

# Predicción operativa WRF en la Fundación Centro de Supercomputación de Castilla y León (FCSCCL): del modelo *single* al *ensemble*.

Jesús Lorenzana Campillo<sup>(1)</sup>, Carlos Redondo Gil<sup>(2)</sup>, Ángel Manuel Guerrero<sup>(3)</sup>,  
Eduardo García-Ortega<sup>(4)</sup>, Jesús Gonzalo de Grado<sup>(5)</sup>, José Luis Sánchez Gómez<sup>(6)</sup>.

<sup>(1)</sup> Fundación Centro de Supercomputación de Castilla y León, [jesus.lorenzana@fcsc.es](mailto:jesus.lorenzana@fcsc.es)

<sup>(2)</sup> Fundación Centro de Supercomputación de Castilla y León, [carlos.redondo@fcsc.es](mailto:carlos.redondo@fcsc.es)

<sup>(3)</sup> Grupo de Física de la Atmósfera. Universidad de León (ULE), [am.guerrero@unileon.es](mailto:am.guerrero@unileon.es)

<sup>(4)</sup> Grupo de Física de la Atmósfera. ULE, [eduardo.garcia@unileon.es](mailto:eduardo.garcia@unileon.es)

<sup>(5)</sup> Área de Ingeniería Aeroespacial. ULE, [jesus.gonzalo@unileon.es](mailto:jesus.gonzalo@unileon.es)

<sup>(6)</sup> Grupo de Física de la Atmósfera. ULE, [jl.sanchez@unileon.es](mailto:jl.sanchez@unileon.es)

## 1. Introducción

La Fundación Centro de Supercomputación de Castilla y León (FCSCCL), es un Centro Público de Investigación dependiente de la Comunidad de Castilla y León cuya actividad principal es el apoyo a la mejora de las tareas de I+D+i. En este sentido, se define como Organismo Público de Investigación. Dispone de un centro de datos donde está instalado el superordenador "Caléndula" (Figura 1), formado por 304 servidores interconectados por una red de altas prestaciones Infiniband que permite alcanzar un rendimiento máximo de 45 Tflops.

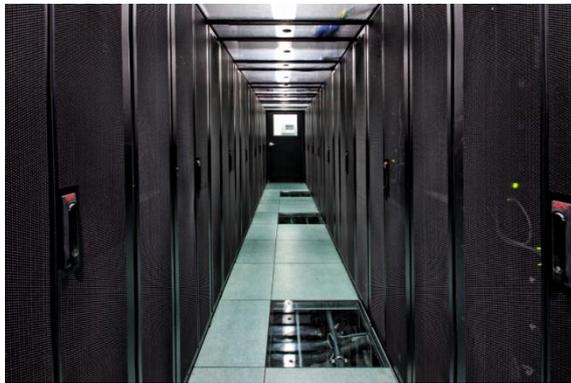


Figura 1 - Interior del superordenador "Caléndula" en el Centro de Supercomputación de Castilla y León.

Desde 2009 mantiene un convenio de colaboración con el Grupo de Física de la Atmósfera (GFA) de la Universidad de León (ULE). El GFA trabaja en el ámbito de la meteorología sinóptica y mesoescalar, centrada en el estudio de eventos de convección con resultado de precipitación líquida o sólida. Como consecuencia de esta colaboración la FCSCCL tiene como una de sus principales líneas de trabajo e investigación la predicción numérica a mesoescala.

En particular, la predicción numérica de la precipitación es un problema abierto que precisa de

modelos capaces de describir adecuadamente los procesos de formación de nubes y de crecimiento de hidrometeoros. Además es imprescindible disponer de una descripción detallada y veraz de las características de la superficie terrestre en el dominio de trabajo, así como de un conjunto confiable de observaciones que permitan, mediante sistemas de asimilación, mejorar las salidas de los modelos. El GFA, en el marco de distintos proyectos de investigación de convocatorias regionales y del Plan Nacional de I+D+i, utiliza el modelo Weather Research and Forecasting WRF instalado en la FCSCCL para tareas de investigación.

## 2. Resultados científicos obtenidos

El desarrollo de dichos proyectos ha permitido obtener resultados de investigación, basados en el estudio de casos mediante el modelo no hidrostático WRF. Las características del WRF lo hacen muy adecuado para el estudio de eventos de precipitación asociados a la convección. Se ha mejorado el *know-how* acerca de los factores mesoescalares que favorecen el inicio de la convección asociada a tormentas de granizo en el noreste de España y sur de Francia. Previo al empleo de un modelo de simulación no hidrostático, García-Ortega et al. (2011) habían realizado una clasificación de patrones atmosféricos a escala sinóptica, característicos de situaciones de granizo, tomando como base de datos 260 días con tormentas de granizo registradas en el Valle Medio del Ebro durante el período 2001 a 2008. Se obtuvieron cinco clusters con características bien definidas, basadas en los campos de altura de geopotencial y temperatura a 850 hPa y 500 hPa y humedad relativa a 850 hPa. García-Ortega et al. (2012) estudiaron los factores mesoescalares que condicionaron el inicio de la convección profunda en 12 eventos de granizo

severo durante el mismo período de tiempo, observados en el Valle Medio del Ebro (VME). Se utilizó el Mesoscale Model MM5 y se analizaron los campos de inestabilidad convectiva, convergencia de vapor de agua y viento en niveles bajos troposféricos. Los resultados muestran patrones basados en dichos campos, bien definidos, con claras diferencias entre días correspondientes a distintos clusters. Este análisis a mesoescala y las relaciones bidireccionales establecidas con ciertas anomalías sinópticas observadas en los días de granizo severo constituyen una herramienta de interés en la predicción de este tipo de eventos en el área de estudio. Merino et al. (2013) estudiaron 100 días con tormenta de granizo mediante WRF con el objetivo de obtener una clasificación de entornos mesoescalares mediante los campos citados anteriormente más la humedad en niveles bajos. Dicho estudio dió lugar a la definición de cuatro configuraciones mesoescalares en las que se clasifican los días de tormenta en el VME. Además, se estudió el comportamiento de varios parámetros utilizados por distintos autores para la predicción del granizo, obtenidos mediante el WRF (Convective Available Potential Energy, Storm Relative Helicity-0\_3 km, Energy-helicity Index y Showalter Index) con objeto de establecer una discusión acerca de los posibles valores umbrales en cada caso.

Por otra parte, y utilizando las salidas del WRF, se ha participado en el desarrollo del SatSim de la Global Precipitation Measurement (GPM) Mission de la NASA (Tapiador et al., 2012; Katsanos et al., 2014) y se realizan estudios de sensibilidad del modelo a las características del terreno y los usos del suelo, mediante el campo de precipitación. Se ha observado la importancia fundamental del uso de una base de datos correcta y actualizada para definir los usos del suelo en los dominios de simulación, dada la influencia que tiene en los procesos de formación de la precipitación.

Como consecuencia de los resultados expuestos, el GFA y la FCSCCL realizan durante los últimos años simulaciones operativas diarias con el objetivo de aplicar operativamente los resultados de investigación expuestos. Se trata del lanzamiento de cuatro simulaciones single diarias, con tres dominios anidados y con una resolución horizontal máxima de 3 km (Figura 2). Las salidas de dichas simulaciones constituyen productos de predicción utilizados en distintos ámbitos. Por una parte, algunos campos meteorológicos de interés se sirven diariamente al Sistema Automático de Información Hidrológica SAIH de la Confederación Hidrográfica del Ebro para inicializar su modelo hidrológico de predicción del caudal circulante en la cuenca del Ebro. Al tratarse de una predicción realizada con un modelo no hidrostático y de alta resolución espacial, el campo de precipitación resulta de gran interés para el SAIH, permitiendo fijar las condiciones iniciales

de su modelo de caudal. Por otra parte, durante los meses de invierno, se realiza una predicción diaria de temperatura y precipitación de nieve para la Agencia de Protección Civil de la Junta de Castilla y León. Estos datos son de interés para la toma de decisiones en la Agencia, en sus tareas de establecimiento de alertas y vigilancia de la seguridad del tráfico en las carreteras de Castilla y León.

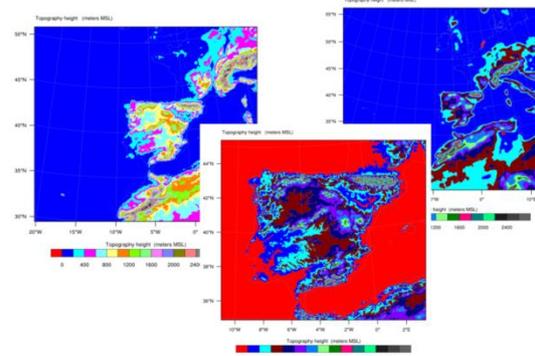


Figura 2 - Áreas geográficas de los diferentes dominios de las simulaciones realizadas para el proyecto de la plataforma MicroMeteo.

Finalmente, las predicciones operativas han permitido el desarrollo de la plataforma MicroMeteo dentro de un proyecto de la convocatoria INNPACTO 2010. En dicho proyecto, desarrollado en el seno de un consorcio con otras empresas del País Vasco, se ha implementado una plataforma para la obtención de datos de predicción y observación meteorológica de alta resolución para smartphones y tablets. Se espera poder continuar en esta línea de trabajo, centrada en predicciones de eventos severos que puedan afectar al transporte terrestre y/o aéreo, la seguridad de la población o la gestión en centrales de producción de energía (tormentas con precipitación en forma de lluvia o granizo, viento intenso en superficie, formación de ondas de montaña, ...).

Las simulaciones realizadas hasta este momento son del tipo determinista, usando las salidas del modelo Global Forecasting System (GFS) para inicializarlas. La resolución elegida de los datos del GFS es de 0,5° (archivos `gfs.tccz.pgrb2fxxx` disponibles en los servidores NOMADS del NCEP).

Se ejecutan diariamente cuatro veces, dos simulaciones diferentes sobre distintas zonas de predicción y alcance de propagación. Ambas simulaciones se realizan sobre 3 dominios anidados con resoluciones 27 km, 9 km y 3 km. Las horas de inicio de ejecución son 00 h, 07 h, 12 h y 19 h.

En función del alcance de las simulaciones, éstas se ejecutan en 128 y 256 *cores* de cálculo. Puntualmente, se han realizado ejecuciones 384 *cores*.

Una vez finalizada la ejecución y obtenidos los ficheros con los resultados de la propagación se realizan diversos pasos de post-procesado de esa información para generar (mediante el uso de funciones NCL) los productos visuales que son automáticamente transferidos al servidor web del Grupo de Física de la Atmósfera [gfa.unileon.es](http://gfa.unileon.es), desde donde pueden ser consultados.

Otro de las etapas de post-proceso consiste que enviar a la Agencia de Protección Civil de la Junta de Castilla y León y al Sistema Automático de Información Hidrológica SAIH de la Confederación Hidrográfica del Ebro, los resultados obtenidos. Para ello, los sistemas de gestión de ancho de banda de la FCSCCL se han configurado para garantizar que el envío de estos datos tiene máxima prioridad y una cuota de transferencia reservada consiguiendo así minimizar los tiempos de envío.

Para mejorar el uso de los recursos de cálculo, se ha desarrollado en Python (Guerrero et al., 2013) un sistema de gestión y control del flujo de trabajo que se realiza. Este sistema permite optimizar la asignación de recursos a la vez que refuerza la verificación del estado de finalización de los diferentes pasos, permitiendo así tomar decisiones en función del resultado. También se ha mejorado el apartado de generación de registros de ejecución o *logs*, permitiendo una mejor depuración en caso de producirse algún tipo de problema, en ocasiones debido a inestabilidades en la simulación.

### 3. Nuevas arquitecturas y retos

En los dos últimos años se ha asistido a un cambio revolucionario en la arquitectura de los nuevos superordenadores. De arquitecturas basadas en procesadores de propósito general (Intel y AMD fundamentalmente) con miles de servidores, se ha pasado a superordenadores en los que los servidores están equipados, además de con procesadores de última generación, con tarjetas gráficas GPUs (principalmente NVidia) o, en los más modernos sistemas, con tarjetas coprocesadoras Intel Xeon Phi. Estas tarjetas complementan a los procesadores tradicionales, aportando un gran número de núcleos de proceso o *cores* que permiten alcanzar rendimientos de entre 1 y 1.5 TFlops por tarjeta.

La FCSCCL está renovando su sistema de cálculo de altas prestaciones mediante la incorporación de potentes equipos de última generación que cuentan con varias tarjetas Intel Xeon Phi. Estos nuevos equipos aportan una potencia de cálculo de 40 TFlops. Está prevista una renovación tecnológica que permitirá incrementar la potencia de cálculo total aún más.

El aumento de potencia de cálculo que aportan los nuevos sistemas y la disponibilidad de gran cantidad de datos de observaciones meteorológicas, permite

plantear un cambio en el tipo de simulaciones para pasar de las predicciones deterministas a las predicciones probabilistas basadas en *ensembles*.

El desarrollo de un sistema de asimilación de datos basado en distintas fuentes de observación, junto con el diseño de un ensemble de simulaciones, permitirá obtener predicciones probabilistas enfocadas a la predicción de eventos meteorológicos a corto y muy corto plazo, de alto impacto socio-económico.

La FCSCCL, el GFA de la ULE y la NOAA han participado conjuntamente en el HPC Experiment, dentro del proyecto titulado “Ensemble simulation of weather at 20 km higher resolution”. El objetivo era analizar el rendimiento de simulaciones de alta resolución espacial centrandose el interés en situaciones de tiempo severo, en equipos de supercomputación remotos. Para ello se ha trabajado sobre el código del Data Assimilation Research Testbed (DART) del NCAR. Se trata de un sistema de asimilación de datos procedentes de múltiples plataformas cuya implementación permite diseñar un sistema de predicción operativa que puede estar basado en ensembles. Los experimentos se engloban dentro de la plataforma desarrollada para el Warn on Forecast (WoF), un programa de investigación de la NOAA para la mejora de los avisos por riesgo de tornados, tormentas severas e inundaciones.

La experiencia adquirida nos ha impulsado a proponer el desarrollo de un sistema de predicción probabilista, aprovechando la potencia de cálculo de la FCSCCL, orientado a la predicción por conjuntos a corto plazo, de eventos severos con especial incidencia en las precipitaciones de lluvia, granizo o nieve, campo de vientos y temperaturas extremas. El objetivo es poder aplicar los resultados de la predicción para la mejora de la seguridad en el transporte terrestre y aéreo, de la eficiencia en la producción de energía y de las tareas de predicción y extinción de incendios.

### Referencias.

- A. Merino, E. García-Ortega, L. López, J. L. Sánchez, A. M. Guerrero-Higueras. Synoptic environment, mesoscale configurations and forecast parameters for hailstorms in Southwestern Europe. 2013. Atmospheric Research. Elsevier, 122: 183-198.
- D. Katsanos, E. García-Ortega, M. de Castro, E. Arias, and F. J. Tapiador, 2014. High-resolution, near real time simulation of microwave radiance using a simple land-cover based emissivity prior. Advances in meteorology. Hindawi. ID 585296. pp 1-15. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/585296>.
- E. García-Ortega, A. Merino, L. López, J. L. Sánchez. Role of mesoscale factors at the onset of deep convection on hailstorm days and their relation

to the synoptic patterns. 2012. Atmospheric Research. Elsevier, 114-115: 91-106.

E. García-Ortega, F. J. Tapiador, L. López, D. Katsanos, J. L. Sánchez. A GPM simulator to improve the NWP of severe events. 6th European Conference on Severe Storms. Palma de Mallorca, Octubre 2011.

E. García-Ortega, L. López, J. L. Sánchez. Atmospheric patterns associated with hailstorm days in the Ebro Valley, Spain. 2011. Atmospheric Research. Elsevier, 100: 401-427.

A. M. Guerrero, E. García-Ortega, J. L. Sánchez, J. Lorenzana, V. Matellán. Schedule WRF executions in parallel environments using Python. Third Symposium on Advances in Modeling and Analysis Using Python. AMS 93<sup>rd</sup> Annual Meeting 2013. Austin (TX) EE.UU.

Francisco J. Tapiador, F. J. Turk, W. Petersen, Arthur Y. Hou, Eduardo García-Ortega, Luiz A. T. Machado, Carlos F. Angelis, Paola Salio, Chris Kidd, George J. Huffman, Manuel Castro. Global Precipitation measurement: Methods, datasets and applications. 2012. Atmospheric Research. Elsevier, 104-105: 70-97.