

# ESCENARIOS DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN PARA LA ESPAÑA PENINSULAR Y BALEARES DURANTE EL PERIODO 2001-2100 BASADOS EN “DOWNSCALING” ESTADÍSTICO MEDIANTE MÉTODOS DE ANÁLOGOS

S. E. Petisco (1), J. M. Martín (2), J. Alonso (3)

(1) I.N.M., Madrid. Correo electrónico: [icj@inm.es](mailto:icj@inm.es)

(2) I.N.M., Madrid. Correo electrónico: [ick@inm.es](mailto:ick@inm.es)

(3) I.N.M., Madrid. Correo electrónico: [oasis@inm.es](mailto:oasis@inm.es)

## RESUMEN

*Se presentan dos metodologías de “downscaling” estadístico, una para temperaturas y otra para precipitación, basadas en el método de los análogos, con modificaciones encaminadas a mejorar los resultados, y de las cuales se hace aplicación para la obtención de escenarios de temperatura y precipitación a alta resolución sobre la España Peninsular y Baleares durante el periodo 2001-2099; se utilizan como partida las simulaciones de circulación atmosférica de los modelos climáticos de circulación general HADCM2SUL, CGCM2 y ECHAM4, los dos últimos funcionando con dos de los escenarios de emisión, A2 y B2, propuestos por el IPCC.*

## 1.- INTRODUCCIÓN

Es sabida la necesidad de disponer de escenarios climáticos a la escala adecuada para el análisis de impactos del posible cambio climático, consecuencia del incremento antropogénico de gases de efecto invernadero y aerosoles en la atmósfera. La mejor herramienta disponible son los datos suministrados por los modelos climáticos acoplados océano-atmósfera (AOGCMs), sin embargo, aunque la resolución de los mismos ha ido aumentando paulatinamente, todavía es insuficiente para muchas de las necesidades requeridas por los analistas de impactos; además de ello, no todas las variables son simuladas de la misma manera por los modelos sino que hay algunas mejor simuladas, como la presión, el geopotencial y la temperatura del aire. Por ello se hace necesaria la utilización de metodologías de mejora de resolución o “downscaling” que permitan inferir información a alta resolución a partir de la información de más baja resolución suministrada por los modelos AOGCMs. Este objetivo puede conseguirse mediante técnicas de tipo estadístico (“downscaling” estadístico) en donde se buscan relaciones estadísticas entre las variables mejor simuladas por modelos AOGCM (principalmente presión o geopotencial a distintos niveles), o mediante el empleo de modelos de alta resolución anidados en un modelo AOGCM en torno a la zona de interés (“downscaling” dinámico); también

pueden emplearse modelos con resolución variable (mayor sobre la zona de interés) o modelos a alta resolución corriendo un número limitado de años en periodos concretos de interés.

En este trabajo se pretende construir escenarios de temperaturas máximas y mínimas y de precipitación para la España Peninsular y Baleares, durante el periodo 2001-2099, mediante “downscaling” estadístico derivado del método de los análogos, y basado en campos de viento geostrófico obtenidos de los geopotenciales simulados en la región que se considera de influencia sobre nuestra área de estudio. El trabajo es continuación de un trabajo anterior en el que se obtuvieron escenarios basados en el modelo HadCM2SUL.

Existen, sin embargo, incertidumbres en la construcción de escenarios que se deben, por un lado, a los distintos posibles esquemas de parametrización de los procesos subrejilla y de los procesos de retroalimentación utilizados en los modelos, y a los errores propios de éstos y de los procedimientos de downscaling utilizados, y por otro lado, se deben a las incertidumbres en las posibles emisiones futuras de GEI y aerosoles. Por ello, en este trabajo se pretende utilizar diversos modelos y escenarios de emisiones con el fin de analizar distintos escenarios climáticos posibles para la

España Peninsular Baleares y estimar un posible rango de incertidumbre. De momento, se utilizarán los modelos CGCM2 y ECHAM4 y el modelo HadCM2SUL. En el experimento con el modelo HadCM2SUL se trabaja con los datos procedentes del conjunto de experimentos de clima desarrollados en el Centro Hadley del Reino Unido facilitados mediante el proyecto LINK (Viner 1996.) Los otros “datasets” utilizados son los EH4\_OPYC\_SRES que provienen del modelo del clima ECHAM4 proporcionados por el Max-Plank-Institut fuer Meteorologie, y el CGCM2, proporcionado por Environment Canada, cada uno de ellos trabajando con las dos hipótesis de emisión (Sres. A2 y B2) propuestas por el IPCC, el primero de los cuales supone un crecimiento de emisiones menos controlado y el segundo supone un mayor control.

## 2.- DATOS UTILIZADOS

En este trabajo se utilizan dos tipos fundamentales de datos: 1) Datos de referencia y de soporte de la metodología, 2) Datos de aplicación de la metodología para la estima de las correspondientes temperaturas máximas y mínimas y precipitaciones.

### 2.1) Datos de referencia y soporte

Estos datos sirven como base de la metodología del “downscaling” que se va aplicar y para realizar su validación. Consta, a su vez de una base de datos atmosféricos y de su correspondiente base de datos de temperaturas y precipitación, que abarcan el periodo 1961-1990.

2.1.1) **Datos atmosféricos:** Esta es la que denominaremos **base sinóptica de referencia** y está constituida por datos de geopotencial en 1000 y 500 Hpa. sobre rejilla latitud-longitud y resolución 2.5 x 2.5, obtenidos a partir del reanálisis del NCAR (National Center for Atmospheric Research), (Kalnay,1996). Se determinan los campos de geopotencial medios diarios promediando los campos de 00, 06, 12, 18 y 24h (00h del día siguiente), ponderando los datos extremos del día (00h y 24h) la mitad que los restantes. De esta rejilla de geopotencial medio se obtienen las componentes *u* y *v* del viento geostrófico con la misma resolución y para el área de trabajo que abarca de 30° N a 55° N y de 27,5° W a 15 E°. y un periodo de 30 años entre el 1 de enero de 1961 y el 31 de diciembre de 1990, con un total de 198 puntos de rejilla. Esta rejilla la denominaremos de aquí en adelante rejilla sinóptica y puede verse en la figura 1 donde también se muestran las ponderaciones que se utilizarán posteriormente para el cálculo de distancias sinópticas.

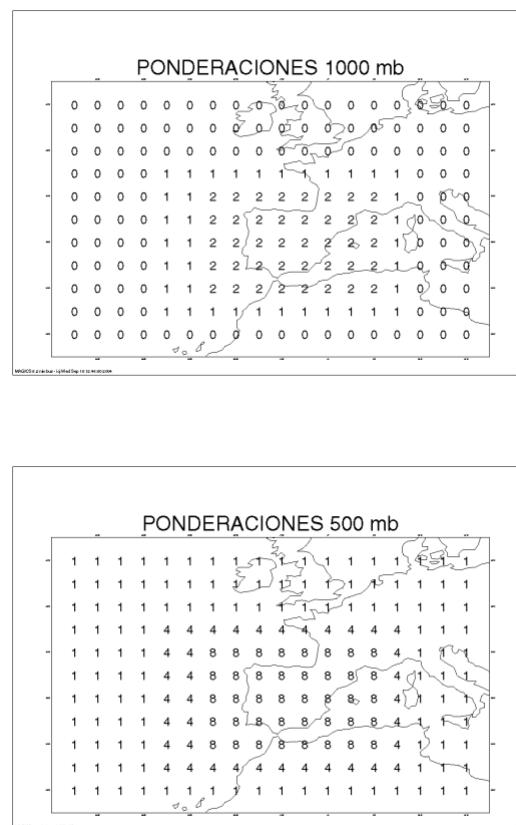


Figura. 1.- Rejilla Sinóptica

2.1.2) **Datos de temperatura y precipitación:** Comprende los campos de temperaturas máximas y mínimas y de precipitación asociados a cada uno de los días de la base de datos atmosféricos anteriormente citados. Los datos se presentan en una rejilla de alta resolución con 203 puntos espaciados meridianamente y zonalmente unos 50 y 60 Km. respectivamente y distribuidos por el territorio de la España Peninsular y Baleares (figura 2). Esta rejilla fue obtenida por Ribalaygua y Borén (1997) a partir del banco de datos del Instituto Nacional de Meteorología interpolando los datos diarios de los observatorios disponibles próximos a los puntos: Para su cálculo en el punto se determinó la media ponderada de dichos datos de observatorios siendo las ponderaciones las inversas de las distancias observatorio-punto y tomando las distancias inferiores a 10 Kms. iguales a 10 en cualquier caso; de esta manera el dato de cada punto de la rejilla viene a ser una representación promedio de su área de influencia. Las series así obtenidas y homogeneizadas para cada punto constituyen una base de datos sin ninguna laguna.

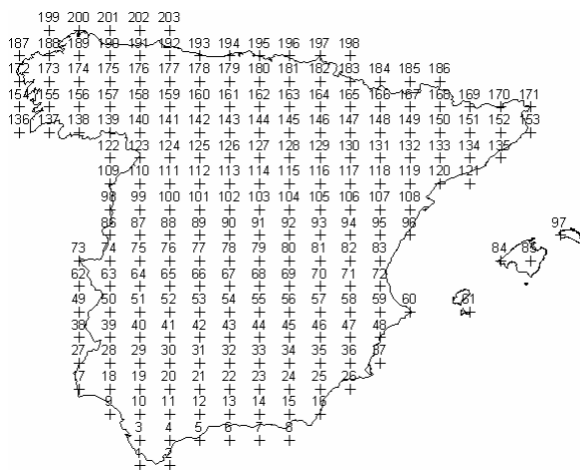


Figura 2.- Rejilla de puntos de estima

## 2.2) Datos de aplicación de la metodología

Se trata del conjunto de datos a los que se va aplicar la metodología de “downscaling”, desarrollada con el objeto de estimar las temperaturas y precipitaciones correspondientes; en el presente trabajo son los campos de geopotencial de 1000 y 500 Hpa., salidas de los modelos climáticos utilizados y de los que se obtienen los correspondientes campos de viento geostrófico. Son campos medios diarios interpolados a la misma rejilla de los campos de referencia y que comprenden el periodo de simulaciones de los modelos entre 2001 y 2009 para estimación y el periodo 1961-1990 para validación.

## 3.- METODOLOGÍA

### 3.1) Estima de las temperaturas

La estima de temperaturas máximas y mínimas se basa en el método desarrollado por Borén y Ribalaygua (1997). El método realiza estimaciones diarias de las temperaturas en diversos puntos o zonas geográficas, construyendo un modelo de regresión paso a paso, sobre un conjunto suficiente de análogos sinópticos a los campos simulados, para los que se pretende estimar las temperaturas asociadas. Estos análogos se buscan en la base de datos de referencia escogiendo los 150 elementos más similares sinópticamente al día problema, utilizando como medida de similitud el promedio de las distancias euclídeas entre los campos de valores tipificados de componentes del viento geostrófico, en 1000 y 500 Hpa., definidos sobre la rejilla anteriormente mencionada; estas

distancias euclídeas se calculan introduciendo ponderaciones en cada punto de rejilla siendo mayores cuanto más nos aproximemos a la zona de la Península Ibérica y Baleares y diferentes para los campos de 1000 Hpa. y 500 Hpa., como puede verse en la figura 1. La expresión que nos da la distancia euclídea entre los campos tipificados de cada componente  $c$  del viento geostrófico entre el día problema  $t$  y una situación sinóptica de la base de referencia sería:

$$d_c = \sqrt{\frac{\sum w_i (c_{ti} - c_i)^2}{\sum w_i}} \quad (1)$$

en donde:

$c$  representa a una componente cualquiera ( $u_{1000}$ ,  $v_{1000}$ ,  $u_{500}$ ,  $v_{500}$ ) del viento geostrófico

$c_i$  representa el valor de la componente  $c$  de viento geostrófico en el punto de rejilla  $i$  para una situación sinóptica cualquiera de la base de referencia

$c_{ti}$  representa igualmente el valor de la componente  $c$  de viento geostrófico en el punto de rejilla  $i$  pero, en este caso para el día problema

$w_i$  es la ponderación correspondiente al punto de rejilla  $i$ ,  $i=1...198$

Una vez calculadas las cuatro distancias  $d_c$  correspondientes a cada uno de los cuatro campos de componentes de viento geostrófico tipificadas consideradas, se toma la media de ellas como distancia  $D$  seleccionando así los 150 elementos de la base de referencia más análogos sinópticamente al día problema y que serían aquellos para los que la distancia  $D$  sea menor.

Seleccionados los análogos del día problema se construye un modelo de regresión paso a paso con los datos de los análogos, tomando como predictando los valores de temperatura máxima o mínima (según el caso) en el punto donde se quiere hacer la estima; como predictores posibles se consideran la media ponderada de las temperaturas de los diez días anteriores en el punto de estima, el espesor local sobre el punto, la insolación potencial diaria en día despejado, que se introduce como una función sinusoidal del día del año, con máximo en el solsticio de verano y mínimo en el de invierno, y la disimilaridad (distancia  $D$ ) con el día problema; el modelo de regresión selecciona los predictores significativos y la ecuación de regresión obtenida permite estimar las temperaturas en el punto en cuestión asociadas al campo sinóptico simulado del día problema, sustituyendo los valores correspondientes de los predictores.

### 3.2) Estima de las precipitaciones

La estima de precipitaciones se hace promediando la precipitación que presentan en el punto de estima un conjunto de análogos sinópticos al día problema, tomados de la base de datos de situaciones sinópticas y campos de precipitaciones asociadas, que ya hemos mencionado; dicho promedio es una media ponderada siendo las ponderaciones función de la similitud de cada análogo con el día problema. El número  $N$  de análogos a utilizar depende de la mayor o menor frecuencia con que se presenta tipo sinóptico al que pertenece el día problema, y del propio punto de estima y se determina previamente buscando el número que, en cada caso, minimice el error cuadrático medio. Para determinar la similaridad de los análogos con el día problema se tiene en cuenta la similaridad sinóptica de los campos de valores tipificados de las componentes de viento geostrófico, en la misma forma que se mencionó en el apartado anterior para la estima de temperaturas (ecuación 1); al mismo tiempo, para reforzar la similaridad, se tiene en cuenta la similitud de los valores tipificados de un conjunto de variables predictoras, calculados en el punto de la rejilla sinóptica (figura 1) más próximo al punto de estima (figura 2); esa similitud se obtiene calculando la distancia  $d_p$  del conjunto de valores tipificados de los predictores utilizados, es decir:

$$d_p = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^J (p_{ij} - p_j)^2}{J}} \quad (2)$$

en donde:

$p_{ij}$  y  $p_j$  son respectivamente los valores del predictor  $j$  tipificado para el día problema y para el elemento cuya similaridad con el día problema se quiere analizar

$J$  es el número total de predictores utilizados.

Así la similaridad final se calcula promediando a su vez la distancia  $d_c$  derivada del campo de viento geostrófico tipificado, dada por (1), con la distancia  $d_p$  derivada de la similitud de los predictores tipificados, dada por (2).

$$D = \frac{d_c + d_p}{2} \quad (3)$$

Se selecciona entonces el conjunto de los  $N$  análogos cuya distancia  $D$  al día problema sea

menor y se obtiene la precipitación en el punto de estima mediante la media ponderada de las precipitaciones de los  $N$  análogos, siendo las ponderaciones las inversas del valor  $D$  correspondiente.

Dependiendo del tipo sinóptico al que pertenezca el día problema y del punto de estima en cuestión, se utilizan los predictores más adecuados que se seleccionan entre los siguientes predictores posibles: geopotencial, componentes del viento geostrófico, y vorticidad geostrófica, calculados en los niveles de 1000 y 500 hPa., también se consideran la intensidad del viento térmico y la tendencia del geopotencial a 1000 hPa.

Para seleccionar los predictores adecuados a cada tipo sinóptico y punto de estima, se toma previamente un conjunto suficientemente amplio de elementos que se puedan asociar sinópticamente con el tipo (por ejemplo, 150 elementos); seguidamente, para esos 150 elementos, se toma la precipitación en el punto de estima como predictando y los valores de todos los posibles predictores, calculados en el punto de la rejilla sinóptica más próxima al punto de estima; aplicando después una regresión paso a paso se seleccionan aquellos predictores que resulten significativos. La información así obtenida se utilizará en todas las estimaciones que queramos realizar posteriormente. (Petisco, 2005).

## 4.-VALIDACIÓN DE LOS MÉTODOS

En primer lugar se validará la metodología de “downscaling” utilizada para la determinación de temperaturas y de precipitación. Para ello se calculan los valores medios mensuales, en el periodo 1961-1990, de las estimaciones diarias en los 203 puntos del área representada en la figura 2; estas estimaciones se realizan aplicando el método de “downscaling” a los campos sinópticos reales de cada día del periodo, utilizando análogos buscados en dicho periodo, pero en meses del año distintos del mes del día en que se está estimando (por ejemplo, si el día para el que vamos a estimar es un día de enero, buscaremos análogos en meses distintos de enero); de esta manera aseguramos que las medias mensuales de los datos obtenidos por estimación no contienen información procedente de los datos reales de los mismos meses con los que se van a comparar.

### 4.1) Validación del método de estima de temperaturas

La comparación, con los correspondientes valores reales, de las temperaturas máximas y mínimas medias mensuales estimadas, indican una concordancia muy buena en todos los puntos de estima de la figura 2. Para ilustrar este resultado se

presentan en la figura 3 las comparaciones entre las temperaturas máximas y mínimas mensuales reales y estimadas con el método de “downscaling”, para el periodo 1961-1990, en el punto 91 (figura 2) próximo a Madrid.

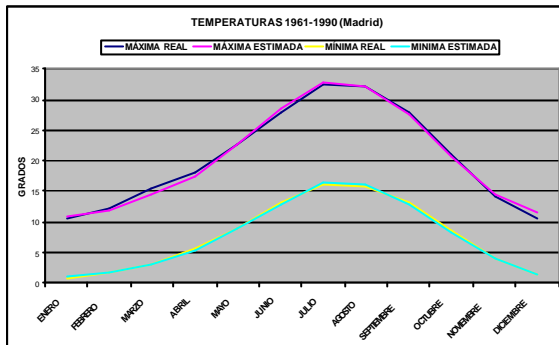


Figura 3.- Temperaturas medias mensuales reales y estimadas con “downscaling” en el periodo 1961-1990 en Madrid

#### 4.2) Validación del método de estima de precipitaciones

En lo referente a las precipitaciones medias mensuales la concordancia entre los valores reales y estimados mediante el “downscaling” es buena y satisfactoria en general, habida cuenta de que la precipitación es una variable más problemática, aunque en otoño los valores estimados se desvían algo más de los reales que en el resto del año. Esta desviación de los valores reales respecto a los estimados en otoño, se hace más marcada en las zonas de influencia mediterránea lo que indica que en esas zonas la información base utilizada para la estima es aún insuficiente. Se presentan a continuación las gráficas de las precipitaciones medias mensuales reales y estimadas con el método de “downscaling” para el periodo 1961-1990 en tres puntos de características climáticas diferentes: 188, 91 y 25 (figura 2), próximos a La Coruña, Madrid y Murcia, y que son representativos de la zonas de influencia atlántica, interior peninsular y zona mediterránea respectivamente.

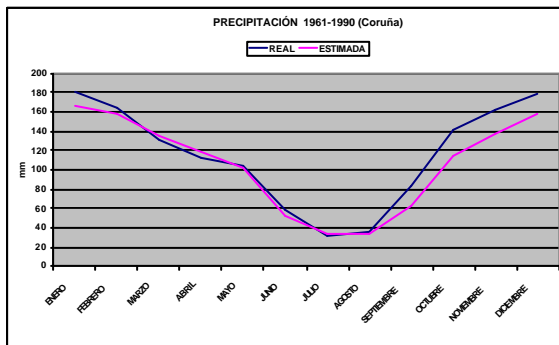


Figura 4.- Precipitación media mensual real y estimada por “downscaling” en el periodo 1961-1990 en La Coruña

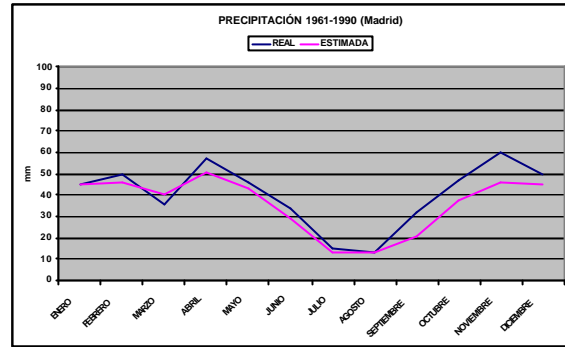


Figura 5.- Precipitación media mensual real y estimada con “downscaling” en el periodo 1961-1990 en Madrid

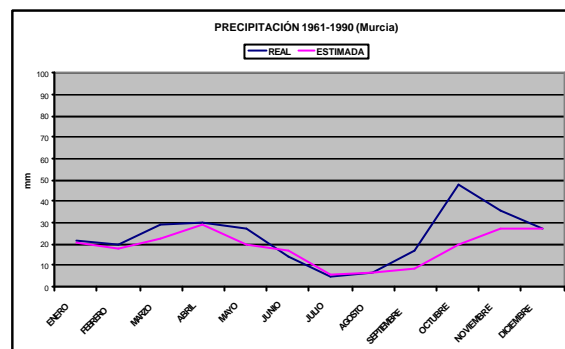


Figura 6.- Precipitación media mensual real y estimada con “downscaling” en el periodo 1961-1990 en Murcia

## 5.-VALIDACIÓN DE LAS ESTIMACIONES BASADAS EN LA CIRCULACIÓN SIMULADA POR LOS MODELOS EN EL PERIODO 1961-1990

Se comparan entre sí y con los valores reales, las estimaciones de temperaturas y precipitación mensual sobre todos los puntos del área de estudio (figura 2), basadas en la aplicación del método de “downscaling” a las simulaciones de circulación de los modelos utilizados (CGCM2, ECHAM4 y HADCM2SUL), durante el periodo 1961-1990.

### 5.1) Validación de las estimaciones de temperatura

Las temperaturas medias mensuales obtenidas por “downscaling” a partir de la circulación simulada por los distintos modelos, se adaptan bastante bien al ciclo medio anual del periodo 1961-1990. Se observa, no obstante, que los valores obtenidos a partir del modelo ECHAM4

todos los meses, y del HADCM2SUL al principio del año, tienden a sobreestimar las temperaturas, mientras que los valores del CGCM2 y del HADCM2SUL en el resto del año subestiman las temperaturas; la adaptación a los valores reales en todos los casos suele ser mejor entre los meses de julio y diciembre. Las consideraciones anteriores se aplican tanto a las temperaturas máximas como a las mínimas. En las figuras 7 y 8 se pueden ver las gráficas de las temperaturas máximas y mínimas medias mensuales reales y estimadas con “downscaling” sobre las simulaciones de los distintos modelos, durante el periodo 1961-1990 en el punto 91 (Madrid).

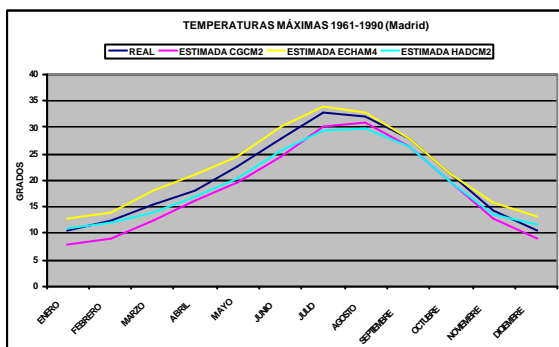


Figura 7.- Comparación entre las medias mensuales de temperaturas máximas en Madrid en el periodo 1961-1990 de los valores reales y las estimaciones por “downscaling” basadas en los modelos analizados

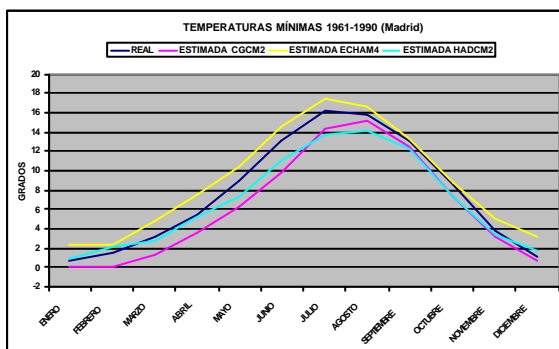


Figura 8.- Comparación entre las medias mensuales de temperaturas mínimas en Madrid en el periodo 1961-1990 de los valores reales y las estimaciones por “downscaling” basadas en los modelos analizados

### 5.2) Validación de las estimaciones de precipitación

En líneas generales las estimaciones basadas en los distintos modelos presentan una cierta dispersión entre sí. Las precipitaciones mensuales

suelen ser subestimadas, aunque dependiendo de puntos y modelos, no siempre es así; por ejemplo, el HADCM2SUL, sobrestima considerablemente la precipitación en los primeros meses del año, aunque subestima también la precipitación en otoño. Las consideraciones anteriores son menos aplicables a medida que nos adentramos en zonas de influencia mediterránea; aquí el comportamiento de las estimaciones es más caótico y deficiente sin pautas claras en los distintos modelos, sólo cabe decir que el mejor ajuste se da en invierno y primavera y que tienden todos a sobreestimar en verano y a subestimar el resto del año y marcadamente en el otoño. En las figuras 9, 10 y 11 pueden verse las gráficas de las precipitaciones medias mensuales reales y estimadas con “downscaling” sobre las simulaciones de los distintos modelos, durante el periodo 1961-1990 en La Coruña, Madrid y Murcia (puntos 188,91 y 25).

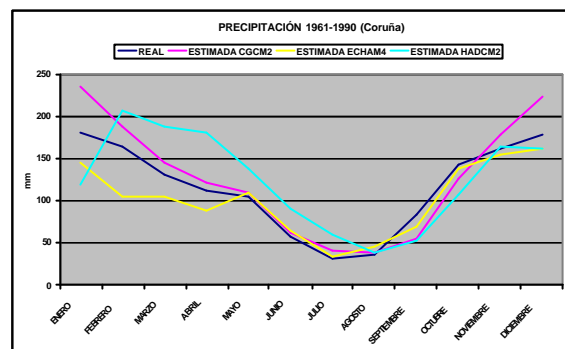


Figura 9.- Comparación entre las medias mensuales de precipitación en La Coruña en el periodo 1961-1990 de los valores reales y las estimaciones por “downscaling” basadas en los modelos analizados

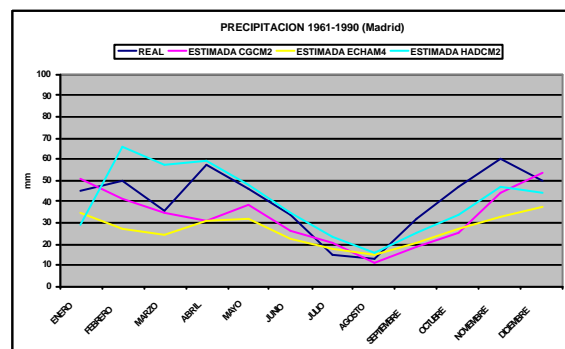


Figura 10.- Comparación entre las medias mensuales de precipitación en Madrid en el periodo 1961-1990 de los valores reales y las estimaciones por “downscaling” basadas en los modelos analizados



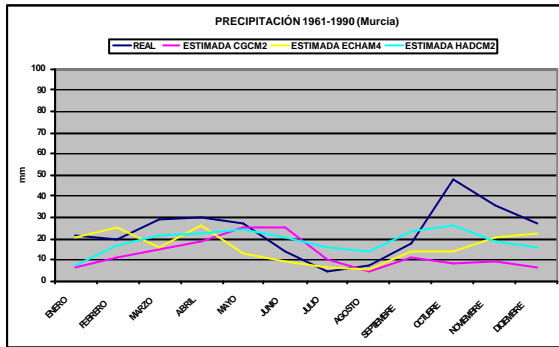


Figura 11.- Comparación entre las medias mensuales de precipitación en Murcia en el periodo 1961-1990 de los valores reales y las estimaciones por “downscaling” basadas en los modelos analizados

## 6.- RESULTADOS OBTENIDOS

Se aplica ahora la metodología de “downscaling” a los campos diarios de circulación simulada, en el periodo 2001-2099, por los modelos utilizados: HADCM2SUL, CGCM2 Y ECHAM4, los dos últimos trabajando bajo dos de los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero propuestos por el IPCC, a saber, el A2 y el B2; se trata de analizar las posibles evoluciones de las temperaturas y precipitaciones durante el periodo 2001-2099 tomando como base las estimaciones obtenidas a partir de los modelos. Obtenemos, por tanto, un total de cinco escenarios representados por la medias móviles de temperaturas máximas y mínimas y de precipitación estimadas, en periodos de 31 años, siendo el primero el periodo 2001-2031 y el último el 2069-2099 y cuyo inicio se va corriendo de año en año, obteniéndose series de medias móviles de 69 datos cada una

### 6.1) Escenarios de temperaturas máximas y mínimas

En lo referente a las temperaturas, las medias de los periodos de 31 años en todos los modelos, muestran una tendencia creciente; al principio, los escenarios A2 y B2 de un mismo modelo difieren poco entre sí, pero a medida que se avanza en el siglo el crecimiento de temperatura va siendo mayor bajo el escenario A2.

Para el modelo CGCM2 los incrementos desde el periodo 2001-2031 al periodo 2069-2099, son del orden de unos 4° C y de unos 3° C para las máximas y las mínimas respectivamente, en el caso del escenario A2, y de unos 2° C y 1.5° C para las máximas y mínimas respectivamente en el caso del escenario B2.

Para el ECHAM4 los incrementos son del orden de unos 5° C y 3.5° C para las máximas y

mínimas respectivamente en el caso del escenario A2, y de unos 3.5° C y 2.5° C para las máximas y mínimas respectivamente, en el caso del escenario B2.

Para el HADCM2SUL, los incrementos son de unos 3.5° C y 3° C para las máximas y mínimas respectivamente; los incrementos serían menores en el norte, del orden de 1° C a 2° C menos.

Los valores de las estimaciones, en términos absolutos, difieren según los modelos, como se puso de manifiesto en el apartado 5.1, siendo superiores los valores estimados y los incrementos del ECHAM4, pero todos ellos presentan tendencias crecientes lo que refuerza la confianza en este resultado. Las medias móviles anuales de las temperaturas máximas y mínimas estimadas para Madrid (punto 91) con los distintos modelos y escenarios pueden verse en las figuras 12 y 13

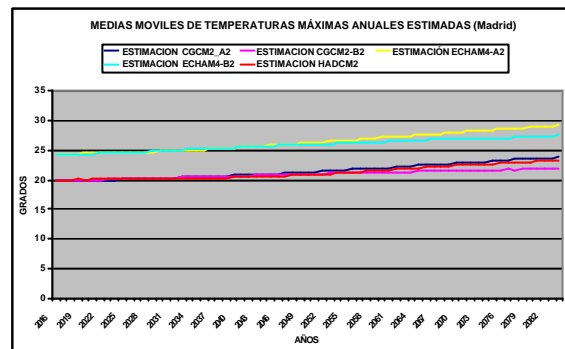


Figura 12.- Comparación entre las medias móviles anuales de temperaturas máximas en Madrid desde el periodo 2001-2031 al periodo 2069-2099 basadas en las estimaciones con “downscaling” sobre los modelos analizados. En abscisas se representa el año intermedio de cada periodo, en ordenadas la temperatura máxima media anual estimada en cada periodo

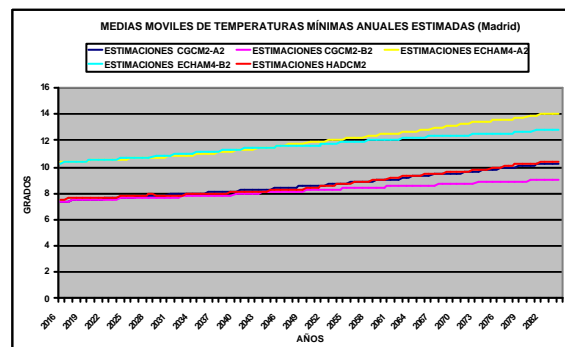


Figura 13.- Comparación entre las medias móviles anuales de temperaturas mínimas en Madrid desde el periodo 2001-2031 al periodo 2069-2099 basadas en las estimaciones con “downscaling” sobre los modelos analizados. En abscisas se representa el año intermedio de cada periodo, en ordenadas la temperatura mínima media anual estimada en cada periodo

## 6.2) Escenarios de precipitación

Ya vimos al realizar la validación de los modelos que el ajuste de las estimaciones a los datos reales es mejor o peor en función de los propios modelos y de la época del año o zona geográfica. No obstante, cabe pensar que, incluso en los casos, en que las estimaciones sean más deficientes, posiblemente pueda tenerse una idea de las tendencias, de manera que si se manifiestan claramente, puede considerarse como una conclusión con cierta garantía, aunque las incertidumbres sobre posibles valores sean mayores que en el caso de las temperaturas.

El modelo HADCM2SUL tiende a dar valores más altos de precipitación media anual, salvo en las zonas de influencia mediterránea; al mismo tiempo los resultados derivados de este modelo, tienden a ser más variables y oscilantes enmascarando en muchos casos las posibles tendencias, las cuales parecen definirse más claramente como decrecientes en puntos de influencia mediterránea, en donde, a su vez, parecen encontrarse mayores decrecimientos en el SE peninsular que en puntos más al norte; en las zonas de influencia atlántica, en muchas casos, no aparecen tendencias claramente definidas mientras que en otros parecen observarse tendencias ligeramente crecientes.

En el modelo CGCM2 se define una tendencia clara a la disminución de la precipitación anual bajo el escenario A2 en todos los puntos; esta disminución puede variar, según puntos, entre el 15% y 25%, aproximadamente, en zonas de influencia atlántica mientras que en las zonas de influencia mediterránea las disminuciones parecen algo más moderadas, en torno al 15% aproximadamente; bajo el escenario B2 las medias anuales son, por lo general, más estables o disminuyen ligeramente, en torno al 4% más menos, o incluso parecen aumentar ligeramente, en torno al 5%, como ocurre en puntos de la zona mediterránea.

En modelo ECHAM4, los valores estimados tienden a ser menores que en los otros modelos y el comportamiento bajo los escenarios A2 y B2 es más similar presentándose en ambos tendencia a la disminución, del orden del 5% al 20%, según puntos, en el caso del escenario A2, y ligeramente menos, del orden del 2% al 15%, según puntos, con el escenario B2.

En resumen, si bien el comportamiento del modelo HADCM2 resulta un tanto más atípico, en líneas generales se puede razonablemente hablar de una disminución de las precipitaciones anuales en nuestra área geográfica objeto de estudio, más con el escenario de emisión A2 que con el B2, aunque hay una cierta incertidumbre en cuanto a los valores concretos.

Los resultados en los valores estacionales son menos claros que los anuales, sobre todo en las

zonas de influencia mediterránea. En invierno, parece haber una tendencia creciente general con el escenario B2; en los puntos más al norte, la precipitación invernal tiende a crecer según todos los escenarios y modelos excepto para el CGCM2-A2, en el que disminuye después de un ascenso inicial hasta mediados del siglo; en la zona mediterránea no puede hablarse de una pauta general de comportamiento salvo quizás que en los puntos más al norte podría crecer mientras que más al sur es más estable. En el resto de estaciones del año, parece observarse una tendencia a la disminución bastante general siendo el modelo HADCM2SUL el que presenta pautas menos claras.

A continuación se presentan las medias móviles anuales de las precipitaciones estimadas para Coruña, Madrid y Murcia, con los distintos modelos y escenarios (figuras 14, 15 y 16).

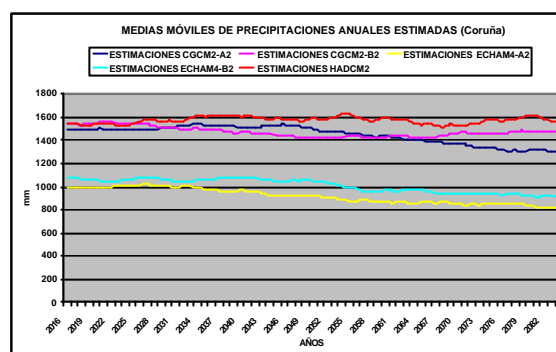


Figura 14.- Comparación entre las medias móviles anuales de precipitación en La Coruña desde el periodo 2001-2031 al periodo 2069-2099 basadas en las estimaciones con “downscaling” sobre los modelos analizados. En abscisas se representa el año intermedio de cada periodo, en ordenadas la precipitación total media anual estimada en cada periodo

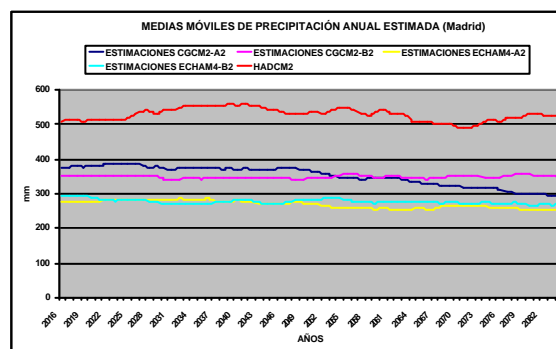


Figura 15.- Comparación entre las medias móviles anuales de precipitación en Madrid desde el periodo 2001-2031 al periodo 2069-2099 basadas en las estimaciones con “downscaling” sobre los modelos analizados. En abscisas se representa el año intermedio de cada periodo, en ordenadas la precipitación total media anual estimada en cada periodo



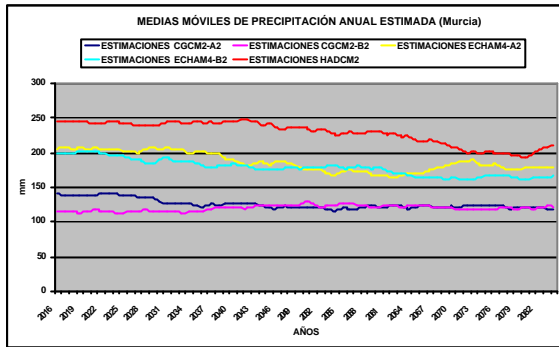


Figura 15.- Comparación entre las medias móviles anuales de precipitación en Murcia desde el periodo 2001-2031 al periodo 2069-2099 basadas en las estimaciones con “downscaling” sobre los modelos analizados. En abscisas, año intermedio del periodo, en ordenadas precipitación media anual estimada.

## 7.- CONCLUSIONES

### 7.1) Conclusiones respecto a la estima de temperaturas

En la estima de temperaturas, el procedimiento de “downscaling” utilizado da resultados bastante buenos según se desprende del análisis de su validación aplicado a circulación real: las medias mensuales estimadas, tanto de las máximas como de las mínimas, se adaptan muy bien a las medias reales del periodo 1961-1990.

Al aplicar el “downscaling” a la circulación simulada por los modelos analizados en el periodo 1961-1990, se observa una buena adaptación de las medias mensuales estimadas para todos los modelos, aunque aparecen desviaciones respecto a los valores mensuales reales que se traducen en sobreestimaciones en el caso del ECHAM4 todo el año, y en el HADCM2 en invierno, mientras el CGCM2 y el HADCM2 en el resto del año, producen subestimaciones.

La aplicación a la obtención de escenarios para el periodo 2001-2099 permite deducir un incremento sostenido de temperaturas para todos los modelos y escenarios analizados, siendo los incrementos mayores bajo los escenarios A2 que bajo los B2. El modelo ECHAM4 es el que da mayores incrementos, mientras que el modelo CGCM2 presenta incrementos algo menores, y el HADCM2 muestra valores parecidos a los del escenario A2 del CGCM2.

### 7.2) Conclusiones respecto a la estima de precipitación

El procedimiento de “downscaling” utilizado para la estima de precipitaciones, aplicado a la circulación real da, en general, buenos resultados aunque, según se desprende de la validación efectuada, las estimaciones son algo peores en otoño especialmente en la zona mediterránea, lo que indica la necesidad de introducir en este caso, información adicional o más detallada.

Al aplicar el “downscaling” a la circulación simulada por los modelos analizados en el periodo 1961-1990, puede observarse que las estimaciones derivadas de los distintos modelos presentan una cierta dispersión entre sí. El modelo ECHAM4 subestima las precipitaciones mensuales; también suele hacerlo, aunque no siempre, el modelo CGCM2; sin embargo, el HADCM2SUL sobrestima considerablemente la precipitación en los primeros meses del año, pero subestima también la precipitación en otoño. En las zonas de influencia mediterránea el comportamiento de las estimaciones es peor y sin pautas claras en los distintos modelos, sin embargo, parece observarse que el mejor ajuste se da en invierno y primavera y que tienden a sobreestimar en verano y a subestimar el resto del año y marcadamente en el otoño.

De la aplicación a las simulaciones de los modelos para la obtención de escenarios en el periodo 2001-2099, se deduce una cierta diversidad de resultados para los distintos modelos y según las distintas zonas: si bien el comportamiento del modelo HADCM2 resulta un tanto más atípico con incrementos de precipitación anual en algunos casos, en líneas generales, del comportamiento de todos los modelos se puede razonablemente deducir una disminución de las precipitaciones anuales en nuestra área geográfica objeto de estudio, siendo algo más difícil hablar de cifras concretas. Si consideramos, los escenarios A2 y B2, en los modelos CGCM2 y ECHAM4, se obtienen mayores decrecimientos bajo el escenario A2 que bajo el B2 sobre todo en el caso del modelo CGCM2.

En cuanto a los resultados estacionales, éstos son más inciertos; incrementos en la precipitación invernal podrían darse en algunos casos mientras que parece más clara la tendencia a la disminución de la precipitación en el resto de las estaciones.

## 8.- REFERENCIAS

Balairón L., Martín J.M., Petisco S.E., (2002) Escenarios de Cambio Climático para la Cuenca del Guadalquivir obtenidos a partir de un experimento HADCM2, *Tercera Asamblea Luso-Española de Geodesia y Geofísica*.

Boren R., Ribalaygua J., Balairón L., (1997), Método Analógico de Simulación de Escenarios Climáticos a escala Comarcal. *Informe Técnico nº 4. Servicio de Variabilidad y Predicción del Clima, INM, Madrid*.

Balairón L., Petisco E., Martín J.M. y Gil D. (2004), Escenarios de Alta Resolución para Estudio de Impactos climáticos sobre Sistemas Agrícolas y Recursos Hídricos en las Cuencas Atlánticas Españolas. *XXVIII Jornadas Científicas de la A.M.E., 5º Encuentro Hispano-Luso de Meteorología*.

IPCC (1999), Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment.

IPCC (2000), Emissions Scenarios. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

Kalnay E., y otros, (1996), The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. (*Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437-471)

Martín Herreros J.M. (2001), Escenarios de Precipitación en Cuencas Hidrográficas de la Península Ibérica: Aplicación de un Método con Índices de Circulación al Experimento HadCM2SUL. Nota técnica nº 7 del *Servicio de Variabilidad y Predicción del Clima, INM, Madrid*

Petisco de Lara S.E., Martín Herreros J.M., Gil Fernández D. (2005), Método de estima de precipitación mediante “downscaling. *Nota técnica nº 11 del Servicio de Variabilidad y Predicción del Clima, INM, Madrid*.

Wilby R. L., Wigley T., (2000) Precipitation Predictors for Downscaling Observed and General Circulation Model Relationships, *International Journal of Climatology*, **20**, 641-661.

Zorita E., Von Storch H. (1999) The Analog Method as a Simple Statistical Downscaling Technique: Comparison with More Complicated Methods, *Journal of Climate* **12**, 2474-2489.