

Observaciones y simulaciones con WRF de un caso de estudio de niebla de radiación: Diciembre 2009.

C. Román-Cascón⁽¹⁾, C. Yagüe⁽¹⁾, M. Sastre⁽¹⁾, G. Maqueda⁽²⁾, F. Salamanca⁽³⁾ y S. Viana⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Dpto. Geofísica y Meteorología, Universidad Complutense de Madrid, España
(carlosromancascon@fis.ucm.es)

⁽²⁾ Dpto. Astrofísica y Ciencias de la Atmósfera, Universidad Complutense de Madrid, España

⁽³⁾ Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), Berkeley, CA, USA

⁽⁴⁾ AEMET, Barcelona, España

RESUMEN

Los fenómenos físicos involucrados en el ciclo de las nieblas no están bien comprendidos y por lo tanto no están del todo bien parametrizados en los modelos numéricos de predicción del tiempo (NWP *models* en inglés). Por tanto, actualmente no existe una buena predicción de nieblas.

En este trabajo se muestra un análisis observacional y numérico de un caso de estudio de niebla de radiación sobre la meseta norte de la Península Ibérica. El caso de estudio corresponde a los días 10, 11 y 12 de diciembre de 2009, que incluyen un periodo de niebla persistente durante casi 36 horas, sin disipación durante el día, resultando un evento muy interesante de analizar y simular.

En este trabajo se analizan distintas variables meteorológicas y parámetros turbulentos, destacando los bajos valores de velocidad del viento y velocidad de fricción en los momentos en los que la niebla persistente está establecida. El periodo analizado ha sido también simulado con el modelo mesoescalar WRF-ARW, cuyo interés está en aumento en la comunidad científica y de predicción operativa debido a las numerosas posibilidades que tiene a la hora de la elección de las diferentes parametrizaciones y opciones físicas a usar. En concreto, en este estudio se comparan 3 esquemas de capa límite atmosférica (*PBL* en inglés), además de 3 esquemas de capa superficial y una opción de caída gravitatoria de gotas de nube/niebla.

Se muestran los resultados obtenidos por el modelo en términos de contenido líquido acuoso (*LWC* en inglés), observándose diferencias entre las 3 parametrizaciones usadas y comparando con las observaciones obtenidas en el CIBA. De este modo, se comprueba como ninguno de los esquemas elegidos es capaz de simular correctamente la niebla, especialmente el evento de niebla persistente. A pesar de esto, se observa cómo el esquema de MYNN2 (Mellor-Yamada Nakanishi & Niino) y QNSE (*Quasi Normal Scale Elimination*) son los que ligeramente obtienen mejores resultados.

ABSTRACT

The physical processes affecting the fog cycle are not well understood and therefore, they are not completely well parameterized by the Numerical Weather Prediction (NWP) models. There is not a good forecasting of fogs yet.

An observational and numerical analysis of a case study of radiation fog over the Spanish Northern Plateau is shown in this study. The case study corresponds to the days 10, 11 and 12 December 2009. These days include a period of persistent fog during almost 36 hours without dissipation during the day. It results a very interesting event to analyze and simulate.

In this work, several meteorological and turbulent parameters are analyzed. It is important to note the low values of wind speed and friction velocity during the moments when the persistent fog was well formed. The studied period has also been simulated with the mesoscale model WRF-ARW. The use of this model is increasing by the scientific and operational community due to the several possibilities that it has choosing different physical options. In this study 3 different Planetary Boundary Layer (PBL) parameterizations and 3 surface layer schemes are compared. Finally, an option of gravity settling of cloud/fog droplets has been tested.

The results of the simulations are shown in terms of liquid water content (LWC). The results have been compared to observations and some differences were observed in the results depending on the PBL scheme used. None of the schemes was able to correctly simulate the fog, especially during the persistent fog event. Despite this, it has been observed how MYNN2 (Mellor-Yamada Nakanishi & Niino) and QNSE (*Quasi Normal Scale Elimination*) obtained slightly better results.

1. INTRODUCCIÓN

El correcto conocimiento de los fenómenos físicos que afectan al ciclo de las nieblas es de vital importancia para la predicción de este fenómeno a

partir de simulaciones numéricas de los modelos de predicción del tiempo (*NWP models* en inglés). Sin embargo, los procesos físicos que afectan a la formación, desarrollo y disipación de nieblas no están aún bien comprendidos y por tanto, no están suficientemente bien parametrizados en dichos modelos. En concreto, entender cómo la turbulencia afecta a la niebla es un tema de actual controversia. Algunos autores (Welch & Welicki, 1986) afirman que la turbulencia actúa favoreciendo la formación de nieblas, mientras que otros (Roach et al., 1976) estiman que ayuda a la disipación. Estudios recientes (Zhou and Ferrier, 2008) parecen indicar que existe un valor umbral de turbulencia por encima del cual se ayudaría a la disipación y por debajo del cual se ayudaría a la formación de las nieblas, necesitándose un valor mínimo de turbulencia para ayudar a su desarrollo vertical. Existen numerosos trabajos que estudian y simulan nieblas bajo diferentes condiciones, usando distintos modelos y parametrizaciones. De ellos se obtiene la conclusión de que la mejora en la predicción de nieblas es un objetivo aún por conseguir (Van der Velde et al., 2010).

En este estudio se pretende analizar un evento de niebla acaecido durante diciembre de 2009 sobre la meseta norte de la Península Ibérica. Para ello se estudiará el comportamiento de diferentes parámetros meteorológicos obtenidos con la instrumentación disponible en el CIBA. Este es un lugar idóneo para la formación de nieblas de radiación durante los meses de otoño-invierno.

El caso de estudio corresponde a los días 10, 11 y 12 de diciembre de 2009, incluyendo un periodo de niebla persistente durante más de 36 horas, sin disipación durante el día. Es por ello por lo que resulta un evento muy interesante de analizar y simular.

En este trabajo se muestran distintas variables meteorológicas y parámetros turbulentos, destacando los bajos valores de velocidad del viento y velocidad de fricción en los momentos en los que la niebla persistente está establecida.

El periodo analizado ha sido también simulado con el modelo mesoescalar WRF-ARW, cuyo interés está en aumento en la comunidad científica y de predicción operativa debido a las numerosas posibilidades que tiene a la hora de la elección de las diferentes parametrizaciones y opciones físicas a usar. En concreto, en este estudio se comparan 3 esquemas de capa límite atmosférica (PBL en inglés), cada una de las cuales incorpora alguna mejora frente a las otras. Algunas son seleccionadas por su mejor comportamiento durante condiciones de estratificación estable (condiciones esperadas antes del establecimiento y desarrollo de la niebla). También se han comparado 3 distintos esquemas de capa superficial y se ha comprobado el efecto que obtenemos al usar la opción de caída gravitatoria de gotas de nube/niebla. Se muestran los resultados

obtenidos por el modelo en términos de contenido líquido acuoso (*LWC* en inglés), observándose diferencias entre las 3 parametrizaciones usadas y comparando con las observaciones obtenidas en el CIBA.

2. DATOS

Para la realización de este estudio se han usado datos que provienen de instrumentación emplazada en el Centro de Investigación de la Baja Atmósfera (CIBA) (41°49' N, 4°56'W, 840m) (Fig. 1), situado a unos 25km al noroeste de Valladolid sobre una extensa altiplanicie conocida como Montes Torozos. Esta altiplanicie tiene una extensión de unos 800km² y se eleva unos 40-60m sobre la cuenca del Duero, tratándose de un lugar idóneo para la formación de nieblas de radiación en invierno. Más información sobre el CIBA se puede consultar en Cuxart et al. (2000).

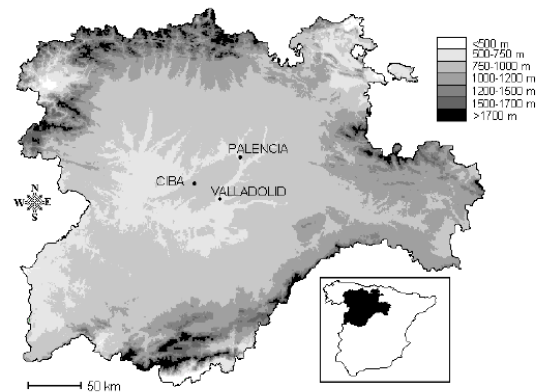


Fig 1.- Localización del CIBA.

La instrumentación usada (anemómetros, termómetros, higrómetros, microbarómetros y anemómetros sónicos) estaba instalada en dos torres de 10m y 100m de altura.

También se usó información de visibilidad de informes METAR del aeropuerto de Valladolid-Villanubla. Este aeropuerto está situado 14.5km al SE del CIBA, y aunque debido a la homogeneidad del terreno era esperado que las condiciones en ambos sitios fueran las mismas, ha sido comprobado cómo no siempre existe una completa simultaneidad en la niebla ya que esta adquiere a veces un carácter más local. A pesar de este hecho, esta información de visibilidad ha sido usada para apoyar las medidas de humedad relativa mayores al 95%, umbral definido para indicar niebla en el CIBA.

En los informes METAR, visibilidades menores a 1000m indican niebla y visibilidades entre 1000m y 5000m se usan para indicar bruma.

3. MODELO WRF

Para llevar a cabo las simulaciones se ha usado el modelo mesoescalar WRF-ARW (Skamarock et al., 2008) versión 3.3.1 para simular este periodo de nieblas de 3 días. Primero se compararon 3 distintas parametrizaciones de PBL usando las parametrizaciones de Mellor-Yamada Janjic (MYJ), QNSE (*Quasi Normal Scale Elimination*) y MYNN2 (Mellor-Yamada Niino Nakanishi 2.5 level). Posteriormente se realizó una comparación de 3 esquemas distintos de capa superficial: Eta, MM5 y MYNN. Finalmente, se estudió el efecto de la opción de “*gravity settling*” o caída gravitacional de gotas de nube/niebla, disponible cuando se usa la parametrización de capa límite MYNN2.

Debido a que no existen medidas observacionales de *LWC* para este periodo en el CIBA, se ha realizado una comparación entre los valores de *LWC* simulados por WRF y la asunción de nieblas en el CIBA usando un criterio de humedad relativa a 10m mayor al 95%, datos siempre apoyados por la información de visibilidad del aeropuerto de Villanubla-Valladolid, localizado a unos 10km del CIBA.

4. RESULTADOS

El caso de estudio tratado corresponde al periodo 10-11-12 de diciembre de 2009. La Fig. 2 muestra la imagen de satélite del canal visible para el día 11 de diciembre a las 14:00 UTC. En ella se observa como las nieblas persistieron durante las horas centrales de este día en varias zonas de la Península Ibérica, entre ellas en la meseta norte donde se encuentra localizado el CIBA. La situación sinóptica estuvo dominada por altas presiones situadas sobre la Península Ibérica (Fig. 3), con cielos despejados y vientos débiles, permitiendo así el enfriamiento radiativo nocturno necesario para producir la condensación cerca de la superficie que dará lugar a la niebla.

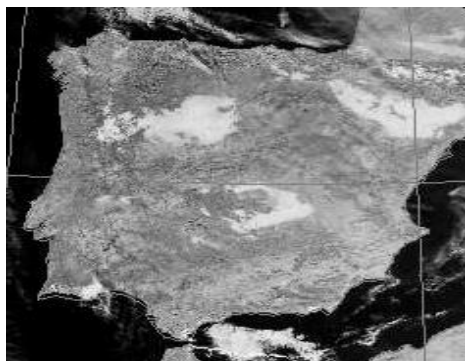


Fig. 2.- Imagen de satélite del CANAL VISIBLE (MODIS) para el 11 Diciembre de 2009 a las 14:00 UTC. Fuente: NOAA (www.sat.dundee.ac.uk).

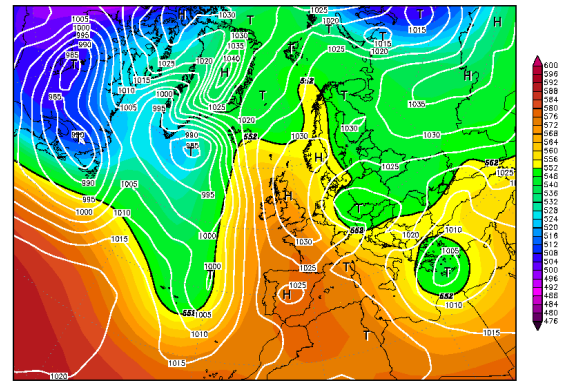


Fig. 3.- Altura geopotencial 500hPa (dmgp) y Presión reducida a nivel del mar (hPa) para el 11 de diciembre de 2009 a las 00:00 UTC. Fuente: Reanálisis de NCEP (www.wetterzentrale.de)

El periodo de 3 días ha sido dividido en 2 eventos (Fig. 4). El primer evento es un caso de niebla densa (visibilidades de menos de 500m) desarrollada alrededor de las 00.00 UTC del día 10 de diciembre y disipada a las 11.30 UTC aproximadamente del mismo día. El segundo evento de niebla fue un caso de niebla formada aproximadamente a las 01:00 UTC del día 11 de diciembre y persistente durante casi 36 horas, sin disipación durante el día. Atendiendo a los altos valores de humedad relativa (Fig. 4a) a 97m, se puede entender que la niebla tuvo al menos esa altura durante algunos momentos. La Fig. 4b muestra la temperatura a diferentes niveles, dónde se puede observar una importante inversión térmica previa durante las noches que alcanza a veces el nivel de 97m.

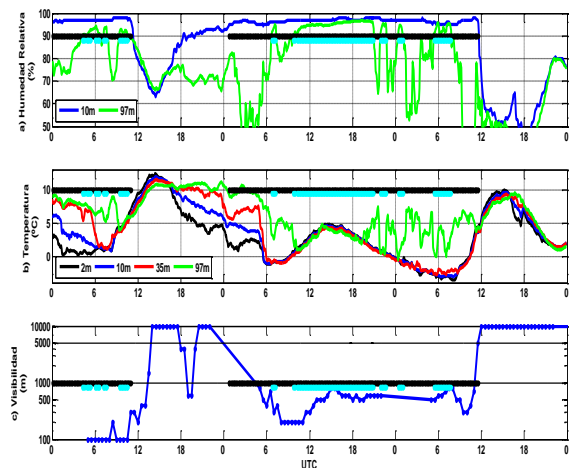


Fig. 4.- a) Humedad relativa (%) en 10m (azul) y en 97m (verde). b) Temperatura (°C) en diferentes niveles: 2m (negro), 10m (azul), 35m (rojo), 97m (verde). c) Visibilidad (m) proveniente de informes METAR del aeropuerto de Valladolid-Villanubla.

Las líneas horizontales negras indican humedad relativa en 10m superior al 95% y las líneas horizontales azul claro indican humedad relativa en 97m superior al 90%.

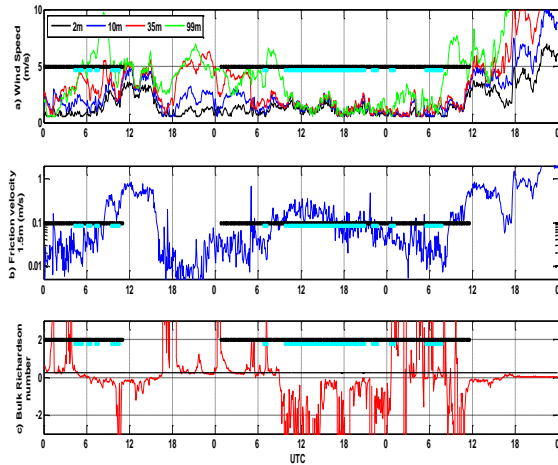


Fig. 5.- a) Velocidad del viento (m/s) en diferentes niveles: 2m (negro), 10m (azul), 35m (rojo), 99m (verde). b) Velocidad de fricción (m/s) en 1.5m. c) Número de Richardson calculado entre 10m y 1.5m. La línea horizontal negra fina indica el valor de 0.25

Las líneas horizontales negras indican humedad relativa en 10m superior al 95% y las líneas horizontales azul claro indican humedad relativa en 97m superior al 90%.

La Fig. 4c indica la visibilidad de los informes METAR provenientes del aeropuerto de Valladolid-Villanubla, situado a unos 10km del CIBA. Estos datos han servido para apoyar la suposición de nieblas con humedades relativas mayores a 95% a 10m en el CIBA. Dada la homogeneidad del terreno, se esperaba que las condiciones en ambos sitios fueran similares, no obstante, se ha comprobado como a veces la niebla tiene un carácter heterogéneo, observándose en uno sitio y en otro no. La Fig. 5 muestra velocidad del viento en distintos niveles (a), velocidad de fricción en 1.5m (b) y el número de Richardson calculado entre los niveles de 10m y 1.5m (c). Son destacables los bajos valores de velocidad del viento durante el evento 2 de niebla persistente, incluso en 97m, haciendo desaparecer prácticamente la cizalla vertical del viento durante el día. También son destacables los bajos valores de velocidad de fricción en 1.5m durante el día 11 de diciembre, siendo estos valores unos 0.5 m s^{-1} menores al día anterior. Este es un claro ejemplo de relación entre turbulencia y niebla. En el día 10 de diciembre, los valores de velocidad de fricción fueron suficientemente altos como para disipar la niebla, sin embargo, durante el día siguiente, estos valores, indicativos de turbulencia mecánica, fueron más bajos, aunque suficientes para extender en vertical la niebla, sin favorecer su disipación. El número de Richardson indica periodos estables durante las noches. Esta estabilidad se acerca a la neutralidad cuando la niebla queda bien establecida y extendida en la vertical. Durante el día tenemos condiciones inestables, aunque estos valores de inestabilidad se acercan algunos momentos a la neutralidad.

4.1 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN CON WRF

La Fig. 6 muestra el *LWC* simulado por el modelo WRF en 10m (a) y en 90m (b). Atendiendo al evento de niebla 1, el esquema de capa límite de MYJ predice una buena hora de formación de niebla y en general simula bastante bien la niebla, aunque predice una disipación algo más temprana que la observada. La parametrización QNSE produce relativamente bien la niebla durante la mañana, pero después predice una incorrecta transformación de la niebla en nubes bajas. La parametrización de MYNN2 simula una niebla excesivamente persistente durante la tarde.

Para el evento 2 (caso de niebla persistente), el esquema de MYJ no fue capaz de simular la niebla en ningún momento. QNSE predice una anticipada formación de la niebla y una incorrecta disipación durante el día. Los resultados de MYNN2 son ligeramente mejores, siendo capaz de mantener la niebla durante algo más tiempo que QNSE durante el día, pero produciendo también una incorrecta disipación durante el día. En resumen, puede afirmarse que ninguno de los esquemas usados fue capaz de simular la niebla correctamente, aunque para el evento de niebla 2, MYNN2 y QNSE producen mejores resultados.

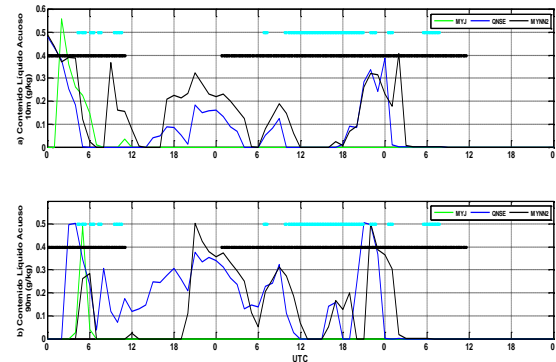


Fig. 6.- a) Contenido líquido acuoso (*LWC*) (g/kg) en 10m simulado por el modelo WRF para tres parametrizaciones diferentes de capa límite: MYJ (verde), QNSE (azul), MYNN2 (negro). b) Lo mismo que en a) pero en 90m. - Las líneas horizontales negras indican humedad relativa en 10m superior al 95% y las líneas horizontales azul claro indican humedad relativa en 97m superior al 90%.

Para la comparación realizada de las tres parametrizaciones de capa superficial usadas (Fig. 7), se concluye que el uso de una u otra no produce diferencias significativas en los resultados, solo pequeñas diferencias locales entre ellas.

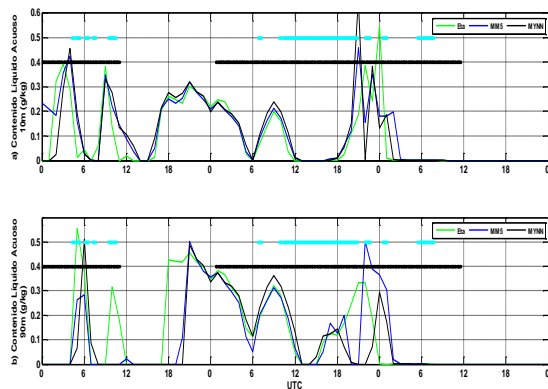


Fig. 7.- a) Contenido líquido acuoso (*LWC*) (g/kg) en 10m simulado por el modelo WRF para tres parametrizaciones de capa superficial diferentes: Eta (verde), MM5 (azul), MYNN (negro). b) Lo mismo que en a) pero en 90m. - Las líneas horizontales negras indican humedad relativa en 10m superior al 95% y las líneas horizontales azul claro indican humedad relativa en 97m superior al 90%.

El uso de la opción de caída gravitatoria de gotas de nube/niebla produce diferencias en los resultados de *LWC* simulados por el modelo (Fig. 8). En general, el efecto fue producir menos *LWC*, una niebla más superficial, más cercana al suelo y también una disipación más rápida que cuando esta opción no es utilizada.

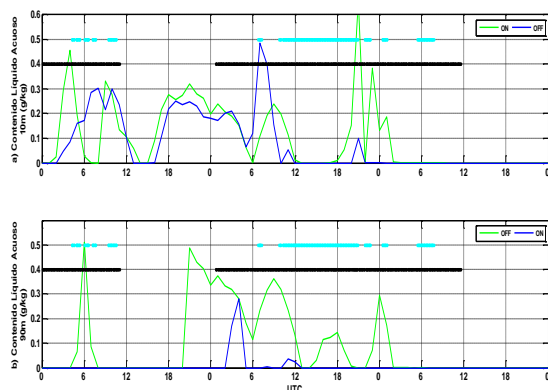


Fig. 8.- a) Contenido líquido acuoso (*LWC*) (g/kg) en 10m simulado por el modelo WRF usando (azul) y sin usar (verde) la opción de caída gravitatoria de gotas de nube/niebla. b) Lo mismo que en a) pero en 90m. - Las líneas horizontales negras indican humedad relativa en 10m superior al 95% y las líneas horizontales azul claro indican humedad relativa en 97m superior al 90%.

5. CONCLUSIONES

Un caso de estudio de niebla difícil de simular ha sido analizado observacionalmente y simulado con el modelo mesoescalar WRF. La dificultad de este caso de estudio estuvo en parte causada por la persistencia de la niebla durante el día.

Ninguna de las parametrizaciones de capa límite fue capaz de simular correctamente la niebla, especialmente el caso de niebla persistente, no obstante, los esquemas de MYNN2 y QNSE

(especialmente diseñada para estratificación estable) obtuvieron los mejores resultados, siendo MYNN2 ligeramente más realista. Posiblemente, el hecho de que MYNN2 sea un esquema de nivel 2.5 e incorpore una predicción más compleja de términos subrejilla de energía cinética turbulenta (*TKE* en inglés) ayude a mejorar esta simulación.

El esquema de capa superficial elegido no fue muy importante en cuanto a los resultados de *LWC*.

La opción adicional de caída gravitatoria de gotas de nube/niebla produjo menos *LWC* en general y una niebla más somera y cercana al suelo, lo cual aumentaba generalmente el realismo de la simulación en algunos momentos. Por otro lado esta opción también producía una disipación más rápida que en la realidad, lo cual empeoraba la simulación en otros momentos.

Estos resultados son apoyados por cálculos de parámetros estadísticos (RMSE y *bias*) calculados en otros estudios (Román-Cascón et al., 2012).

6. REFERENCIAS

Cuxart, J., Yagüe, C. Morales, G., Terradellas, E., Orbe, J., Calvo, J., Fernandez, A., Soler, M.R., Infante, C., Buenestado, P., Espinalt, A., Joergensen, H.E., Rees, J.M., Vilá, J., Redondo, J.M., Cantalapiedra, I.R. and Conangla, L. (2000): Stable Atmospheric Boundary-Layer Experiment in Spain (SABLES 98): A report. *Bound-Layer Meteorol.*, **96**, 337-370.

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.

Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Duda, M.G., Huang, X-Y., Wang, W., Powers, J.G. (2008): A description of the advanced research WRF version 3. NCAR Technical note, NCAR/TN-475+STR, 113 pp.

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.

AGRADECIMIENTOS

* Proyecto CGL2009-12797-C03-03 del Ministerio de Ciencia e Innovación.

* Grupos de Investigación (Micrometeorología y Variabilidad Climática: 910437) financiados por el Banco Santander y la Universidad Complutense de Madrid (Financiación Santander-UCM: GR35/10).