios de integración, Península y Canarias, funcionando en AEMET 4 veces al día

## Nuevas aportaciones del modelo a la predicción

En general, la utilización de HARMONIE a 2.5 km ha supuesto una mejora en la predicción de todas las variables respecto de los modelos HIRLAM y CE, que actualmente utilizan una resolución más pobre.

En particular, ha mejorado la predicción de los fenómenos locales. Un ejemplo lo encontramos en la simulación de vientos regionales y brisas.

Merece destacar por su impacto social y económico, la mejora en la predicción de nieblas y nubes bajas. Aunque la tasa de falsas alarmas en la detección de estos eventos no es despreciable, el nuevo modelo resulta ser más eficaz desarrollando nieblas respecto del operativo HIRLAM, tal y como muestran los estudios de verificación realizados (fig. 2).

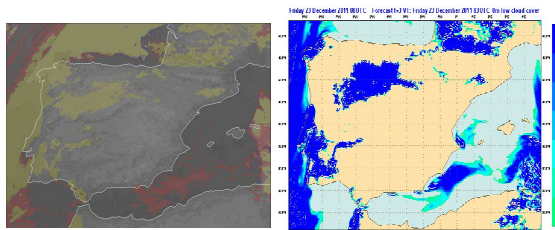


Fig. 2.- Predicción de nieblas. Se compara el producto nubes bajas del SAF de Nowcasting a partir de datos Meteosat (dcha, <http://www.nwcsaf.org>) con la predicción de nieblas de HARMONIE (dcha).

Probablemente el mayor impacto lo encontramos en la predicción de la precipitación. El modelo es capaz de simular el ciclo diurno de la convección que puede verse claramente cuando el forzamiento de gran escala es débil (fig 3). También mejora bastante la predicción en situaciones de lluvias torrenciales, tanto en distribución espacial como en la magnitud de los máximos.

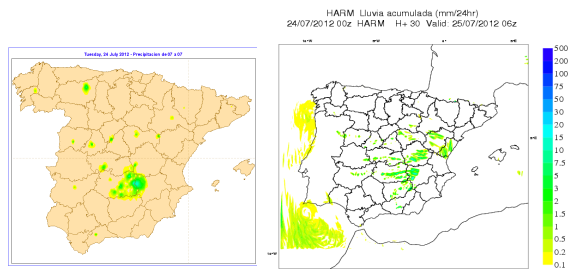


Fig. 3.- Precipitación acumulada en 24 horas para una situación de forzamiento dinámico débil. Izda. Las observaciones upscaladas. Dcha. Salida del modelo.

Pese a la mejora, la predicibilidad disminuye mucho cuando se tratan de simular fenómenos de escala tan local y especialmente, al predecir las nubes y la convección. Por eso los centros operativos tienden a utilizar sistemas de predicción por conjuntos (EPS) de alta resolución para tratar de estimar incertidumbre de las predicciones. El problema es que requieren recursos computacionales grandes. Está en desarrollo un sistema EPS basado en HARMONIE a una resolución entorno a 2.5 km que podrá ser utilizado en un futuro próximo.

Otra ventaja del nuevo modelo es que permite post-procesar nuevos productos. Un ejemplo es la estimación de descargas eléctricas a partir del *graupel integrado en la vertical* (Sosa-Cardo et al, 2014), el diagnóstico del granizo o la generación de pseudoimágenes de satélite para distintos canales y que comparan directamente con las observaciones (fig 4).

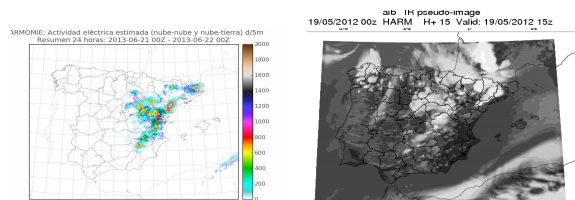


Fig. 4.- Izda. Estimación de las descargas eléctricas. Dcha. pseudoimagen del canal visible genera como un postproceso de HARMONIE

Los nuevos productos abren la posibilidad de añadir nuevas herramientas que pueden ser útiles para los predictores operativos y para otros usuarios. Por otra parte se requiere una adaptación de los usuarios para interpretar las salidas de los modelos de alta resolución normalmente acostumbrados a modelos de escalas sinópticas.

## Referencias

<http://hirlam.org/index.php/hirlam-programme-53/general-model-description/mesoscale-harmonie>

Bubnová, Radmila, Gwenaëlle Hello, Pierre Bénard, Jean-François Geleyn, 1995: Integration of the Fully Elastic Equations Cast in the Hydrostatic Pressure Terrain-Following Coordinate in the Framework of the ARPEGE/Aladin NWP System. *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 515–535.

Cuxart, J., P. Bougeault, and J.-L. Redelsberger, 2000: A turbulence scheme allowing for mesoscale and large-eddy simulations. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **126**, 1–30.

De Rooy, Wim C. and A. Pier Siebesma, 2010: Analytical expressions for entrainment and detrainment in cumulus convection. *Quar. J. Roy. Meteor. Soc.*, **136**, Issue 650, 1216–1227, Part A

Fisher M, Leutbecher M, Kelly GA., 2005: On the equivalence between Kalman smoothing and weak-constraint four-dimensional variational data assimilation. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **131** 3235–3246

Lafore, J.-P., and Coauthors, 1998: The Meso-NH atmospheric simulation system. Part I: Adiabatic

formulation and control simulations. *Ann. Geophys.*, **16**, 90–109

Le Moigne, Ed., 2009: SURFEX scientific documentation. Centre du Groupe de Meteorologie a` Moyenne Echelle Tech. Note 87, 211 pp

Morcrette J.-J., 1991: Radiation and cloud radiative properties in the European Centre for Medium Range Weather Forecasts forecasting system. *Quar. J. Roy. Meteor. Soc.*, **96**, 9121–9132.

Pinty, J.-P., and P. Jabouille, 1998: A mixed-phased cloud parameterization for use in a mesoscale non-hydrostatic model: Simulations of a squall line and of orographic precipitation. Preprints, *Conf.onCloudPhysics*, Everett, WA, Amer. Meteor. Soc., 217–220.

Seity, Y., P. Brousseau, S. Malardel, G. Hello, P. Bénard, F. Bouttier, C. Lac, V. Masson, 2011: The AROME-France Convective-Scale Operational Model. *Mon. Wea. Rev.*, **139**, 976–991.

Sosa-Cardo, J., Calvo-Sánchez, J. y Martín-León, F, 2014: Pronóstico de rayos mediante el modelo no hidrostático HARMONIE. *En este volumen*.