

# SIMULACIÓN DEL CLIMA DE LA PENÍNSULA IBÉRICA: SENSIBILIDAD AL MODELO DE SUELO

S.Jerez<sup>(1,2)</sup>, J.P. Montávez<sup>(2)</sup>, J.J. Gómez-Navarro<sup>(2)</sup>,  
S.B. Navarro<sup>(2)</sup>, J.A. García-Valero<sup>(3)</sup>, J.F. González-Rouco<sup>(4)</sup> y F. Valero<sup>(4)</sup>

(1) Instituto Euromediterráneo del Agua, Ctra. Nacional 301, Edificio 27, 30100 Espinardo, Murcia, [sonia.jerez@gmail.com](mailto:sonia.jerez@gmail.com)

(2) Dpto. de Física, Universidad de Murcia, Centro de investigación en Óptica y Nanofísica (CiOyN), Campus de Espinardo, 30071 Murcia, [montavez@um.es](mailto:montavez@um.es)

(3) Instituto Nacional de Meteorología, Avda de la Libertad 11, 30071 Guadalupe, Murcia, [agvalero@inm.es](mailto:agvalero@inm.es)

(4) Dpto. de Astrofísica y C. C. de la Atmosférica, Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid, [fidelgr@fis.ucm.es](mailto:fidelgr@fis.ucm.es)

## 1. Introducción

Las simulaciones climáticas de alta resolución llevadas a cabo con modelos climáticos de área limitada se están convirtiendo en una herramienta muy común en el campo de la climatología (Hewitson, 1996; McGuffie and Henderson-Sellers, 2001; Wang et al., 2004; Montávez et al., 2002, 2006).

Las razones para ello son varias. Por un lado, el gran crecimiento del poder computacional ha permitido que este tipo de modelos se puedan integrar en ordenadores personales. Por otro lado, hay una gran demanda de bases de datos en el campo de las energías renovables. Normalmente no se dispone de registros en todos los lugares o su extensión temporal no es suficiente para una correcta evaluación del recurso. Las bases de datos pseudoreales generadas con este tipo técnicas, *downscaling* dinámico, son una buena aproximación para afrontar este problema (Frank and Landberg, 1997; Prior et al., 2005). Otro ejemplo aparece con la necesidad de la obtención de escenarios de cambio climático regionales, obtenidos tanto por técnicas de regionalización dinámicas como estadísticas, que cada son más demandadas por distintos sectores de la sociedad. La capacidad de este tipo de modelos para representar las circulaciones regionales y su sensibilidad a distintos parámetros, como el uso de suelo, fracción de vegetación, acoplamiento con la superficie, etc, los convierte en una herramienta fundamental para estudios sobre proyección, detección y atribución del cambio climático a escalas regionales (Hernandez et al., 2006; Liang et al., 2006; Boo et al., 2004a,b; O.B. Christensen, 2004; Monaghan et

al., 2006), así como para mejorar el conocimiento de los distintos procesos involucrados en el clima regional (Fischer et al., 2007; Seneviratne et al., 2006).

Por todo ello, la evaluación de la capacidad de dichos modelos para reproducir el clima observado de una zona determinada y la búsqueda de configuraciones óptimas se convierte en una tarea fundamental. En la bibliografía se pueden encontrar una gran variedad de estudios que ponen a prueba la sensibilidad del modelo a la configuración física (Fernández et al., 2007; Lynn et al., 2004), a la disposición de los dominios (Denis et al., 2002, 2003), al empleo de técnicas de *nudging* y asimilación de datos, a la vegetación (Pielke, 2001) etc. o incluso al modelo elegido (Evans et al., 2005; Christensen et al., 1997).

La Península Ibérica presenta una gran heterogeneidad climática, debido tanto a su posición respecto a la circulación noratlántica como a su compleja orografía (Font-Tullot, 2000). Ello la convierte en un escenario ideal para estudiar la bondad los modelos climáticos regionales. Fernández et al. (2007) mostraron que ninguna combinación de parametrizaciones resulta adecuada para todas las zonas, épocas del año o variable climática considerada, aunque sí se dislumbran ciertas combinaciones que tienden a dar mejores resultados. Por otro lado, varios trabajos (Fischer et al., 2007; Seneviratne et al., 2006) señalan la importancia del papel de las interacciones tierra-atmósfera a la hora de reproducir la variabilidad climática real en simulaciones regionales.

En este trabajo nos centramos fundamentalmente en la evaluación del modelo de tierra. Se plantean dos

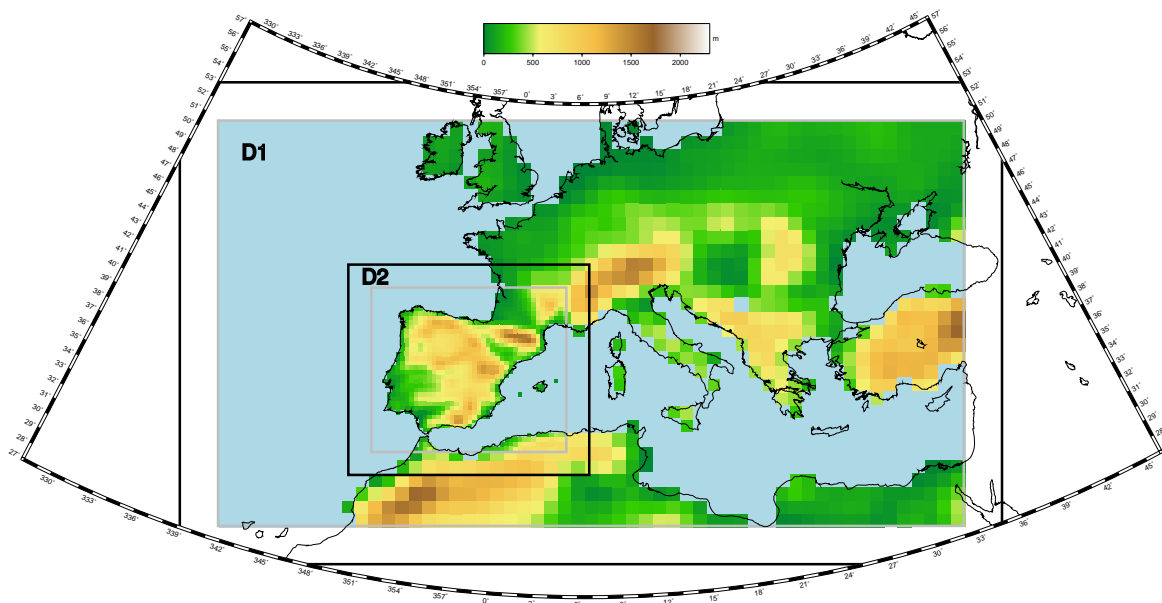


Figura 1. Dominios anidados D1 y D2 utilizados en los experimentos. Se representa también la topografía vista por el modelo en cada uno de los dominios.

objetivos fundamentales: evaluar el papel del uso de un modelo de suelo en la reproducción del clima de la Península Ibérica (PI) acoplado al modelo MM5 (Grell et al., 1994) y estudiar la importancia de los procesos de realimentación atmósfera-suelo en situaciones de estrés hídrico. Nos centraremos tan solo en el comportamiento para la temperatura. Para ello se presentarán los resultados de integraciones de casi 50 años, alimentadas con los reanálisis del centro europeo de predicción a plazo medio utilizando dos modelos de suelo distintos.

En la Sección 2 se presentan los experimentos realizados, la metodología empleada y las bases de datos utilizadas. En la Sección 3 se lleva a cabo un análisis de la capacidad de ambos modelos para reproducir el ciclo anual y la variabilidad interanual. Finalmente se presentan las principales conclusiones del trabajo.

## 2. Datos y metodología

La regionalización dinámica ha sido llevada a cabo mediante una versión propia del modelo MM5 (Grell et al., 1994) adaptada para integraciones climáticas (Montávez et al., 2006). La configuración espacial utilizada ha consistido en dos dominios anidados bidireccionalmente con resolución de 90 y 30km respectivamente (ver Figura 1) y 23 niveles sigma con tu tope en 100mb. En cuanto a la configuración física del modelo, basándonos en los resultados de (Fernández et al., 2007), se ha utilizado: el esquema de humedad

implícita *simple ice* (Dudhia, 1989), la parametrización de cúmulos de Grell (Grell, 1993), el modelo no local de capa límite MRF (Hong and Pan, 1996), y el modelo radiativo RRTM (Mlawer et al., 1997).

Las condiciones de contorno utilizadas para conducir los distintos experimentos han sido los reanálisis ERA40 (Uppala et al., 2005) para el periodo 1958-2002, y los análisis operacionales hasta 2006. La resolución de estos datos es de 1,125°.

Para la evaluación de nuestros experimentos se han seleccionado un conjunto de 55 estaciones meteorológicas distribuidas por toda la PI (ver Figura 2). Los datos han sido proporcionados por la Agencia Española de Meteorología y el Instituto meteorológico portugués. Dicha base de datos consiste en series mensuales de temperaturas máxima, mínima y media, cubriendo el período 1958-2005. Para la comparación de los datos modelados con los datos reales, se ha utilizado una interpolación pesada con la distancia al punto de observación con los puntos de la rejilla más cercanos.

Los experimentos realizados han consistido en dos integraciones para el período 1958-2006, en las que se han utilizado dos modelos de suelo distintos. En el primer experimento (NOR) se ha utilizado un modelo simple de de cinco capas (Dudhia, 1996) en el que la temperatura del suelo se pronostica para cinco capas pero la humedad se define en función del uso de suelo y adquiere sólo dos valores estacionales diferentes (invierno y verano). En el segundo experi-

mento (LSM) MM5 se acopla al modelo de superficie *Noah* (Chen and Dudhia, 2001a,b). En este modelo se superan algunas de las mayores debilidades que presenta el esquema simple: se pronostican tanto la temperatura como la humedad de cuatro capas de suelo, escorrentías superficiales y acumulación subterránea de agua, cubiertas de nieve, se tiene en cuenta la evapotranspiración en función del tipo de suelo y vegetación, y se introducen efectos relacionados con la conductividad del suelo y los flujos gravitacionales de humedad.

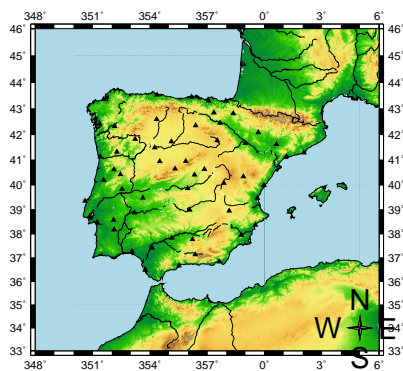


Figura 2. Red de estaciones empleadas en el estudio

### 3. Resultados

#### 3.1. Reproducción del ciclo anual de temperatura

La evaluación de la capacidad de las simulaciones para reproducir el ciclo anual de temperatura se lleva a cabo estudiando la diferencia entre los ciclos simulados y los que se obtienen de las series instrumentales calculados para el periodo 1958-2002. La bondad de las simulaciones se caracteriza mediante dos parámetros: la media de las diferencias en valor absoluto entre los ciclos simulados y los reales ( $|\Delta T|$ ), y la desviación estándar de estas diferencias con respecto a su media ( $\sigma(\Delta T)$ ). Un menor valor de dichos parámetros nos indicará un menor sesgo y un mejor acoplamiento entre los ciclos observados y simulados. En la Figura 3 se muestran los resultados de este análisis.

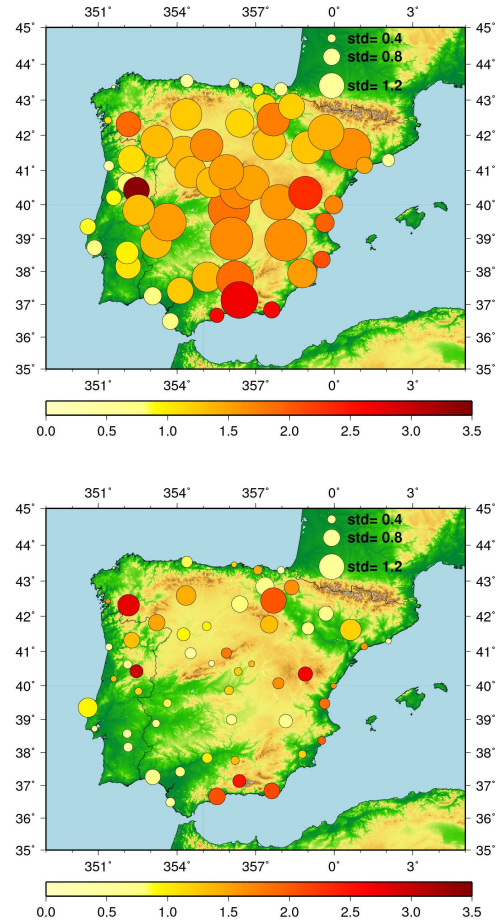


Figura 3. Evaluación de los ciclos anuales de temperatura obtenidos de la simulación (arriba) NOR y de la simulación (abajo) LSM. El color de las burbujas representa la media de las diferencias en valor absoluto el ciclo simulado y el instrumental ( $|\Delta T|$ ), y el tamaño la desviación estándar de estas diferencias con respecto a su media ( $\sigma(\Delta T)$ ). Periodo promediado: 1958-2002.

Comparativamente, la desviación media de los ciclos obtenidos de la simulación LSM es menor que la de los obtenidos de la simulación NOR, salvo excepciones en la franja cantábrica y en la costa de Portugal, obteniéndose una reducción del error del orden del 20-30 % en el resto de la PI. La mejora que se consigue en cuanto a la varianza del error es mayor, y no presenta excepciones significativas en toda la PI. Es decir, en términos generales, los ciclos anuales de temperatura obtenidos de la simulación LSM no sólo capturan mejor la magnitud real de cada mes, sino que sobre todo reproducen mejor los saltos entre meses consecutivos.

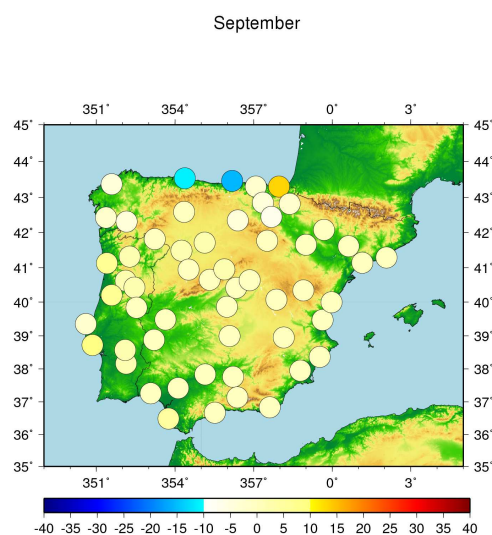
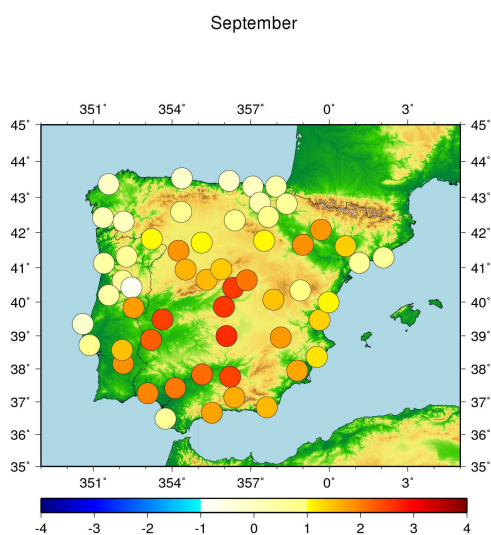
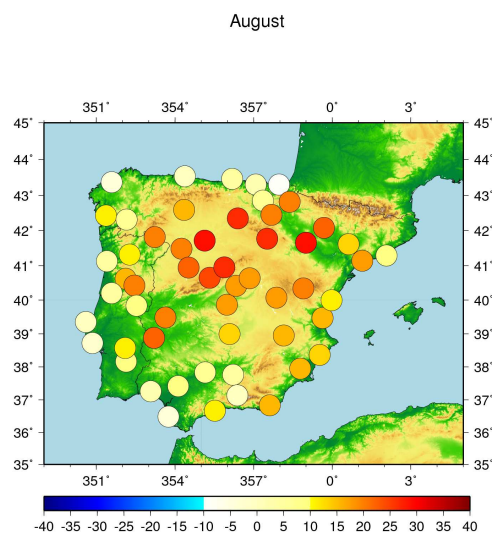
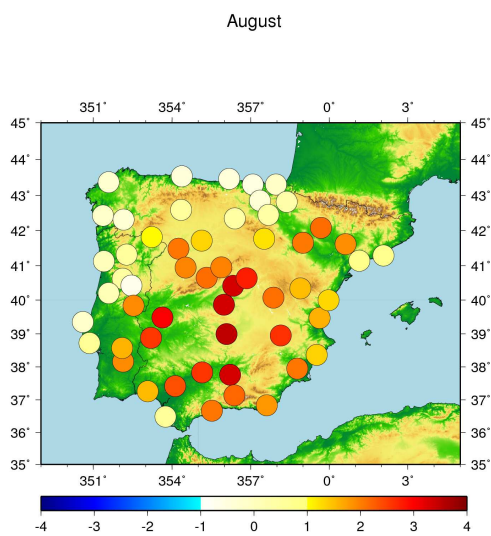
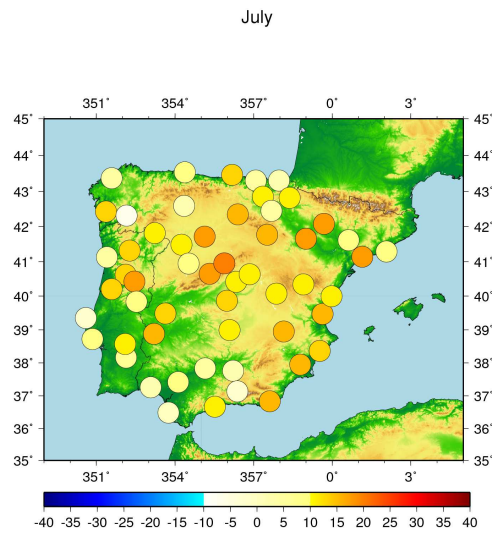
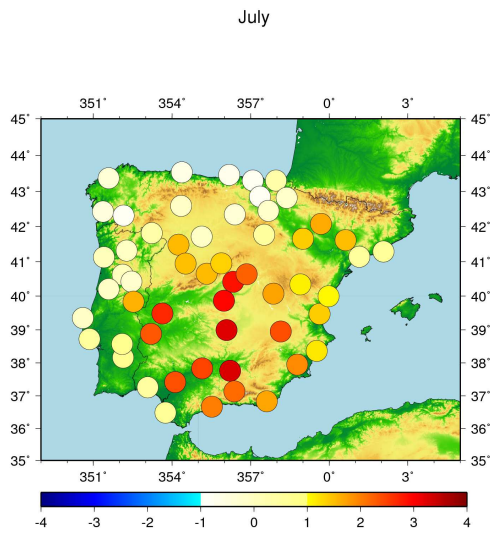


Figura 4. Mejora (valores positivos) o empeoramiento (valores negativos) en valor absoluto de la simulación LSM con respecto a la simulación NOR en la estimación de las temperaturas mensuales promediadas para el periodo 1958-2002 comparando con los registros instrumentales.

Figura 5. Porcentaje del error de la simulación NOR que se suple con la simulación LSM en la atribución de la probabilidad de cada mes de ser el en el que se alcance el máximo anual de temperatura (contando de las series mensuales de temperatura).

La mejor reproducción del ciclo anual viene dada fundamentalmente por el menor error de LSM en las estimación de las temperaturas veraniegas. En estos meses las dos simulaciones subestiman los valores observados, de modo que esas diferencias implican una mejora por parte de las simulación LSM (Figura 4), que simula temperaturas del orden de dos a tres grados superiores las simuladas en NOR.

Otro factor que contribuye a dicha mejora es la mejor reproducción del mes en el que se alcanzan las temperaturas máximas. En los datos observados, para la mayor parte de las estaciones el máximo de temperatura aparece con mayor frecuencia en el mes de Agosto. En el experimento NOR el mes en el que es más probable se alcance la temperatura mensual máxima del año es Julio prácticamente en toda la PI. En LSM dicha frecuencia disminuye, aumentando la probabilidad en Agosto, especialmente hacia el interior de la PI (Figura 5).

Otra mejora del experimento LSM, relacionada con el hecho anterior, es la mejora de la correlación espacial de los campos medios mensuales, especialmente en la estación estival. Es decir la estructura espacial del campo de temperatura es mejor reproducida por LSM.

### 3.2. Variabilidad interanual

En primer lugar se comprueba que experimento reproduce mejor el rango de variabilidad interanual de los datos mensuales. Para ello se han calculado los rangos interpercentílicos 75-25 ( $R_{75}$ ) y 90-10 ( $R_{90}$ ) de ambas simulaciones para cada mes. Los ciclos anuales de estos rangos son evaluados atendiendo a la media de las diferencias en valor absoluto entre los ciclos simulado e instrumental ( $|\Delta R|$ ). Salvo escasas excepciones en puntos de costa, la integración LSM introduce mejoras considerables: el error  $|\Delta R|$  de los ciclos obtenidos de la simulación LSM es menor que el de los obtenidos de la simulación NOR (Figura 6). Esta mejora es más pronunciada para los ciclos anuales de  $R_{90}$ , con una reducción del error del orden del 20-30 %, que para los de  $R_{75}$ . Es decir, LSM introduce una mayor varianza y por lo tanto demuestra una mayor capacidad para la reproducción de eventos extremos.

Para comprobar la capacidad para la reproducción de la variabilidad interanual, se han calculado los coeficientes de correlación para las series de cada mes. Ambos experimentos presentan un buen comportamiento para prácticamente todas los observatorios y durante el todo el año ( $\rho > 0.8$ ). No obstante la correlación empeora en los meses estivales ( $\rho > 0.5$ ), siendo incluso en algunos meses NOR superior a LSM (resultados no presentados).

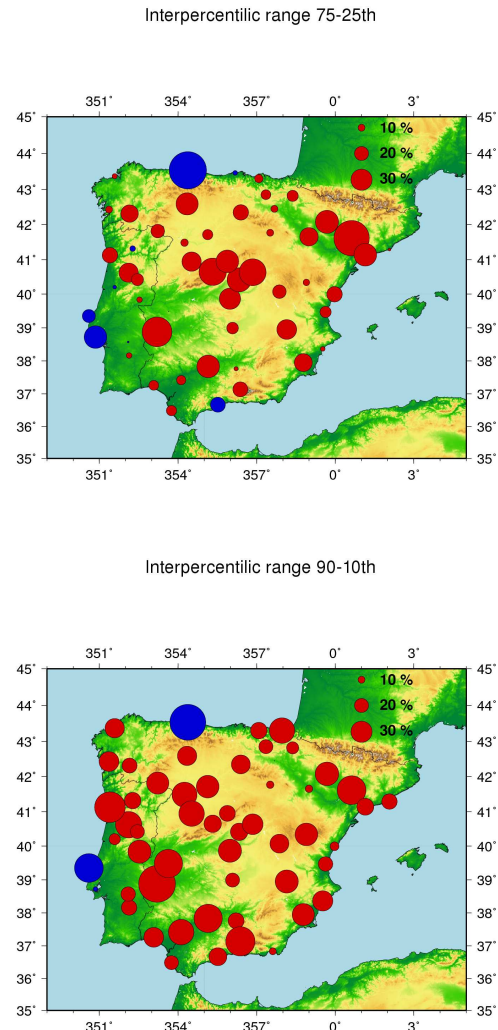


Figura 6. Cuantificación de las diferencias entre ambas simulaciones en la capacidad para reproducir los ciclos anuales de los rangos interpercentílicos 75-25 y 90-10 de temperatura respectivamente (obtenidos a partir de las series de temperatura media mensual, periodo 1958-2002), teniendo en cuenta  $|R|$ . El tamaño de las burbujas representa la reducción (color rojo) o el aumento (color azul) de este error, en %, que se consigue con la simulación LSM con respecto a la simulación NOR.

### 3.3. Influencia del acoplamiento tierra-atmósfera

La diferencia fundamental entre los dos modelos de suelo empleados en los experimentos está en el tratamiento de la humedad del suelo como una variable de pronóstico o como una cantidad prescrita por valores climatológicos que dependen del tipo de uso de suelo. La evolución de la temperatura está ligada a la humedad del suelo, debido a los flujos de calor latente dependientes de la humedad disponible. Por lo tanto, en situaciones extremas, fuertes anomalías de humedad

contenida en el suelo, deben aparecer grandes diferencias en la estimación de la temperatura.

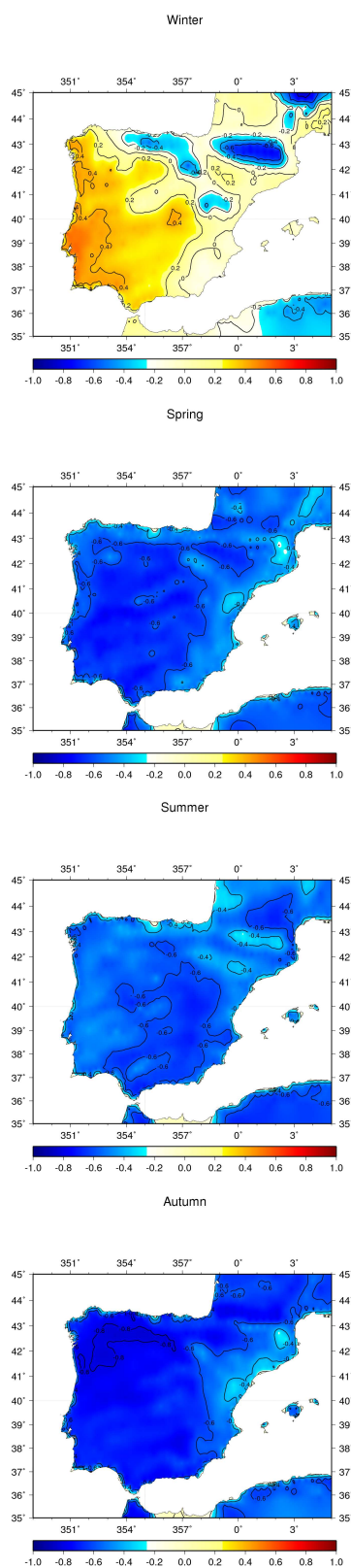


Figura 7. Correlación entre las series mensuales de temperatura y de humedad de la primera capa de suelo obtenidas de la simulación LSM para cada estación. Periodo: 1958-2006.

En la Figura 7 se muestran los resultados de las correlaciones estacionales entre las diferencias de temperatura de las simulaciones y el contenido de humedad en la capa más superficial del suelo del experimento LSM. Los resultados muestran una especial sensibilidad en las estaciones de primavera y otoño, con coeficientes de correlación superiores a 0.6 en la mayor parte de la PI, exceptuando la cordillera cantábrica. En verano es cuando la señal es más intensa, especialmente en el centro de la PI. En invierno la estructura espacial de correlación es más heterogénea y en general los valores son más bajos.

Para verificar la hipótesis de partida, se ha calculado la razón de Bowen (ver Figura 8) promediada mensualmente para todo el periodo. La estructura espacial está en total concordancia con las diferencias en las temperaturas simuladas en ambos experimentos, es decir la menor disponibilidad de agua hace que aumenten los flujos de calor sensible con el consiguiente aumento de temperatura.

Por otro lado, se ha verificado que la capacidad anteriormente descrita en LSM de captar mejor el mes de temperatura media máxima está relacionado con el contenido de humedad.

## 4. Conclusiones

En este trabajo se ha llevado a cabo un estudio sobre la sensibilidad de un modelo climático regional al modelo de suelo empleado y la capacidad para reproducir el clima de la PI. Se han llevado a cabo dos experimentos consistentes en realizar integraciones cubriendo el periodo 1958-2006 utilizando dos modelos de suelo distintos, siendo la mayor diferencia entre ellos el tratamiento de la humedad. En el experimento NOR la humedad disponible del suelo se mantiene fija y es prescrita al uso de suelo. En el experimento LSM se ha usado el modelo *Noah* en el que la humedad es una variable de pronóstico, y es calculada en función de los flujos de humedad en la superficie y las propiedades del suelo.

El modelo de tierra *Noah* introduce mejoras importantes en la reproducción del ciclo anual de temperatura media, tanto en la reducción del sesgo, principalmente en verano, como la mejor captación de la onda anual. También mejora la capacidad de captar el máximo de temperatura, y reproduce mejor la distribución espacial de temperaturas.

Ambos modelos reproducen de manera muy satisfactoria la variabilidad interanual para todos los meses de año, siendo algo peores los resultados a finales del verano donde incluso el modelo simple de 5 capas denota cierta mejoría. Las razones que ocasionan este comportamiento no esperado están siendo estudiadas. No obstante, el experimento utilizando *Noah*

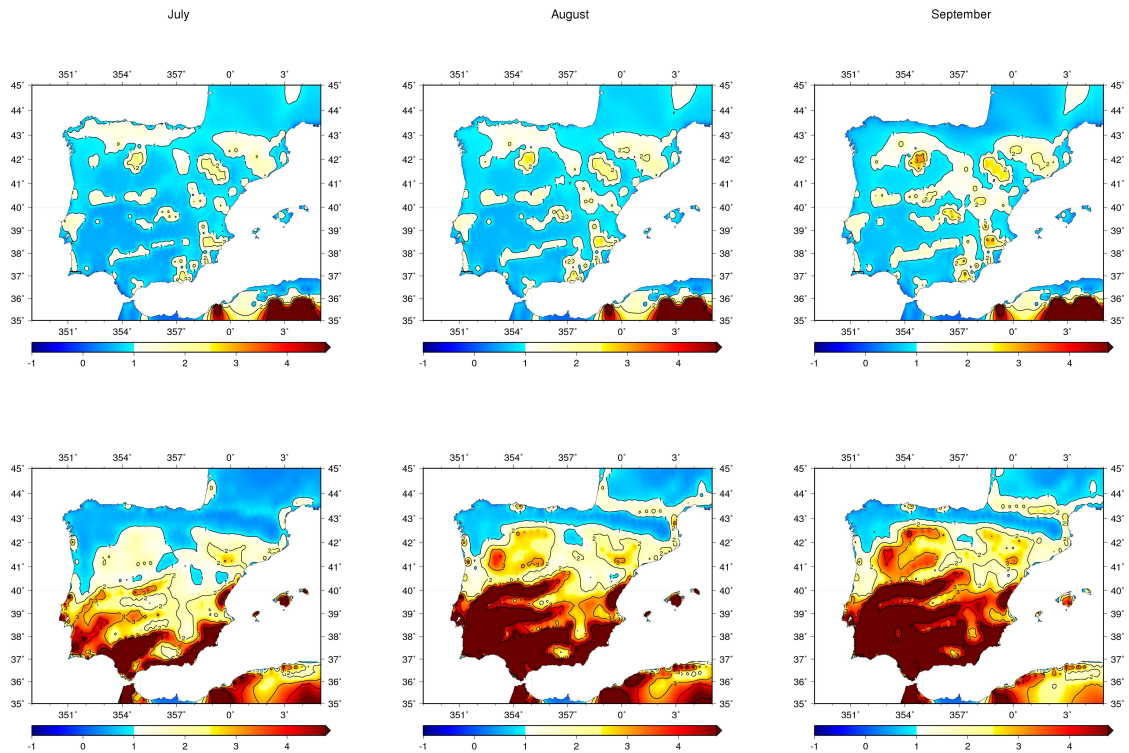


Figura 8. Razón de Bowen calculada a partir de las series de flujo de calor latente y sensible obtenidas de la simulación NOR (arriba) y de la simulación LSM (abajo) para cada mes. Periodo promediado: 1958-2006.

es capaz de reproducir mejor la varianza de las series mensuales.

La principal razón de estas mejoras está en la mayor variabilidad intrínseca al experimento LSM, inducida por la variabilidad de la humedad del suelo que permite que se desarrollen procesos de realimentación entre la superficie y la atmósfera que están inhibidos en el experimento NOR. Este hecho queda patente cuando se estudian las correlaciones entre las diferencias de temperatura entre ambos experimentos y el contenido de humedad en el suelo del modelo *Noah*. La menor disponibilidad de agua aumenta el flujo de calor sensible con el consiguiente aumento de la temperatura del aire.

Estos efectos de realimentación positiva explican mejor las situaciones extremas como ya han puesto de manifiesto otros autores (Seneviratne et al., 2006; Fischer et al., 2007). En escenarios de cambio climático sobre la PI dichos procesos podrían conllevar a un mayor aumento de la temperatura.

## Agradecimientos

Este trabajo se engloba dentro del proyecto CGL2005-06966-C07-04/CLI, financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia

Agradecemos a la AEMET y al Instituto de Meteorología Portugués la cesión de los datos observacionales utilizados en este trabajo y ECMWF por la libre disponibilidad de los datos de Reanálisis.

Juan José Gómez Navarro quiere agradecer al Ministerio de Educación y Ciencia la concesión de una beca FPU para la realización de su tesis doctoral. Así mismo, Sonia Jerez Rodríguez agradece al Instituto Euremediterráneo del Agua su financiación por medio de una beca de investigación. Los autores agradecen a la comunidad de Software Libre el tiempo dedicado a crear programas de calidad que son de gran ayuda en nuestro trabajo de investigación.