

Predicción de un episodio persistente de nieblas de radiación con los modelos WRF y HARMONIE

C. Román-Cascón⁽¹⁾, G. Morales⁽²⁾, C. Yagüe⁽¹⁾, J. Calvo⁽²⁾, M. Sastre⁽¹⁾, G. Maqueda⁽³⁾

⁽¹⁾ Dpto. Geofísica y Meteorología, Universidad Complutense de Madrid, España

⁽²⁾ AEMET, Madrid, España

⁽³⁾ Dpto. Astrofísica y Ciencias de la Atmósfera, Universidad Complutense de Madrid, España

RESUMEN

Un periodo de más de diez días de nieblas de radiación ha sido estudiado con medidas meteorológicas disponibles en el Centro de Investigación de la Baja Atmósfera (CIBA) en Valladolid. Este periodo, caracterizado por intensos enfriamientos superficiales nocturnos, ha sido simulado con el modelo *Weather Research and Forecasting* (WRF) y con el modelo *Hirlam Aladin Research on Mesoscale Operational NWP in EuroMed* (HARMONIE). Se ha comprobado como los modelos tienen problemas para simular algunas de las nieblas, especialmente las relacionadas con fuertes inversiones térmicas superficiales en condiciones de estabilidad atmosférica. Se han realizado ejercicios de sensibilidad del modelo WRF ante el uso de distintas parametrizaciones y se ha comprobado como el esquema de microfísica y el modelo de suelo-atmósfera influyen en los resultados, mientras que el uso de distintos esquemas de capa límite atmosférica (PBL) ó el uso de distintas bases de datos de uso de suelo es menos relevante en los resultados de estos días. Por otro lado, se han evaluado las salidas del modelo HARMONIE para distintos alcances (primer día simulado y segundo día simulado) y se ha comprobado cómo se consigue una mejor simulación de las nieblas cuando se usan las salidas del segundo día, sugiriendo que la simulación de las nieblas está muy influenciada por las condiciones iniciales.

ABSTRACT

A period with more than ten days with radiation fogs has been observationally analysed using measurements from the Research Centre for the Lower Atmosphere (CIBA), in Valladolid. This period, characterized by strong surface cooling during nighttimes, has been simulated with the model *Weather Research and Forecast* (WRF) and with the *Hirlam Aladin Research on Mesoscale Operational NWP in EuroMed* (HARMONIE) model. It has been observed how the models have problems to simulate some of the fog events, especially those related to strong surface-based

thermal inversions associated to stable atmospheric conditions. Several sensitivity experiments for the use of different parameterizations have been performed and it has been observed how the use of different microphysic schemes as well as land-surface models influence the results, while the use of different planetary boundary layer (PBL) schemes or the use of different land use datasets is less relevant for the results achieved. On the other hand, HARMONIE results have been evaluated for different outputs (first day or second day simulated) and it has been observed how there is an improvement on the simulations of fogs when using the outputs for the second day, which suggests that the fog simulations are quite influenced by the initial conditions.

1. INTRODUCCIÓN

La disminución de la visibilidad producida por las nieblas puede afectar seriamente las condiciones del transporte seguro en carreteras, aeropuertos, rutas marítimas, etc. A pesar de ello, no existe actualmente una predicción correcta de éstas por parte de las agencias meteorológicas operativas, ya que en muchos casos no son correctamente simuladas por los modelos numéricos de predicción del tiempo que las agencias utilizan. Uno de los motivos de esta carencia es la coexistencia de numerosos fenómenos físicos interactuando a la vez y que influyen en el ciclo de la niebla (aparición, desarrollo y disipación) y la falta de una correcta comprensión global y detallada de estos procesos, lo cual a su vez se traduce en una insuficiente parametrización en los modelos numéricos.

Cobra especial importancia el papel que juega la turbulencia dentro de PBL en el ciclo de la niebla. En concreto, parece ser que existe un rango de valores de turbulencia (Zhou and Ferrier, 2008) por debajo del cual la niebla no se vería desarrollada (Welch and Welicki, 1986) y por encima del cual se favorecería su disipación (Roach et al., 1976). Algunos trabajos publicados recientemente se han centrado en experimentos de sensibilidad de modelos ante distintas parametrizaciones de capa límite (Van der Velde et al., 2010; Román-Cascón et

al., 2012). De ellos se llega a la conclusión de que la predicción de nieblas es un tema que aún se debe mejorar.

Este estudio muestra los resultados obtenidos al simular un periodo de más de 10 días caracterizado por nieblas de radiación con el modelo experimental HARMONIE y con el modelo mesoescalar WRF-ARW, cuyo interés está en aumento en la comunidad investigadora y de predicción operativa debido a las numerosas posibilidades que tiene a la hora de la elección de las diferentes parametrizaciones a usar.

2. METODOLOGÍA

Se han comparado series temporales obtenidas de las simulaciones de los modelos WRF y HARMONIE con valores observacionales de medidas meteorológicas tomadas en el Centro de Investigación de la Baja Atmósfera (CIBA, 41°49'N, 4°56'W, 840 m asl), localizado 25km al NW de Valladolid, sobre una extensa altiplanicie conocida como Montes Torozos. Este es un lugar idóneo para la formación de nieblas de radiación durante los meses de otoño-invierno. Cabe destacar que adicionalmente se han usado datos de visibilidad del aeropuerto de Valladolid-Villanubla, situado a unos 15 km del CIBA.

El modelo WRF es un modelo mesoescalar que se alimenta de condiciones de contorno de un modelo global. En este caso, se han usado condiciones de contorno del modelo *Global Forecast System* (GFS) del *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP). Se han usado 4 dominios anidados de 27, 9, 3 y 1 km de resolución horizontal y 50 niveles distribuidos en la vertical, donde 28 niveles estaban por debajo de 1000 m y 8 niveles por debajo de 100 m, con el objetivo de conseguir una buena resolución en la PBL. Como esquemas de radiación se han usado el modelo de Dudhia de 1998 y el RRTM para onda corta y onda larga respectivamente.

Se han realizado una serie de ejercicios de sensibilidad del modelo a distintas parametrizaciones de PBL, microfísica y modelo de suelo-superficie. También se han comprobado los efectos del uso de dos bases de datos de uso de suelo diferentes: USGS y MODIS.

Finalmente, se ha comprobado la habilidad del modelo HARMONIE simulando estos eventos de nieblas de radiación. Este modelo operacional está en su fase experimental, usa condiciones de contorno del *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), la configuración del modelo *Application of Research to Operations at Mesoscale* (AROME), una resolución horizontal de 2500 m y 65 niveles en la vertical, con 21 niveles

por debajo de 1000 m y 5 niveles en los 100 primeros metros. El modelo se inicializa cada día para simular los dos días siguientes. En este trabajo se han evaluado por un lado las salidas correspondientes al primer día simulado y por otro lado las salidas correspondientes al segundo día simulado.

3. RESULTADOS

3.1 Análisis observacional

El periodo estudiado abarca del 3 al 15 de enero de 2012. La situación sinóptica general de este periodo estuvo marcada por altas presiones que afectaron a la Península Ibérica, y que provocaron varios días con nieblas de radiación en la meseta norte española.

La Fig. 1 muestra el análisis observacional del periodo estudiado mediante distintos parámetros obtenidos en la zona del CIBA (temperatura, humedad relativa, razón de mezcla y visibilidad). Los altos valores de humedad relativa (cuando son superiores al 95%) y la visibilidad de los informes METAR señalan la ocurrencia de niebla durante todos los días del periodo. Estas nieblas estuvieron asociadas a fuertes inversiones térmicas superficiales. Destaca también las fluctuaciones producidas en la razón de mezcla por los fenómenos de condensación durante la formación de la niebla y evaporación durante su disipación.

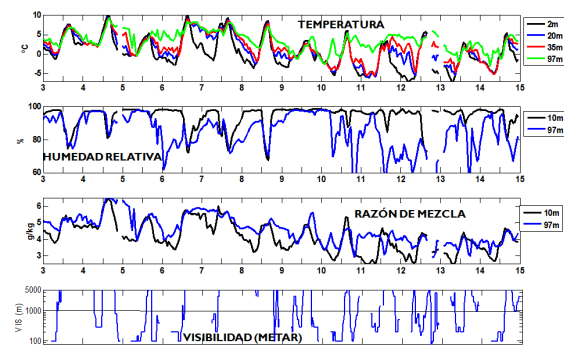


Figura 1. Series temporales de datos observacionales del CIBA desde el 3 de enero al 15 de enero de 2012. a) Temperatura (°C) a 2 m (negro), 20 m (azul), 35 m (rojo) y 97 m (verde). b) Humedad relativa (%) a 10 m (negro) y 97 m (azul). c) Razón de mezcla (g/kg) a 10 m (negro) y 97 m (azul). d) Visibilidad (m) de informes METAR del aeropuerto de Valladolid-Villanubla (LEVD).

3.2 Simulación de nieblas

La Fig. 2a muestra una estimación de la profundidad de la niebla, realizada con los datos de humedad relativa a 10 y 97 metros y con los datos de temperatura a 10, 20, 35 y 97 metros. Esta estimación se obtiene considerando que las temperaturas a distintos niveles tienden a converger al mismo valor cuando la niebla queda establecida a

ese nivel, debido a la mezcla turbulenta que la propia niebla genera. Las Fig. 2b y 2c muestran la habilidad del modelo WRF y HARMONIE respectivamente para simular estas nieblas. Destacan los problemas que estos modelos tienen simulando eventos de nieblas duraderas (día 9) y eventos de nieblas muy someras asociados a fuertes inversiones térmicas (días 11 a 14), especialmente difíciles para el modelo HARMONIE.

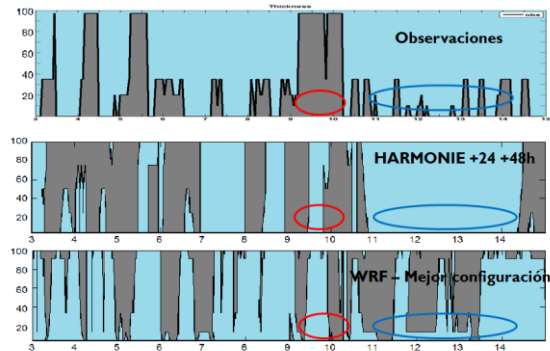


Figura 2. a) Espesor (m) estimado (observaciones) de las nieblas de radiación en CIBA para el periodo del 3 al 15 de enero de 2012. b) Espesor de las nieblas simuladas por HARMONIE usando las salidas del segundo día de cada simulación diaria. c) Espesor de las nieblas simuladas por WRF usando las salidas de la mejor combinación de parametrizaciones encontrada para la simulación de las nieblas

3.3 Ejercicios de sensibilidad

3.3.1 Capa límite atmosférica (PBL)

Para los ejercicios de sensibilidad a diferentes esquemas de PBL se han comparado resultados de los siguientes esquemas disponibles en el modelo WRF: 1. Mellor-Yamada Janjic (MYJ); 2. *Quasi Normal Scale Elimination* (QNSE); 3. Mellor-Yamada Nakanishi Niino 2.5 (MYNN 2.5); 4. MYNN 2.5 con la opción de caída gravitacional de gotitas (*gravity settling*) activada. Los resultados se muestran en la Fig. 3 y muestran como todas las parametrizaciones simulan nieblas los primeros días pero las extienden en exceso en la vertical (hasta más de 250 metros sobre el nivel del suelo). Todas las parametrizaciones tienen problemas en simular las nieblas asociadas a días con fuertes inversiones térmicas (nieblas someras cerca del suelo (día 10 en adelante)). Cabe destacar que el día 6, QNSE, especialmente diseñada para estratificaciones estables, es la única parametrización capaz de simular la niebla, aunque muy ligeramente.

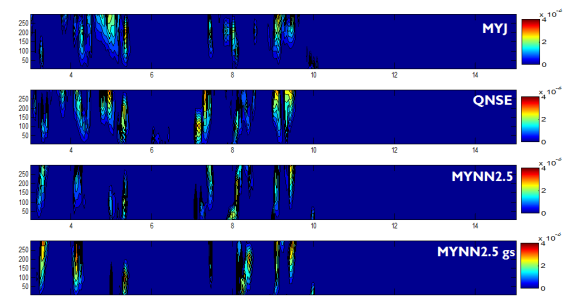


Figura 3. Contenido líquido acuoso (LWC) (g/kg) simulado para distintas parametrizaciones de PBL usadas en el modelo WRF para el periodo del 3 al 15 de enero de 2012. a) MYJ. b) QNSE. c) MYNN 2.5. d) MYNN 2.5 con la opción de *gravity settling*.

3.3.2 Microfísica

Para los ejercicios de sensibilidad a la microfísica (Fig. 4) se ha fijado la parametrización QNSE de PBL y se han comparado los siguientes esquemas de microfísica: WRF-*single-moment* 3 (WSM3), el esquema de Lin et al. y el esquema de Goddard et al. Cabe destacar como se obtienen algunas mejoras al usar esquemas de microfísica más complejos y que incluyen más fases, como Goddard et al. y Lin et al. Esto puede ser debido al hecho de que estos días se caracterizaron por temperaturas negativas.

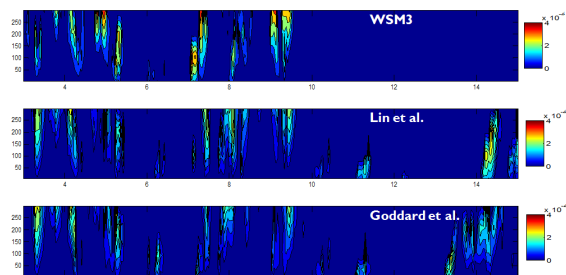


Figura 4. Contenido líquido acuoso (LWC) (g/kg) simulado para distintas parametrizaciones de microfísica usadas en el modelo WRF para el periodo del 3 al 15 de enero de 2012. a) WSM3. b) Lin et al. c) Goddard et al.

3.3.3 Uso de suelo

En este ejercicio de sensibilidad al uso de dos distintas bases de datos de uso de suelo (USGS y MODIS) se han fijado las parametrizaciones de QNSE y Goddard et al. para PBL y microfísica respectivamente. En la Fig. 5 se comprueba que el uso de una u otra base de datos no tiene efectos significativos en la simulación de estas nieblas, aunque la definición de los usos de suelo sea ligeramente distinta entre una y otra (más heterogeneidad en MODIS) (no mostrado).

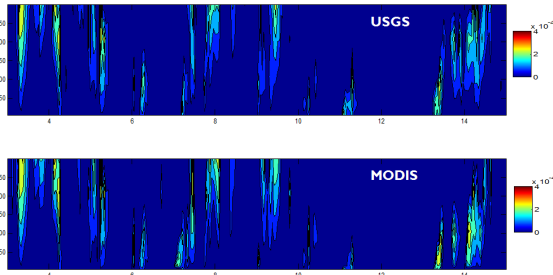


Figura 5. Contenido líquido acuoso (LWC) (g/kg) simulado frente al uso de las dos bases de datos de uso de suelo disponibles en el modelo WRF para el periodo del 3 al 15 de enero de 2012: a) USGS, b) MODIS.

3.3.4 Modelo de Suelo-superficie

Finalmente se han comparado los resultados obtenidos usando dos modelos distintos de *land-surface* o suelo-superficie: Noah y *Rapid Update Cycle* (RUC). En este caso se ha fijado QNSE, Goddard et al. y USGS. Como se observa en la Fig. 6, el modelo suelo-atmósfera RUC simula las nieblas los días en los que Noah no los simulaba. Sin embargo, esto se consigue mediante la combinación de dos errores. Por un lado, el modelo sobreestima la temperatura durante las noches (Fig. 7a), y por otro lado el modelo sobreestima la razón de mezcla durante las noches de estos días (Fig. 7b). Esta combinación de errores conlleva a la simulación de altos valores de humedad relativa (Fig. 7c), a la consiguiente condensación y por lo tanto las nieblas son simuladas.

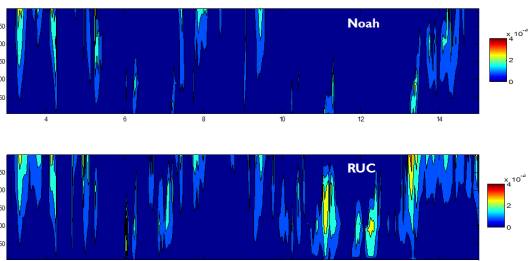


Figura 6. Contenido líquido acuoso (LWC) (g/kg) simulado frente al uso de dos esquemas de suelo-atmósfera de WRF para el periodo del 3 al 15 de enero de 2012: a) Noah, b) RUC.

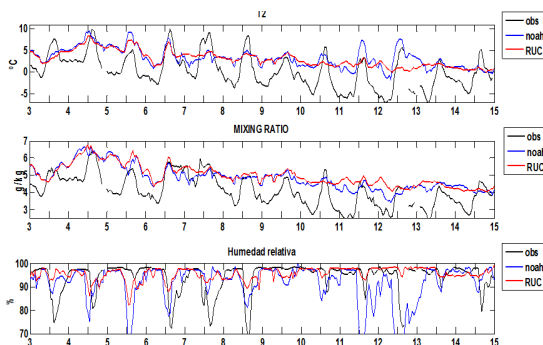


Figura 7. Series temporales observadas en CIBA (negro) y simuladas por el modelo WRF con los esquemas de

suelo noah (azul) y RUC (rojo) para el periodo del 3 al 15 de enero de 2012. a) Temperatura a 2 m. b) Razón de mezcla a 2 m (g/kg). c) Humedad relativa a 2 m (%)

3.4 Uso de distintos alcances con HARMONIE

La Fig. 8 muestra la simulación de las nieblas por parte del modelo HARMONIE cuando se usan las primeras 24 horas de cada simulación y cuando se usa el segundo día de cada simulación diaria (cada simulación diaria simula las 48 horas siguientes). Destaca como la simulación de las nieblas mejora en muchos casos usando el segundo día de cada simulación (+24 h hasta +48 h). Esto es un efecto que destaca la importancia de las condiciones iniciales en las simulaciones. El hecho de que las simulaciones a 2 días simulen la niebla se debe a que el modelo ha sido capaz de simular la niebla durante el primer día y le resulta más fácil simular la niebla el segundo día. Sin embargo, los resultados de las simulaciones usando el primer día están altamente influenciados por las condiciones iniciales de la simulación, y si estas condiciones eran erróneas (por ejemplo comienza con no-niebla cuando realmente existía la niebla), las dificultades para simular la niebla serán mayores. Aun así, se ha comprobado que el modelo HARMONIE también simula las nieblas excesivamente en la vertical (hasta 300 m sobre el nivel del suelo) (no mostrado).

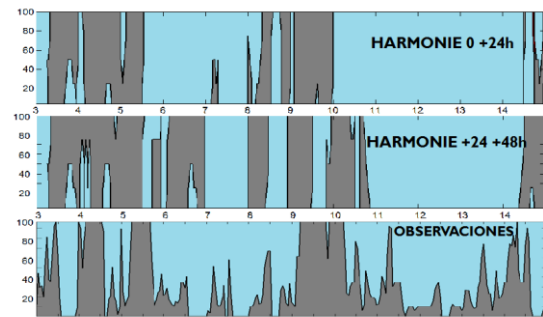


Figura 8. a) Espesor (m) de las nieblas simuladas por HARMONIE usando las salidas del primer día de cada simulación diaria. b) Espesor (m) de las nieblas simuladas por HARMONIE usando las salidas del segundo día de cada simulación diaria c) Espesor (m) estimado (observaciones) de las nieblas de radiación en CIBA para el periodo del 3 al 15 de enero de 2012.

4. CONCLUSIONES

Un periodo de más de 10 días caracterizados por nieblas de radiación sobre la meseta norte de la Península Ibérica ha sido estudiado y simulado con los modelos WRF-ARW y HARMONIE. Este periodo estuvo asociado a noches con fuerte enfriamiento radiativo superficial e inversiones térmicas cerca de superficie, así como por vientos débiles y bajos valores de turbulencia.

Tanto el modelo WRF como el modelo HARMONIE tienen problemas para simular estas nieblas, especialmente durante nieblas muy someras y nieblas persistentes durante el día. Otro de los problemas es que simulan en exceso las nieblas en la vertical hasta alturas donde no se observan nieblas. En general, HARMONIE simula mejor los tiempos de aparición y disipación de las nieblas, excepto para nieblas muy someras asociadas a fuertes inversiones y temperaturas bajo cero cerca de superficie.

Se han realizado ejercicios de sensibilidad del modelo WRF frente a distintas parametrizaciones y se ha encontrado que la elección de uno u otro esquema de PBL o la elección de la base de datos de uso de suelo usada no influyeron significativamente en la predicción de estas nieblas. Por otro lado, esquemas más complejos de microfísica producen una mejor predicción de la niebla. El uso del modelo de tierra-superficie RUC simula mejor las nieblas someras en este periodo, pero mediante una combinación de errores para la simulación de temperatura y humedad específica.

Se ha realizado un ejercicio para comprobar los resultados simulando la niebla cuando se usan las salidas del primer día y segundo día por el modelo HARMONIE. Los resultados simulando las nieblas son mejores cuando se usan las salidas del segundo día, ya que el modelo simula mejor la niebla si esta ha sido simulada el día anterior (por ejemplo mediante la transformación de las nieblas en nubes bajas y su posterior bajada a superficie la noche siguiente). Estos resultados sugieren que la simulación de las nieblas está altamente influenciada por las condiciones iniciales.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por el Gobierno Español mediante los proyectos CGL2009-12797-C03-03, CGL2011-13477-E y CGL2012-37416-C04-02. Los autores quieren expresar su agradecimiento al Dr. Peláez y al Prof. Casanova por los datos del CIBA.

REFERENCIAS

Roach, W. T., Brown, R., Caughey, S. J., Garland, J. A., and Readings, C. J. (1976): The physics of radiation fog I – a field study. *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, **102**, 313–333.

Román-Cascón, C., Yagüe, C., Sastre, M., Maqueda, G., Salamanca, F., & Viana, S. (2012): Observations and WRF simulations of fog events at the Spanish Northern Plateau. *Adv. Sci. Res.*, **8**, 11–18. doi:10.5194/asr-8-11-2012

Van Der Velde, I. R., Steeneveld, G. J., Wichers Schreur, B. G. J., and Holtslag, A. A. M. (2010): Modeling and Forecasting the Onset and Duration of Severe Radiation Fog under Frost Conditions. *Mon. Weather Rev.*, **138**, 4237–4253.

Welch, R. M. and Welicki, B. A. (1986): The stratocumulus nature of fog. *J. Appl. Meteorol.*, **25**, 101–111.

Zhou, B. and Ferrier, B. S. (2008): Asymptotic Analysis of Equilibrium in Radiation fog. *J. Appl. Meteor. Clim.*, **47**, 1704–1722.