

SIMULACIONES DE TRANSICIONES DE LA CAPA LÍMITE ATMOSFÉRICA CON EL MODELO WRF: CASOS DE ESTUDIO DE LA CAMPAÑA BLLAST

Mariano Sastre⁽¹⁾, Carlos Yagüe⁽¹⁾, Gert-Jan Steeneveld⁽²⁾, Carlos Román-Cascón⁽¹⁾ y Gregorio Maqueda⁽³⁾.

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

⁽²⁾ Meteorology and Air Quality Section, Wageningen University and Research, The Netherlands.

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

RESUMEN

Usando simulaciones numéricas con el modelo WRF se analizan las transiciones vespertinas en la capa límite atmosférica, tomando para la validación casos de estudio de la campaña internacional BLLAST. Combinaciones de tres parametrizaciones de capa límite (PBL) del modelo y otros tres esquemas de superficie terrestre (LSM) se han utilizado para analizar la sensibilidad de WRF a estos dos aspectos, así como su mejor o peor ajuste con los datos observacionales. Aparecen mayores discrepancias entre las salidas del modelo en las que se ha variado LSM manteniendo PBL fija respecto al caso opuesto (cambiar PBL con LSM fijo). Además, la estructura vertical de la baja atmósfera y la evolución temporal en superficie presentan diferente grado de acuerdo entre las simulaciones y las observaciones para una misma combinación de PBL y LSM.

ABSTRACT

WRF numerical simulations are employed to analyze atmospheric boundary layer evening transitions. BLLAST field campaign case studies are considered for validation. Combinations of three boundary layer (PBL) parameterizations of the model and three land surface schemes (LSM) have been used to study the sensitivity of WRF to these two aspects, as well as the agreement with observations. Fixing PBL and varying LSM provides largest discrepancies of model outputs among themselves than the opposite experiment (fixing LSM and varying PBL). In addition, the vertical structure of the lower atmosphere and the time evolution of surface variables have different agreement between the simulations and observations for the same combination of PBL and LSM.

1.- INTRODUCCIÓN

Como parte de la baja atmósfera, la capa límite planetaria (PBL, por sus siglas en inglés) es la región de la troposfera que se encuentra más próxima a la superficie terrestre, y por lo tanto influenciada de manera directa por ella (Stull, 1988). Puesto que se trata de la zona de la atmósfera donde el ser humano habita y mayoritariamente lleva a cabo sus actividades, comprender adecuadamente los procesos físicos que tienen lugar en ella, así como la evolución temporal de la misma es de especial interés, no solo en el ámbito científico, sino también de forma más amplia para el conjunto de la sociedad. Un mejor conocimiento de esta capa de la atmósfera, ligado a su adecuada modelización, resulta fundamental para distintas aplicaciones, como son la predicción numérica del tiempo y de la calidad del aire en determinados momentos del día o la modelización de diversos aspectos del clima (Baklanov et al., 2010).

Puesto que la PBL es un sistema dinámico, en su evolución temporal deben considerarse los procesos de interacción tierra-atmósfera, por ejemplo los flujos de energía, momento y humedad, sin olvidar las variaciones de las concentraciones de partículas. Más concretamente, los cambios que tienen lugar en la PBL desde una situación convectiva (bien mezclada, típicamente diurna) a una situación con propiedades de estratificación estable (habitual en noches de cielo despejado y vientos débiles) es conocida como transición vespertina o nocturna. En dicha transición frecuentemente hay una confluencia de diferentes forzamientos, opuestos entre sí, entre los cuales no se aprecia de forma sistemática una predominancia clara. Este hecho constituye una dificultad añadida de cara a obtener una mejor comprensión del proceso. Para paliar este déficit de conocimiento de la transición, diversos esfuerzos se están llevando a cabo en los últimos años, con objeto

de incrementar las observaciones y profundizar en la modelización de la transición vespertina o nocturna en la capa límite atmosférica. El proyecto BLLAST –Boundary Layer Late Afternoon and Sunset Turbulence– (<http://boc.sedoo.fr>) es uno de ellos, el cual está enfocado en el estudio del decaimiento de la turbulencia en la PBL. Tal estudio consta de dos vertientes principales: desde el punto de vista observacional (campana experimental en junio y julio de 2011 en un emplazamiento del sur de Francia próximo a los Pirineos; Lothon et al., 2014) y a través de las simulaciones numéricas (grupos de trabajo con modelos meteorológicos). En este último aspecto, las líneas de trabajo principales están orientadas a tratar de entender y corregir las discrepancias con las observaciones hasta ahora encontradas (Svensson et al., 2011; Angevine et al., 2014).

2.- METODOLOGÍA

Se han realizado simulaciones numéricas con el modelo atmosférico mesoescalar WRF-ARW (Skamarock et al., 2008). Las principales características de estas simulaciones se resumen en la Tabla 1.

MODELO (VERSIÓN)	WRF-ARW (3.4.1)
CONDICIONES INICIALES Y DE CONTORNO	Datos ECMWF (niveles de presión). Resolución: 0.15°; cada 6 h
RESOLUCIÓN HORIZONTAL	3 dominios anidados Rejillas de: 9, 3 y 1 km
RESOLUCIÓN VERTICAL	50 niveles verticales eta (28 entre suelo y 1000m)
TIME STEP	30 s
SPIN UP	12 h
ESQUEMAS PBL	YSU / MYJ / QNSE
ESQUEMAS LSM	5-lay. / NOAH / RUC

Tabla 1.- Resumen de características de las simulaciones llevadas a cabo.

Se analizan los valores de variables atmosféricas en superficie, como la temperatura o el flujo de calor sensible, durante el ciclo diario y también de perfiles verticales (viento, temperatura potencial), prestando especial atención al periodo de la transición vespertina. Los casos de estudio corresponden a periodos de observación intensiva durante la campana BLLAST y son días relativamente poco perturbados por sistemas sinópticos. Concretamente, se ha trabajado con las transiciones del 24 y el 25 de junio de 2011, dos transiciones de días consecutivos y con situación de estabilidad en altura en el entorno de los Pirineos (Figura 1), es decir, en la zona donde tuvo lugar la campana BLLAST.

Se han considerado tres parametrizaciones de capa límite (PBL: YSU, MYJ y QNSE) del modelo y otros tres esquemas de superficie terrestre (LSM: 5-

lay., NOAH y RUC) para analizar la sensibilidad de WRF a estos dos aspectos. Se realizan dos tipos de experimentos: en primer lugar se fija PBL y se varía LSM; a continuación se fija LSM y se varía PBL.

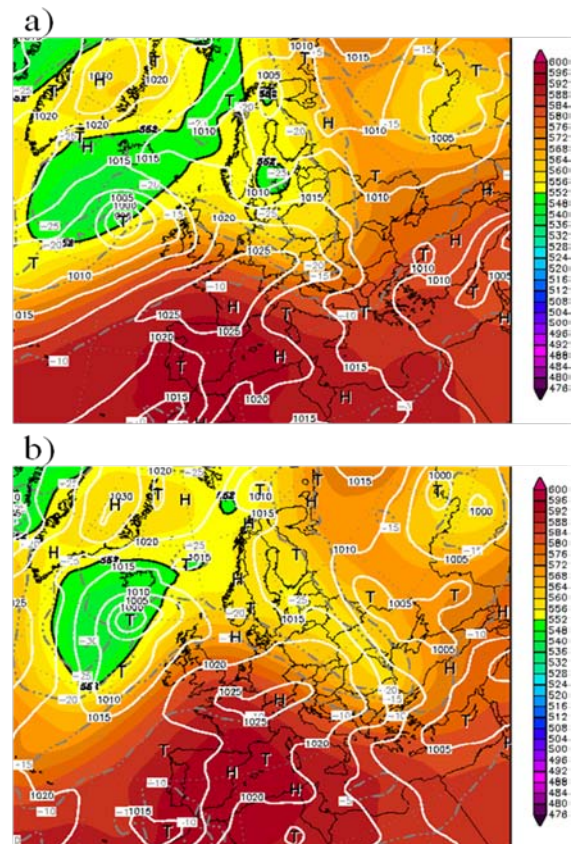


Fig. 1.- Altura geopotencial en 500 hPa (contornos de color) y presión en superficie (líneas blancas) a partir del modelo GFS, representativos de la situación sinóptica durante la transición vespertina de los días: a) 24 de junio de 2011, b) 25 de junio de 2011.

3.- RESULTADOS

3.1 – Sensibilidad PBL/LSM

El primer experimento consiste en fijar una de las opciones de PBL y variar entre las 3 de LSM. Este proceso se repite para los otros dos esquemas de PBL. Después se realiza el procedimiento opuesto: se fija cada una de las opciones de LSM y se varía entre las 3 de PBL. De este modo, comparando los resultados que se obtienen para una misma variable meteorológica se puede analizar la sensibilidad que tiene el modelo a estos dos aspectos (PBL y LSM). Los resultados que se obtienen muestran que, cuando se fija el esquema de PBL, generalmente aparecen diferencias de mayor consideración entre las simulaciones con diferentes LSM que cuando fijamos LSM y variamos entre los tres esquemas de PBL. Es decir, el modelo es más sensible a cambios en el esquema de LSM que en la parametrización de PBL. La evolución temporal del flujo de calor sensible (SH) es representativa de estos resultados (Figura 2).

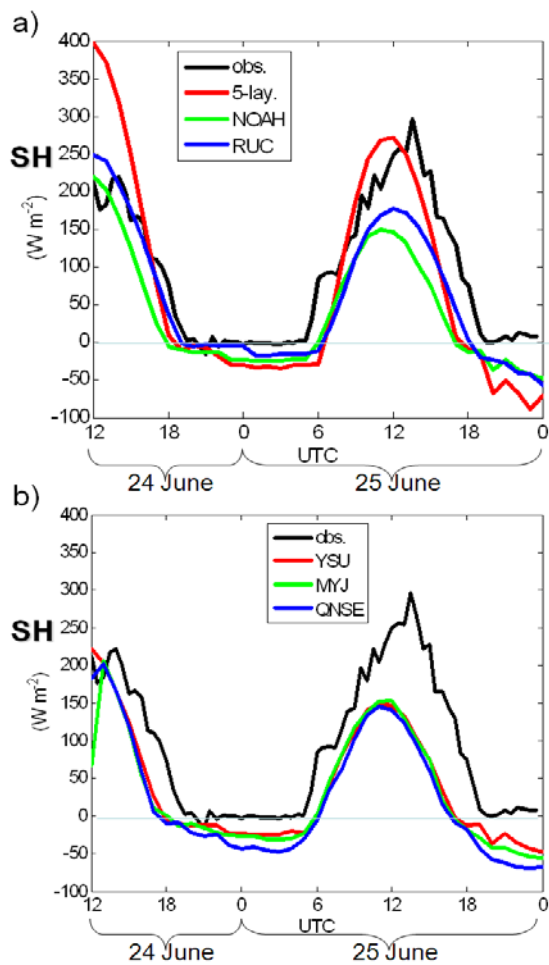


Fig. 2.- Evolución temporal del flujo de calor sensible (SH) observado (curva negra) y simulado (curvas de colores) para: a) un esquema fijo de PBL (YSU), con cada uno de los 3 esquemas de LSM seleccionados, b) un esquema fijo de LSM (NOAH) con cada uno de los 3 esquemas de PBL evaluados.

3.2 – Perfiles verticales

Se ha realizado un análisis comparativo de la información que proporcionan las simulaciones sobre la estructura vertical de la baja atmósfera, así como las diferencias que hay entre los resultados de las diversas combinaciones de LSM y PBL.

Dos aspectos principales se consideran para evaluar estas simulaciones de perfiles de temperatura potencial (Figura 3 y Figura 4): la proximidad del valor en superficie que proporciona el modelo respecto a las observaciones y la correcta representación de la altura de la capa límite (esto es más relevante). Para la primera de las transiciones (Figura 3) las simulaciones con RUC proporcionan globalmente los mejores resultados cerca de la superficie, pero infraestiman de manera considerable la altura de la capa límite. En cambio, la combinación de 5-lay y YSU proporciona un valor de la altura de la capa límite muy próximo al de las observaciones, a pesar de sobreestimar en superficie casi 2°C la temperatura potencial (Figura 3a).

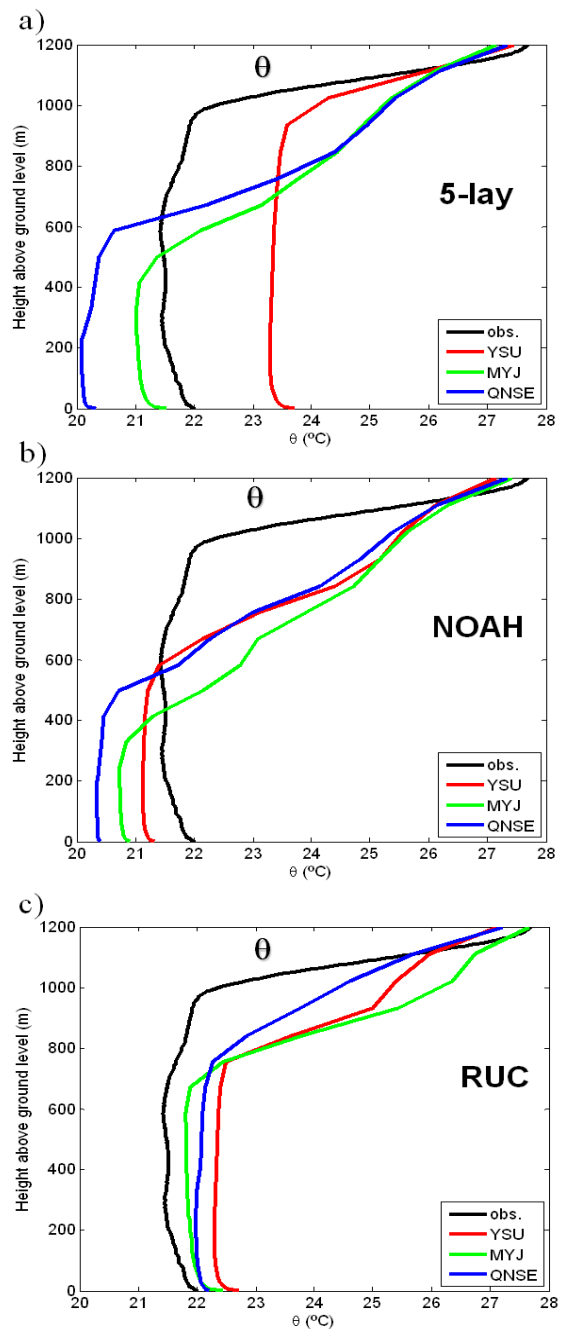


Fig. 3.- Observaciones (curva negra) y simulaciones (curvas de colores) del perfil vertical de temperatura potencial el día 24 de junio de 2011 a las 1700 UTC para cada uno de los esquemas de LSM: a) 5-lay., b) NOAH, c) RUC.

El perfil de la transición del día siguiente (25 de junio) presenta algunas diferencias, tanto en las observaciones como en las simulaciones (Figura 4). De acuerdo con las observaciones, se trata de un día más caluroso que el anterior: los valores en superficie son unos 7°C superiores a los del día previo. Además, la altura de la capa límite es varios centenares de metros inferior, debido probablemente a una intrusión de aire cálido que minimiza la convección y el calor sensible superficial.

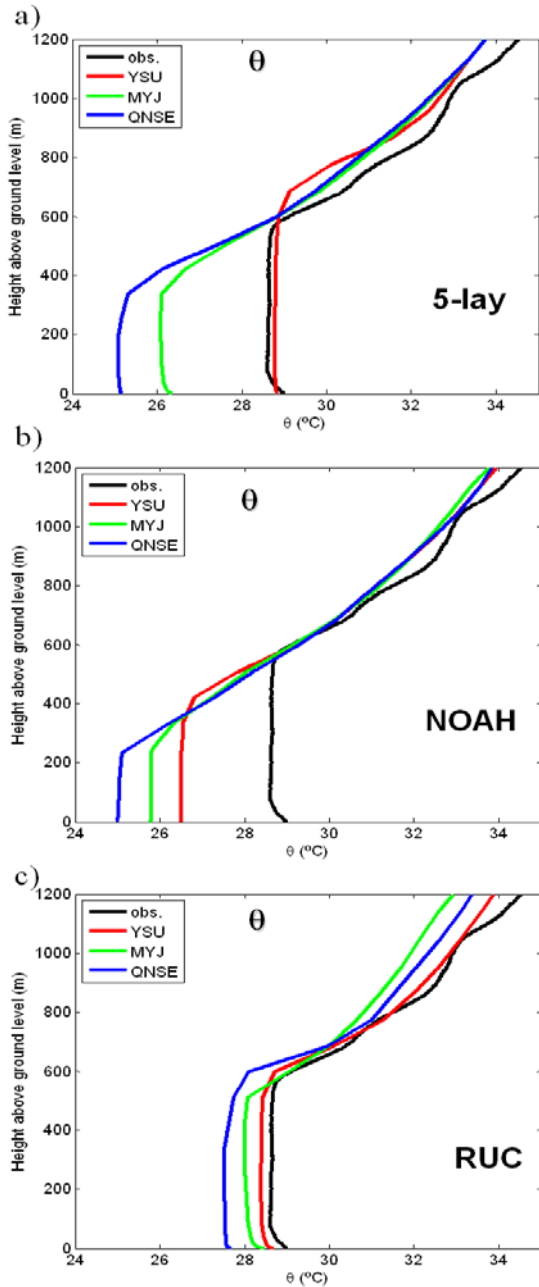


Fig. 4.- Observaciones (curva negra) y simulaciones (curvas de colores) del perfil vertical de temperatura potencial el día 25 de junio de 2011 a las 1700 UTC para cada uno de los esquemas de LSM: a) 5-lay., b) NOAH, c) RUC

Las simulaciones que el día anterior sobreestimaban la temperatura potencial ahora infraestiman (RUC) o proporcionan un mejor ajuste en superficie (5-lay. con YSU). También se aprecia una mejora sustancial en algunos de los casos (RUC) que en la transición del 24 de junio infraestimaban la altura de la capa límite (Figuras 3c y 4c). Por lo tanto, es destacable el hecho de que, aunque los perfiles observados de temperatura potencial de ambas transiciones presentan diferencias significativas, el modelo es capaz de representar ambos casos de manera bastante razonable, aunque con distintas combinaciones de LSM y PBL en cada situación.

3.3 – Evolución temporal fijando LSM: 5-lay

Se ha analizado la evolución temporal de diferentes variables atmosféricas en superficie fijando un determinado LSM. Se escoge el esquema 5-lay. por ser con el que se presentan mayores variaciones entre las diferentes PBL en los perfiles verticales, en comparación con los casos en que se fija alguno de los otros dos LSM (Figuras 3 y 4). Además, al tratarse del esquema más sencillo, a priori resulta más fácil interpretar sus resultados.

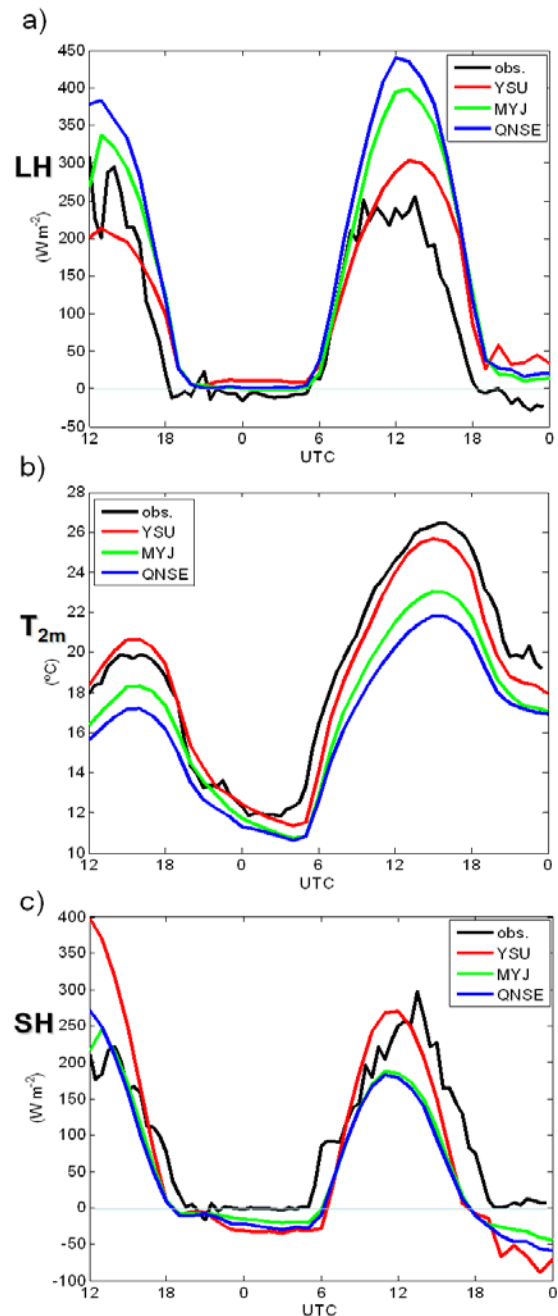


Fig. 5.- Evolución temporal (días 24 y 25 de junio de 2011) de las observaciones y simulaciones con el esquema LSM fijo de 5-lay. de: a) el flujo de calor latente, b) la temperatura del aire a dos metros del suelo, c) el flujo de calor sensible.

En la Figura 5 se muestra la evolución del flujo de calor latente (LH), la temperatura del aire a dos metros del suelo (T2m) y el flujo de calor sensible (SH). Es destacable la sobreestimación de LH al mediodía, que afecta también al periodo de transición. Este hecho es más acusado en el segundo de los días (25 de junio), y ocurre para las tres parametrizaciones de PBL en mayor o menor medida, aunque la parametrización de YSU es la que tiene un mejor comportamiento. La mencionada sobreestimación de LH probablemente sea debida a que el modelo simule más evaporación de la que realmente tiene lugar. Tal hecho repercute de manera directa en la temperatura del aire en las proximidades del suelo, ocurriendo una sobreestimación del enfriamiento radiativo en superficie de forma generalizada durante las dos transiciones vespertinas estudiadas. A su vez, la infraestimación de la temperatura provoca que el modelo simule un flujo de calor sensible menor que el observado en el periodo de transición.

4.- CONCLUSIONES

Se han encontrado mayores discrepancias entre las salidas del modelo en las que se ha variado LSM manteniendo PBL fija, respecto al caso opuesto (cambiar PBL con LSM fijo). Esto sugiere que elegir adecuadamente el esquema de LSM favorecerá obtener en las simulaciones resultados más ajustados a las observaciones, mientras que el tipo de PBL prescrita servirá para afinar más, pero no se esperan, en general, cambios bruscos por cambiar de una parametrización de PBL a otra.

Por otra parte, la combinación de los esquemas más sencillos de PBL (YSU) y LSM (5-lay.) proporciona globalmente buenos resultados (incluso a veces los mejores de entre las combinaciones usadas). Esto puede ser debido en parte a que en los esquemas más avanzados, en determinadas situaciones, su propia complejidad los hace introducir nuevas fuentes de errores.

Además, se ha observado cómo la estructura vertical de la baja atmósfera y la evolución temporal en superficie presentan diferente grado de acuerdo entre las simulaciones y las observaciones para una misma combinación de PBL y LSM, resultando relativamente frecuente que la mejor combinación para representar la estructura vertical no proporcione los mejores resultados en la evolución temporal en superficie.

REFERENCIAS

Angevine, W.M., Bazile, E., Legain D., Pino, D. (2014): Land surface spinup for episodic modeling. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 14, 4723–4744 doi:10.5194/acpd-14-4723-2014

Baklanov, A., Grisogono, B., Bornstein, R., Mahrt, L., Zilitinkevich, S., Taylor, P., Larsen, S., Rotach, M., Fernando, H.J.S. (2010): On the nature, theory, and modelling of atmospheric planetary boundary layers, *Bull. Amer. Met. Soc.*, 92, 123–128.

Lothon, M., y 65 coautores (2014): The BLLAST field experiment: Boundary-Layer Late Afternoon and Sunset Turbulence. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 14, 10789–10852 doi: 10.5194/acpd-14-10789-2014

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.

Stull, R.B. (1988): An Introduction to Boundary Layer Meteorology. Kluwer, Dordrecht, 666 pp.

Svensson, G., y 24 coautores (2011): Evaluation of the diurnal cycle in the atmospheric boundary layer over land as represented by a variety of single-column models: the second GABLS experiment. *Bound.-Layer Meteorol.*, 140, 177–206.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de todas las personas involucradas en el proyecto BLLAST y en especial a las que participaron en la campaña experimental de medidas en junio-julio de 2011.

Este estudio se ha llevado a cabo con financiación de varios proyectos de investigación de convocatorias del Plan Nacional (Gobierno de España): CGL2009-12797-C03-03, CGL2011-13477-E y CGL2012-37416-C04-02.

M. Sastre ha sido beneficiario de una bolsa de viaje para jóvenes científicos otorgada por la Asociación Meteorológica Española (AME) para presentar este trabajo en las XXXIII Jornadas Científicas de la AME - 15º Encuentro Hispano-Luso de Meteorología.