

# SIMULACIONES CLIMÁTICAS CON MODELOS REGIONALES: SENSIBILIDAD A LA ELECCIÓN DE PARAMETRIZACIONES

Juan Pedro MONTÁVEZ GÓMEZ\*, Jesús FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ\*\*, Jon SÁENZ AGUIRRE\*\*\*, Jesús Fidel GONZÁLEZ ROUCO\*\*\*\* y Eduardo ZORITA CALVO\*\*

\* Dpto. de Física. Universidad de Murcia. España.

\*\*Institute for Coastal Research, GKSS Research Centre, Geesthacht, Alemania.

\*\*\* Dpto. Física Aplicada II. Universidad del País Vasco. Leioa. España.

\*\*\*\* Dpto. de Astrofísica y CC de la Tierra, Universidad Complutense de Madrid. España

## RESUMEN

Los modelos regionales de clima presentan una serie de características que se dejan a la elección del usuario. Entre ellas, la selección de las parametrizaciones físicas más adecuadas para la zona a estudio o la resolución espacial a la que se desea realizar la simulación. La elección de unas u otras opciones determina el resultado de la simulación. El presente estudio analiza el impacto que tiene la selección de parametrizaciones en los resultados de un experimento anidado en los Reanálisis de NCEP/NCAR y centrado sobre la Península Ibérica. El estudio se centra en el ciclo anual de precipitación y temperatura superficial.

Palabras clave: Regionalización dinámica, modelos climáticos regionales, incertidumbre, parametrizaciones

## ABSTRACT

The regional climate models present a series of features to be decided by the user. Among them, the selection of the physical parameterizations more appropriate for the target area or the spatial resolution to perform the regional simulation. The selection of one or another option determines the resulting simulation. The present study analyzes the impact of the selection of different parameterizations in the results of an experiment nested into the NCEP/NCAR Reanalysis and centered over the Iberian Peninsula. The study focuses on the seasonal cycle of precipitation and surface temperature.

Key words: Dynamical downscaling, regional climate models, uncertainty, parameterizations

## 1. INTRODUCCIÓN

Los modelos globales de circulación (GCM) son las herramientas más utilizadas para la simulación clima pasado, presente y futuro. La información que proporcionan resulta útil para analizar las características generales de la circulación en respuesta a los forzamientos impuestos al modelo. Sin embargo, la capacidad de los GCMs para representar fenómenos a escalas regionales o locales es limitada debido principalmente a su escasa resolución (del orden de cientos de kilómetros). La información a escala regional es necesaria para analizar

los impactos climáticos. Para resolver esta diferencia de escalas, se han desarrollado en las últimas décadas una serie de técnicas, conocidas como técnicas de regionalización, que permiten explotar la información de gran escala proporcionada por los GCMs y su interacción con las características propias de una región para dar lugar a variables climáticas más realistas y adecuadas a la zona.

En particular, una de las técnicas utilizadas consiste en anidar un modelo dinámico de alta resolución dentro del GCM. Esto permite utilizar como condiciones de frontera la simulación proporcionada por el GCM y, a la vez, resolver con mayor precisión la orografía, costas y cobertura vegetal, dando lugar (potencialmente) a una distribución más realista de las variables climáticas. Estos modelos anidados suelen denominarse Modelos Climáticos Regionales (RCM)

En general, diferentes RCMs utilizan diferentes parametrizaciones físicas para representar aquellos fenómenos que ocurren a escalas espaciales inferiores a su tamaño de malla (típicamente del orden de decenas de kilómetros) y que, por tanto, el modelo no es capaz de resolver dinámicamente. Las diferentes parametrizaciones pueden resultar más eficaces a diferentes tamaños de malla o bien tener diferentes grados de complejidad (i.e. eficiencia computacional). La selección de parametrizaciones afecta al resultado de una simulación regional y, por lo tanto, deben ser elegidas para adecuarse lo más posible al área de interés.

El objetivo del presente estudio es analizar sistemáticamente el impacto de la elección de parametrizaciones en la representación del ciclo estacional de precipitación y temperatura en una serie de simulaciones regionales sobre la Península Ibérica. Las simulaciones se han llevado a cabo en periodo instrumental y la verificación se ha llevado a cabo comparando con datos de estaciones. Como objetivos secundarios se ha analizado también el papel que juegan la resolución espacial en la adecuación a los datos de verificación y la incertidumbre de las observaciones, mediante la comparación de las simulaciones con diferentes fuentes de datos.

## 2. DATOS

Para realizar las simulaciones se han utilizado condiciones de frontera proporcionadas por los Reanálisis del *Nacional Centers for Environmental Prediction/Nacional Center for Atmospheric Research* (NCEP/NCAR) (KALNAY *et al*, 1996). Se han empleado los datos cada 6 horas para el periodo de 5 años de 1985 a 1989.

Para validación se han empleado datos mensuales de precipitación en 88 estaciones sobre la península Ibérica homogeneizados en la Universidad Complutense de Madrid (UCM) (GONZÁLEZ-ROUCO *et al*, 2001) y observaciones de temperatura proporcionadas por los Institutos Nacionales de Meteorología de España y Portugal (INM).

## 3. MODELO REGIONAL

Las simulaciones regionales se han llevado a cabo con el sistema de modelización mesoescalar MM5 desarrollado en NCAR (GRELL *et al*, 1994). Es un modelo no hidrostático que permite el anidamiento telescópico de doble vía de varios dominios. Se ha elegido por su amplia difusión, lo que garantiza un sistema robusto frente a otros sistemas de uso cerrado. Además, dispone de una gran variedad de parametrizaciones físicas, lo cual nos permite llevar

a cabo la comparación objetivo de este estudio utilizando el mismo núcleo dinámico y preprocesado de datos de frontera.

La configuración de dominios utilizada se muestra en la figura 1. Hemos anidado dos dominios. El primero (D1) cubre la Península Ibérica, la zona del Este del Atlántico Norte y el Oeste del Mediterráneo con una resolución de 135 Km. El segundo se centra en el área peninsular con una resolución de 45 Km.

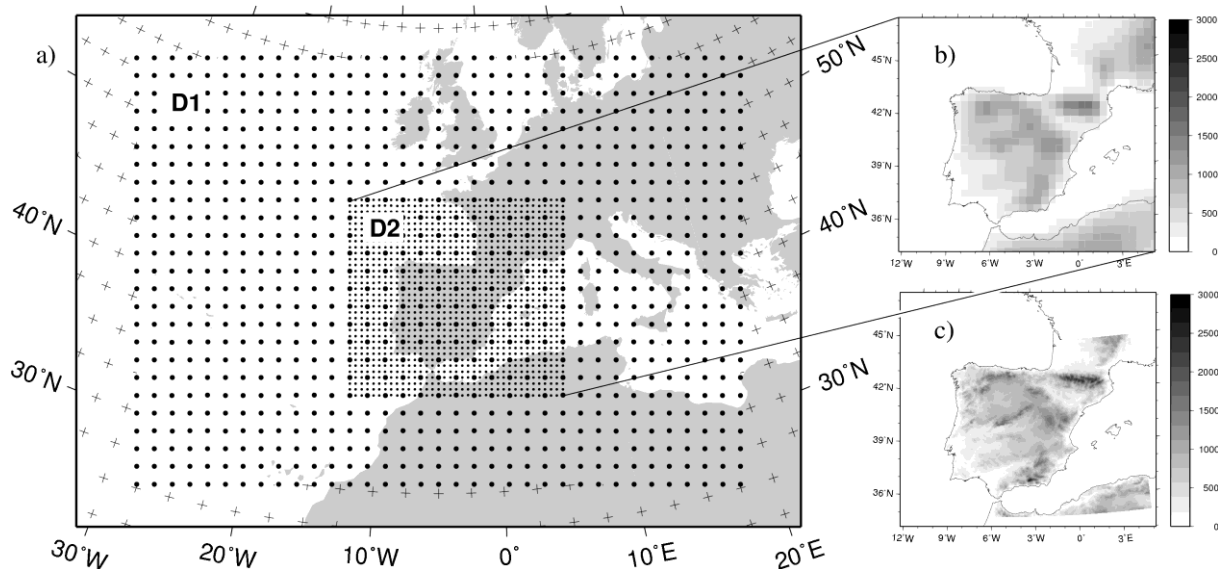


Fig. 1: a) Configuración de dominios utilizada y resolución (cruces) de las condiciones de frontera del Reanálisis. Orografía vista por el modelo regional en el dominio D2 (b) y la orografía real (c) en metros.

La comunicación entre dominios es de doble vía, es decir, una vez simulado el dominio D2 se devuelve la información de alta resolución al dominio D1 antes de simular el siguiente paso de tiempo. El dominio D1 asimila por encima de la capa límite los campos proporcionados por el Reanálisis cada 6 horas mediante una técnica de *nudging*. Las simulaciones de 5 años se inician con dos meses previos de *spin up* para dejar que los campos se ajusten dinámicamente. Este periodo es más que suficiente, dado que otros estudios muestran que con una semana sería suficiente (FERNÁNDEZ, 2004).

### 3.1. Parametrizaciones físicas

El estudio de sensibilidad a la selección de parametrizaciones se ha llevado a cabo para las parametrizaciones de humedad explícita (HU), cúmulos (CU), capa límite planetaria (BL) y radiación (RA). El resto de parametrizaciones se han mantenido fijas. En concreto, se ha usado un suelo de 5 capas con pronóstico de temperatura y disponibilidad de humedad prescrita dependiendo de la estación del año (verano/invierno).

Cada una de las cuatro parametrizaciones estudiadas se han variado entre los un esquema sencillo y otro más complejo. En total se han realizado, por lo tanto, 16 experimentos diferentes. Los experimentos se han codificado en las figuras mediante símbolos. El esquema explícito de humedad se ha variado entre los esquemas conocidos como *Simple Ice* (identificado mediante símbolos de línea sencilla) y *Mixed Phase* (línea doble). El esquema de cúmulos entre *Grell* (cuadrados) y *Kain-Fritsch* (círculos). Para la capa límite planetaria se

han usado los esquemas *Blackadar* (blanco) y *MRF* (negro). Finalmente, en la radiación se ha optado por el esquema sencillo *Cloud* (símbolo hueco) y el detallado *RRTM* (símbolo contiene una “R”). Los detalles de estas parametrizaciones se pueden consultar en GRELL *et al.* (1994) y las referencias allí contenidas.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Precipitación

La figura 2 muestra, para cada estación de UCM, la parametrización que obtiene el menor error cuadrático medio (RMS) respecto al ciclo anual de precipitación observado. Los resultados se muestran para cada estación del año por separado. Así mismo, se muestra también el valor del RMS para la parametrización vencedora en cada lugar (sombreado).

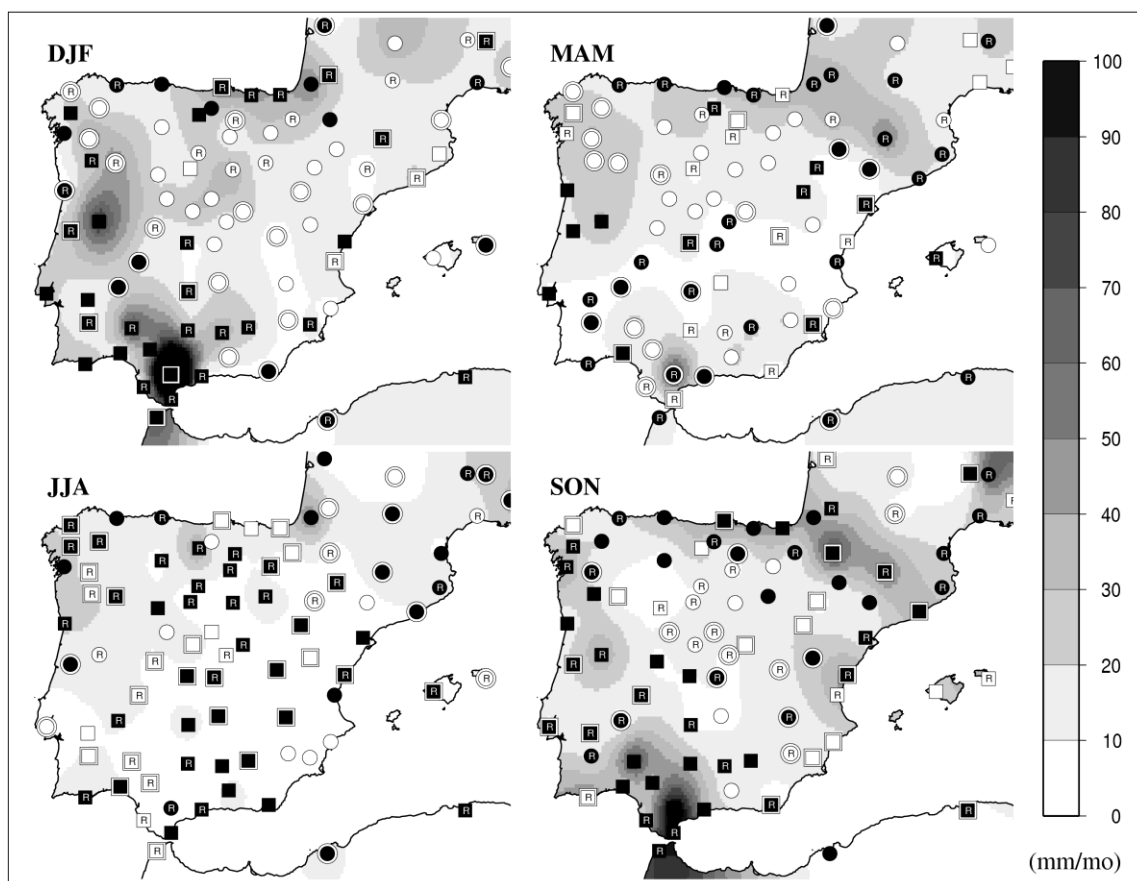


Fig. 2: Distribución del RMS del ciclo anual de precipitación de la mejor combinación de parametrizaciones (indicada con el correspondiente símbolo) en cada estación de UCM y para cada estación del año.

Los errores se encuentran entre 0 y 30 mm/mes, excepto en las estaciones de Grazalema y Penhas Douradas, donde la escarpada orografía da lugar a errores de más de 100 mm/mes. La mayor parte de los errores en invierno y otoño están relacionados con problemas para representar correctamente la orografía (FERNÁNDEZ *et al.*, 2006). La conclusión principal a la vista de esta figura es que no existe una mejor combinación de parametrizaciones que cubra todas las zonas y épocas del año. Este resultado podría ser esperable ya que en determinadas

zonas/épocas predominan diferentes eventos que serán mejor descritos por una u otra parametrización. En cualquier caso, la figura 2 contiene información relevante respecto a las diferentes parametrizaciones. En invierno, la parametrización de cúmulos *Grell* y la capa límite MRF representan mejor el ciclo anual en la zona suroeste y en la cornisa cantábrica. En la zona centro/este resulta más eficaz la combinación de *Kain-Fritsch* y *Blackadar*. Las parametrizaciones de humedad explícita y radiación muestran menor coherencia espacial. En verano, la combinación *Grell* y MRF predomina.

En general, las zonas/épocas donde mayor es la variabilidad de la precipitación, mayor es también el RMS. Si se repite la figura 2 pero usando errores relativos (no se muestra, ver FERNÁNDEZ *et al.* (2006)) se puede demostrar que los mayores errores se concentran en la zona centro/norte de la península, para la cual se ha representado el ciclo anual promedio en la figura 3.

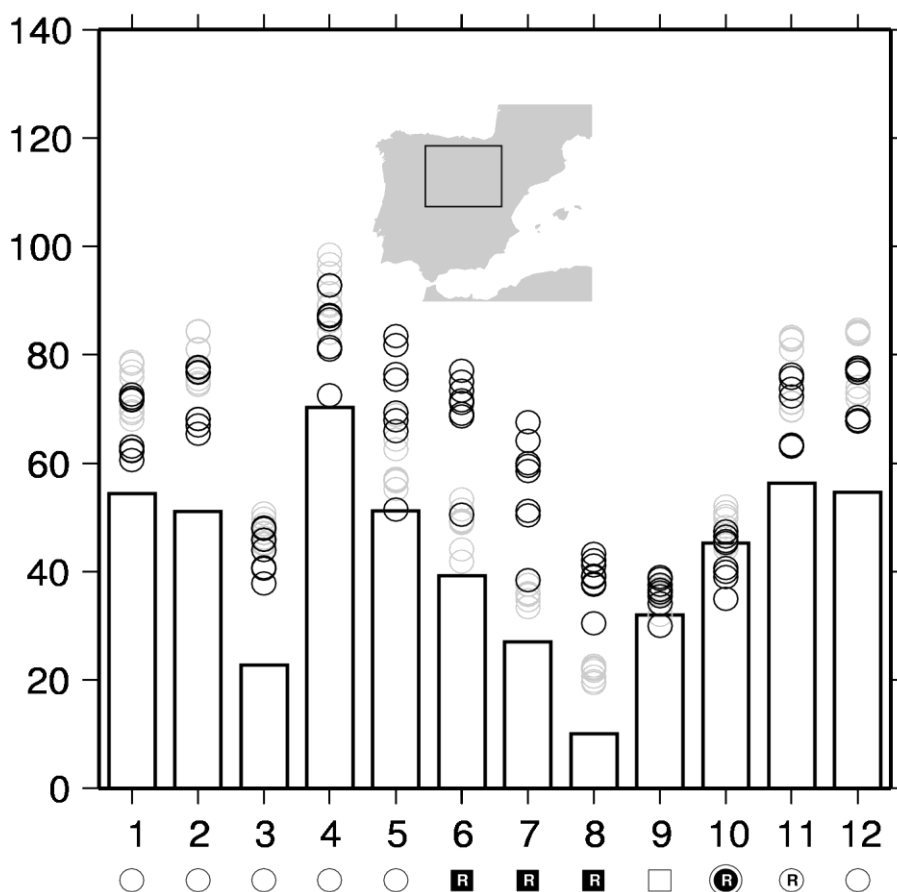


Fig. 3: Ciclo anual de precipitación en el área indicada (en mm/mes). Barras: de acuerdo a los datos UCM. Círculos: de acuerdo a los 16 experimentos realizados en este estudio.

La precipitación está sobreestimada a lo largo de todo el año salvo en los meses de Septiembre y Octubre. Los experimentos que usan *Kain-Fritsch* están resaltados en negro mientras que los que utilizan *Grell* se muestran en gris. Se puede apreciar cómo la parametrización de *Kain-Fritsch* produce mayor precipitación en verano (con errores de más del 200%) que la de *Grell*, mientras que la situación se invierte en invierno. Todos los experimentos son capaces de reproducir el ciclo anual anómalo de este periodo, con una baja precipitación en el mes de Marzo.

## 4.2 Temperatura

Los resultados para temperatura se muestran en las figuras 4 y 5. La distribución de las mejores combinaciones de parametrizaciones (figura 4) es más homogénea que en el caso de la precipitación. La combinación *Simple Ice*, *Kain-Fritsch*, MRF y RRTM es la predominante durante el invierno. En verano, el esquema más sencillo de radiación, *Cloud*, funciona mejor que el RRTM y la combinación *Mixed Phase* y *Grell* predomina en las zonas costeras. Es decir, la combinación de parametrizaciones que mejor reproduce el ciclo anual no sólo depende de la zona y época del año, sino también de la variable que se esté considerando.

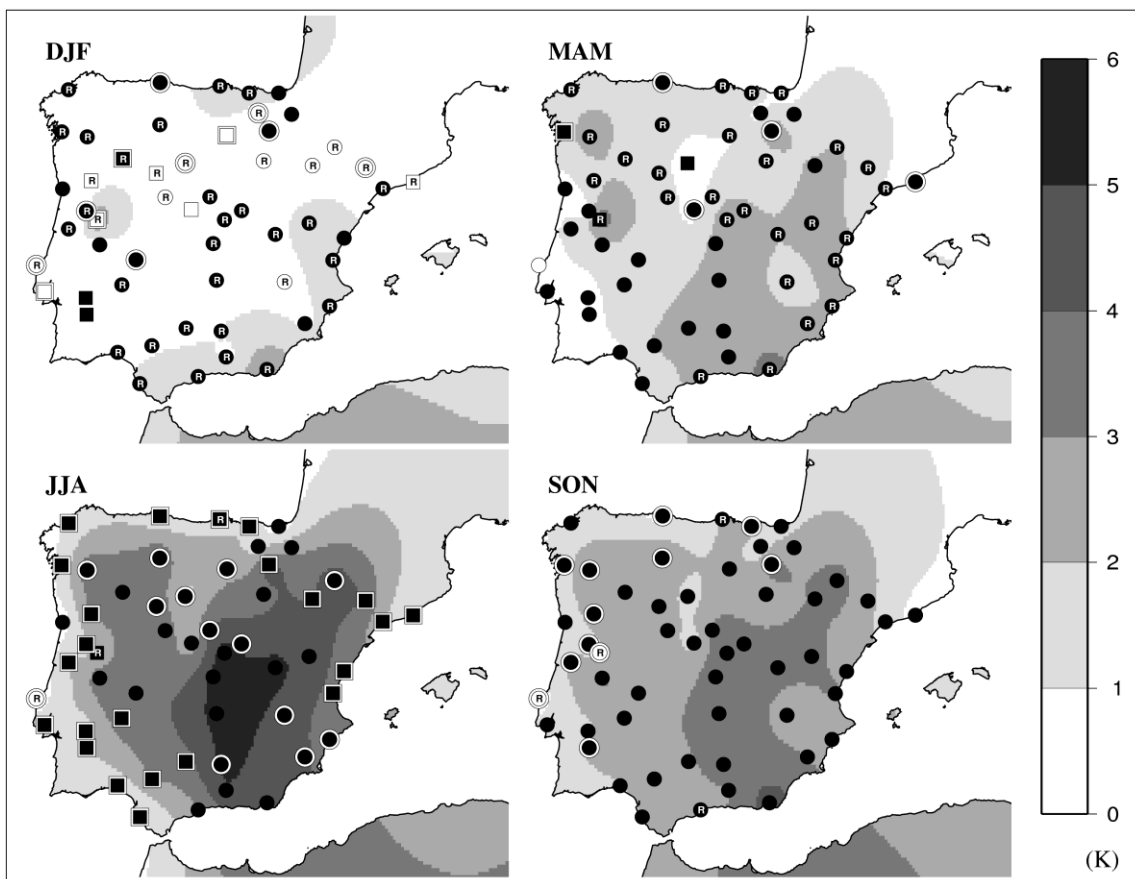


Fig. 4: Como la figura 2, pero para la temperatura superficial.

En verano los errores en la estimación de la temperatura son más acusados, especialmente en la zona sureste de la península. El ciclo anual sobre esta zona (figura 5) muestra que la temperatura se infraestima a lo largo de todo el año por todos los experimentos realizados, que no difieren demasiado entre sí. Los experimentos que utilizan *Simple Ice*, *Kain-Fritsch* y MRF (marcados en negro en la figura 5) producen sistemáticamente temperaturas ligeramente más altas y, por lo tanto, se ajustan mejor al ciclo observado.

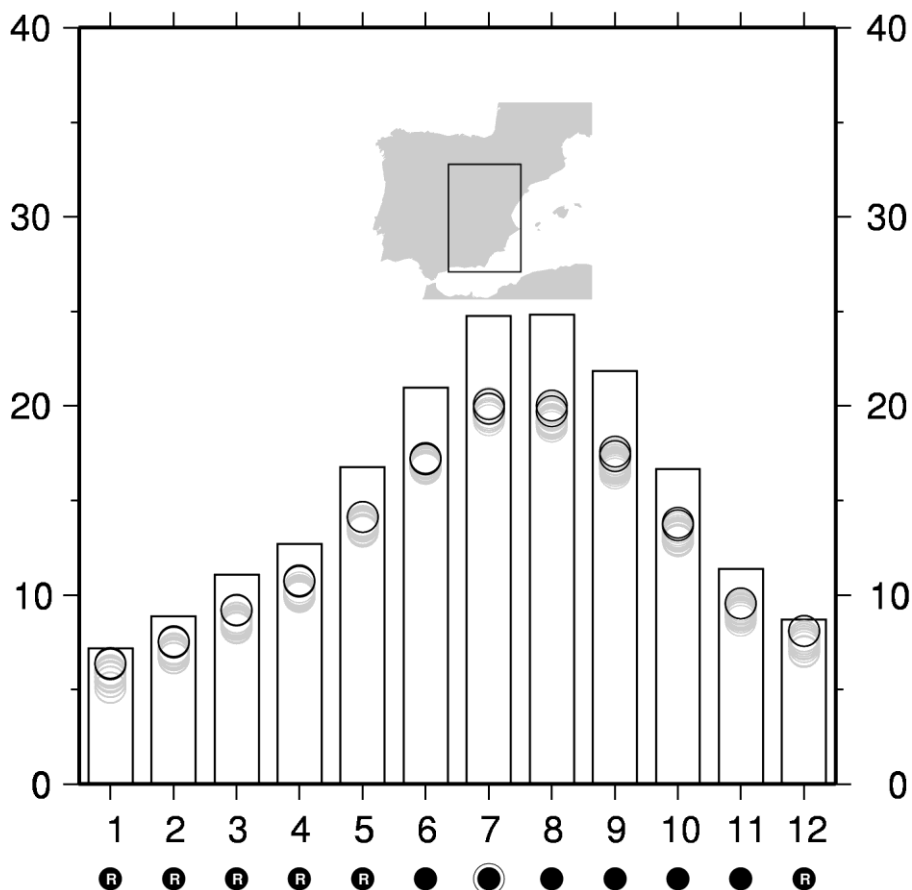


Fig. 5: Como la figura 3 pero para la temperatura superficial (en grados centígrados).

## 5. CONCLUSIONES

Se han realizado 16 simulaciones con el modelo de mesoescala MM5 variando las parametrizaciones físicas empleadas para analizar su impacto en los resultados de precipitación y temperatura superficial.

En general, todos los experimentos se ajustan bien al ciclo estacional observado, captando incluso anomalías particulares de este período. El desajuste sistemático más importante se produce en la temperatura superficial, donde el modelo tiende a producir temperaturas más bajas que las observadas, especialmente en verano donde se sobrepasan los 5 grados de diferencia.

La principal conclusión del estudio es que ninguna combinación de parametrizaciones resulta adecuada para todas las zonas, épocas del año o variable climática considerada. Aún así, del estudio se puede extraer información útil para otros investigadores que se centren en áreas más concretas y con interés en una estación del año particular. Por ejemplo, para el análisis de un evento meteorológico concreto se podría partir de las parametrizaciones que mejor funcionen en el área y época en que se haya producido.

Otra de las conclusiones del estudio es que el uso del esquema de radiación RRTM, mucho más complejo y costoso computacionalmente que el *Cloud*, no aporta grandes diferencias. En

un contexto de cambio climático, sin embargo, el modelo RRTM puede responder a condiciones cambiantes de CO<sub>2</sub>, metano y otros gases de efecto invernadero a los que el esquema *Cloud* es insensible.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos RAMSHES (REN2002-04584-C04/CLI) de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, INVENTO (CGL2005-06966-C07/CLI) y SPECT (CGL2005-06097/CLI) del Ministerio de Educación y Ciencia y 9/UPV00060.310-15343/2003 de la Universidad de País Vasco. J. Fernández agradece al Departamento de Educación, Universidades e Investigación del Gobierno Vasco la beca postdoctoral BFI04.52. J.F. González-Rouco está financiado por el programa Ramón y Cajal del Ministerio de Educación y Ciencia.

## 7. REFERENCIAS

- FERNÁNDEZ, J. (2004). *Statistical and dynamical downscaling models applied to winter precipitation over the Cantabrian Coast*. Tesis Doctoral, Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea.
- FERNÁNDEZ, J.; MONTÁVEZ, J.P.; SÁENZ, J.; GONZÁLEZ-ROUCO, J.F. y ZORITA, E. (2006). “Sensitivity of MM5 mesoscale model to physical parameterizations for regional climate studies: Monthly seasonal cycle”. Enviado a *Journal of Geophysical Research*.
- GONZÁLEZ-ROUCO, J.F.; JIMÉNEZ, J. L.; QUESADA, V. y VALERO F. (2001), “Quality control and homogeneity of precipitation data in the Southwest of Europe”. *Journal of Climate*, 14, pp. 964-978.
- GRELL, G.A.; DUDHIA, J. y STAUFFER D.R. (1994). “A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5)”. Tech. Rep. NCAR/TN-398+STR, National Center for Atmospheric Research.
- KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; ZHU, Y.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; HIGGINS, W.; JANOWIAK, J.; MO, K. C.; ROPELEWSKI, C. ; WANG, J. ; LEETMAA, A.; REYNOLDS, R.; JENNE, R. Y JOSEPH D. (1996). “The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project”. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, pp. 437-471.