Zubía Monográfico 20 187-200 Logroño 2008

PREDICCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA RIOJA A PARTIR DE MODELOS REGIONALES: ESTIMACIONES PARA FINALES DEL SIGLO XXI

JUAN IGNACIO LÓPEZ MORENO[1]
SERGIO M. VICENTE SERRANO[1]

RESUMEN

Las simulaciones de seis Modelos Climáticos Regionales (RCMs) disponibles para un periodo control (1960-1990) y dos escenarios futuros (2070-2100), con un marcado contraste en cuanto a la concentración de gases de efecto invernadero (GEI, A2 y B2), han permitido analizar los cambios esperables en temperatura, precipitación y balance climático (precipitación menos evapotranspiración potencial) durante el siglo XXI en la Comunidad de La Rioja. Los resultados muestran un fuerte incremento térmico (4.4 - 3.1°C para las medias anuales) y un moderado descenso de la precipitación (16.7% y 11.8% del total anual). Los resultados se encuentran sujetos a una importante variabilidad estacional siendo el verano la estación que registra mayores cambios en ambas variables. Dichos cambios explican un descenso acusado del balance climático, lo que sugiere una evolución hacia condiciones progresivamente más restrictivas en cuanto a disponibilidad de agua.

Palabras clave: cambio climático, Modelos Climáticos Regionales (RCMs), escenarios climáticos, La Rioja.

This study assesses the expected climatic change for La Rioja region by the end of the 21st century. Temperature, precipitation and climatic balance (precipitation minus reference evapotranspiration) have been simulated by six different Regional Climate Models (RCMs) for a control period (1960-1990), and subsequently compared with those simulated for the future (2070-2100) under two markedly different scenarios of greenhouse gases concentrations in the atmosphere (A2 and B2). Results show a sharp increase in temperature (4.4-3.1°C for mean annual values) and a moderate decrease in precipitation (16.7% and 11.8% of the total annual). Such climatic switches explain a marked decrease in the climatic balance, which suggest a progressive tendency towards more restrictive water availability conditions.

1. Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC). Campus de Aula Dei. Apdo. 13034. 50080 – Zaragoza. E-mail: nlópez@ipe.csic.es.

Key words: *climatic change, Regional Climate Models (RCMs), climatic scenarios, La Rioja.*

0. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el posible efecto de las actividades humanas sobre el clima se ha convertido en una preocupación que va más allá del ámbito científico, siendo causa de alarma social e incluso política. Avances en el conocimiento de múltiples aspectos del sistema climático y su variabilidad natural permiten aislar de forma cada vez más precisa el efecto que ha tenido el espectacular incremento de la concentración en la atmósfera de gases de efecto invernadero (GEI), un 35 % en el último siglo, consecuencia del proceso de industrialización y desarrollo urbano en amplios sectores del planeta. Durante el siglo XX las temperaturas a escala global han aumentado 0.74°C de media (de 0.55 a 0.92°C), valor inferior al estimado para España que oscila entre los 1.2 y 1.5°C. El último informe del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, considera como "muy probable" que dicho incremento sea debido a la acción humana sobre el clima (IPCC, 2007).

Desde la década de los sesenta, se ha profundizado notablemente en el estudio de los complejos intercambios de energía que se producen entre los océanos, los continentes y la atmósfera. Dicho conocimiento, junto a un progresivo incremento en la capacidad de computación, ha permitido simular con una precisión razonable, aunque con diversas incertidumbres, la evolución del clima durante el siglo XX, así como realizar proyecciones climáticas para el futuro. Las proyecciones futuras se realizan teniendo en cuenta tanto los elementos que explican la variabilidad natural del clima, como el efecto de distintos niveles de emisión de gases de efecto invernadero, generando así diversos escenarios de cambio climático. En un principio, dichos modelos se aplicaban a escala planetaria con una resolución espacial relatívamente baja, oscilando entre los 2.5 y 5° (Modelos de Circulación General, GCMs). Desde los años 90, la resolución de dichos modelos puede incrementarse sobre regiones concretas a escalas inferiores a 0.5° (Modelos Climáticos Regionales, RCMs), lo que permite incluir con mayor precisión elementos del relieve o líneas de costa que juegan un papel fundamental en la variabilidad espacial que posee la evolución del clima, permitiendo una reproducción mucho más realista de las condiciones climáticas observadas (Giorgi *et al.*, 1991).

Los resultados que han proporcionado las proyecciones para el siglo XXI varían notablemente entre sí, dependiendo de los distintos modelos y los escenarios de emisión de gases a la atmósfera. Sin embargo, todos ellos sugieren un importante aumento de la temperatura y una evolución muy desigual de la precipitación dependiendo del sector geográfico considerado. El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) destaca una fuerte variabilidad espacial en la magnitud del incremento térmico, y en la magnitud y signo de la precipitación. Dada esta variabilidad, una correcta planificación de posibles estrategias de mitigación y adaptación a posibles

nuevas condiciones climáticas requiere extraer y valorar las proyeciones de los modelos climáticos (RCMs) para ámbitos geográficos concretos.

Recientemente, el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) ha publicado diversos informes sobre cambio climático en España (MMA, 2005, 2007), que predicen para el final del siglo XXI un incremento importante de las temperaturas y, en general, un descenso moderado de la precipitación. En dicho informe, se pone en evidencia, que incluso a una escala mucho más local, como es el territorio español, los resultados varían notablemente en el espacio y según los modelos aplicados y la estación del año considerada.

En este trabajo se pretende mostrar las condiciones climáticas esperables a finales del presente siglo (2070-2100) comparadas a las de un periodo de referencia reciente (1960-1990) en la Comunidad de La Rioja, de acuerdo con las proyecciones climáticas de 6 RCMs que consideran dos escenarios de emisión de gases a la atmósfera muy contrastados (B2 y A2).

La Rioja se encuentra en un sector de la Península Ibérica de marcado caracter de transición entre condiciones Atlánticas y Mediterráneas (Ruiz Urrestarazu, 1982; Cuadrat, 1994; de Luis *et al.,* en este número), lo que la convierte en muy vulnerable a posibles cambios climáticos por moderados que éstos fueran. Además de los distintos posibles efectos del cambio climático sobre numerosas actividades socioeconómicas y procesos ambientales esperables en España: salud, disponibilidad de agua, diversidad biológica, actividades turísticas, etc (MMA, 2007). La Rioja puede verse particularmente afectada por los previsibles consecuencias sobre las actividades agrícolas y su industria asociada, pues representan una fuente de ingresos muy importante para la Comunidad.

Los parámetros analizados en este estudio son temperatura, precipitación y balance hídrico climático (precipitación menos evapotranspiración potencial), siendo este último un indicador comunmente utilizado para la estimación de los recursos hídricos disponibles, y para detectar situaciones de estrés hídrico desde un punto de vista agronómico y de evolución vegetal. Las magnitudes de cambio para dichos parámetros se han calculado a escala anual y estacional. La utilización de diversos modelos permite la obtención de valores medios de cambio dentro un amplio rango de predicciones, lo que permite disponer de predicciones más robustas, y un mejor conocimiento de la incertidumbre inherentemente asociada a la modelización de las condiciones climáticas futuras.

1. DATOS Y MÉTODOS

La información sobre cambio climático fue obtenida a partir de las simulaciones de precipitación y temperatura (máxima y mínima) resultantes de seis modelos climáticos regionales (RCMs). Éstos han sido desarrollados por diversos centros de investigación que colaboran en el proyecto europeo PRUDENCE (http://prudence.dmi.dk). Los modelos utilizados son HIRHAM: aplicado por los Institutos Meteorológicos de Dinamarca (DMI) y Noruega (METNO), HADRM3: Hadley Center, RCAO: Instituto de Meteorología e

Zubía Monográfico | *núm. 20 (2008), pp. 187-200* | *ISSN 1131-5423*

Hidrología de Suecia (SMHI), REGCM: International Center for Theoretical Physics (ICTP) y PROMES: Universidad Complutense de Madrid (UCM). Todos ellos han sido conducidos por el mismo modelo de circulación general (GCM): HadAM3H y fueron aplicados sobre la totalidad del continente europeo. La selección de los modelos se ha basado en que todos ellos poseen simulaciones de clima para el periodo (2070-2100), teniendo en cuenta dos escenarios contrastados de emisión de gases invernadero (GEI): B2, que considera emisiones medias-bajas y A2, que considera emisiones medias-altas (Nakicenovick *et al.,* 1998). La resolución espacial de la información proporcionada es aproximádamente de 50x50 kilómetros (0.44-0.5°). Cada modelo cuenta con un sistema de referencia distinta, por tanto las series disponibles simulan las condiciones de diferentes puntos en el espacio. Para este trabajo se ha utilizado la información de cada modelo correspondiente a la celda situada más cercana a un punto central de la zona de estudio que fue subjetivamente seleccionado (42.29N, -2.44E). La figura 1 muestra la localización de los puntos centrales de las celdas con la información analizada de cada modelo. Puede apreciarse que sus ubicaciones muestran importantes contrastes espaciales, recogiendo información de sectores con relieve muy distinto; así DMI, HC e ICTP hacen referencia a un sector relativamente elevado de la zona de estudio, mientras UCM, SMHI y METNO cubren sectores de una altitud muy inferior. Resultado de esta diferencia, las series simulan temperaturas y volúmenes de precipitación muy contrastados. Sin embargo, es asumible que las magnitudes del cambio climático, resultante de comparar las simulaciones disponibles para un periodo control (1960-1990) y futuro (2070-2100), en grados centígrados para temperatura y porcentaje para precipitación son comparables entre los modelos, pues

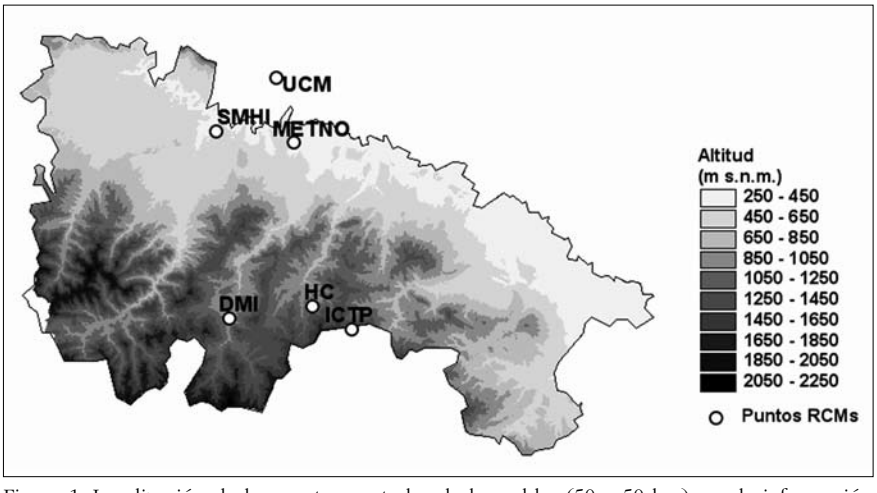

Figura 1. Localización de los puntos centrales de las celdas (50 x 50 km) con la información climática utilizada de cada modelo regional (RCM). DMI: Instituto Meteorológico de Dinamarca; METNO: Instituto Meteorológico de Noruega; HC: Hadley Center; SMHI: Instituto de Meteorología e Hidrología de Suecia; ICTP: International Center for Theoretical Physics; UCM: Universidad Complutense de Madrid.

todos los puntos se concentran en un área reducida y la magnitud con la que puede afectar el cambio climático debería ser muy similar.

Cartografías distribuidas de precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial para el conjunto de la comunidad (Cuadrat y Vicente-Serrano, en este volumen) han sido utilizadas para validar las simulaciones del periodo de control y mostrar los cambios en el balance climático (precipitación-evapotranspiración potencial) que se pueden esperar en el futuro. La tabla 1 muestra la temperatura y precipitación anual observada y simulada en cada punto correspondiente a los distintos modelos utilizados. Si bien debe de tenerse en cuenta que el periodo control de los RCMs (1960-2000) y el de las observaciones para relizar las cartografías (1950-2000) es diferente, puede apreciarse que los RCMs proporcionan una precisión razonable a la hora de representar la variabilidad espacial de ambos parámetros climáticos. Así, la diferencia media entre simulaciones y observaciones es de -0.5°C (0.9° de error absoluto) y del 13.3% (22.6% de error absoluto) en temperatura y precipitación, respectivamente. Dichos valores de precisión resultan muy similares a los estimados por Giorgi y Pal (2004) para el conjunto de Europa, y por López-Moreno *et al.,* (en prensa) en el sector pirenaico.

Tabla 1.
Temperatura y precipitación anual observada y simulada en cada punto correspondiente a los distintos modelos regionales (RCMs)

RCM	Temperatura observada	Precipitación observada	Temperatura simulada	Precipitación simulada	Simulación-observación (temperatura)	Simulación-observación (precipitación)	
HC	10.1	669.7	9.4	835.0	-0.7	165.3	24.7%
DMI	9.3	657.4	8.5	1013.0	-0.8	355.6	54.1%
SMHI	13.0	454.3	12.7	418.6	-0.4	-35.7	-7.9%
METNO	13.1	438.7	12.1	368.4	-1.0	-70.3	-16%
UCM	12.5	707.1	11.4	642.4	-1.2	-64.7	-9.1%
ICTP	8.7	693.1	9.7	822.6	1.0	129.5	-18.7%
Promedio	11.1	603.4	10.6	683.3	**-0.5°C**	80.0	**13.3%**
Error absoluto					**0.9°C**		**22.6%**

Modificando las cartografías de temperatura y precipitación para la zona de estudio (Cuadrat y Vicente-Serrano, en este volumen) con las proyecciones de cambio climático medio (promedio de los 6 RCMs) se ha recalculado el balance climático para el final del siglo XXI, bajo los dos escenarios de emisión considerados (A2 y B2).

2. RESULTADOS

La figura 2 muestra las diferencias obtenidas al comparar las temperaturas máximas y mínimas simuladas durante el periodo control y los escenarios futuros. Los resultados muestran, en general, un incremento térmico

Zubía Monográfico | *núm. 20 (2008), pp. 187-200* | *ISSN 1131-5423*

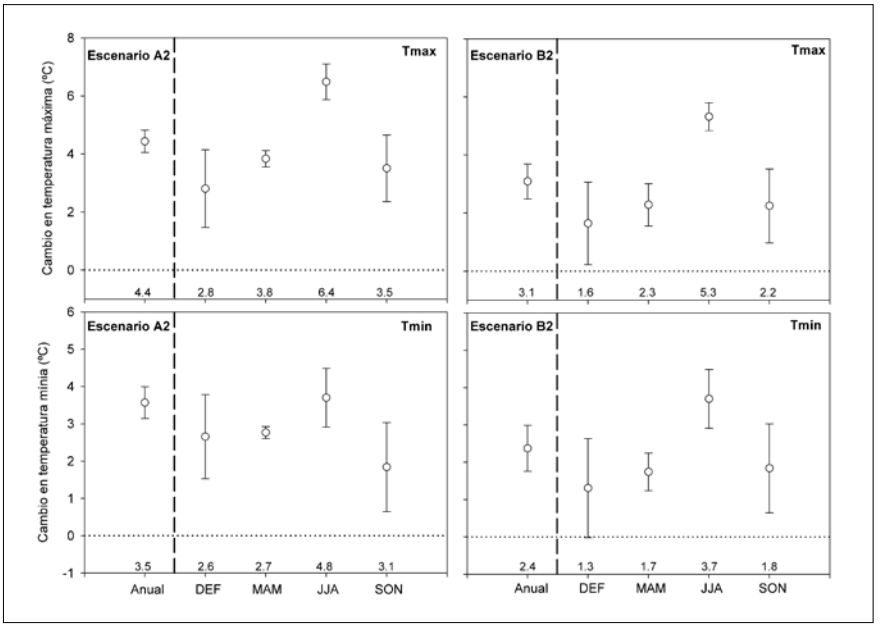

Figura 2. Diferencias obtenidas (ºC) al comparar las temperaturas máximas y mínimas simuladas para el periodo control (1960-1990) y para los escenarios A2 y B2 (2070-2100). Los puntos representan el cambio promedio proyectado por los 6 RCMs, las barras indican ± 1 desviación estándar.

muy acusado para la región, si bien existen diferencias destacables según el escenario, parámetro analizado (temperatura máxima ó mínima) y periodo del año.

El promedio de los 6 RCMs considerados indican un incremento de la temperatura máxima anual de 4.4 y 3.1 °C para los escenarios A2 y B2 respectivamente. La varianza entre el cambio proyectado por los diferentes modelos es reducida como lo índican sus desviaciones estándar. El verano es la estación del año en el que se espera un mayor aumento térmico (6.4 y 5.3°C de promedio para A2 y B2), mientras el invierno muestra el menor incremento (2.8 y 1.6°C). Los cambios proyectados para las temperaturas mínimas son apróximadamente un grado inferior que los simulados para las máximas, siendo de 3.5 y 2.4ºC para los valores anuales; de nuevo verano e invierno son respectivamente las estaciones con mayor y menor aumento térmico.

La figura 3 muestra las funciones de densidad (asumiendo una distribución normal) de las series diarias de temperaturas máximas verano (JJA) y mínimas de invierno (DEF) simuladas por el modelo REGCM (ICTP). La comparación entre la simulación de los periodos control y futuro evidencian cambios muy notables en toda la distribución de frecuencia de los valores diarios. Así, frente a una relativamente inusual ocurrencia de días en los que la temperatura supera los 35°C (4.2 días al año) en verano (JJA), éstos pasan

Zubía Monográfico | *núm. 20 (2008), pp. 187-200*
ISSN 1131-5423

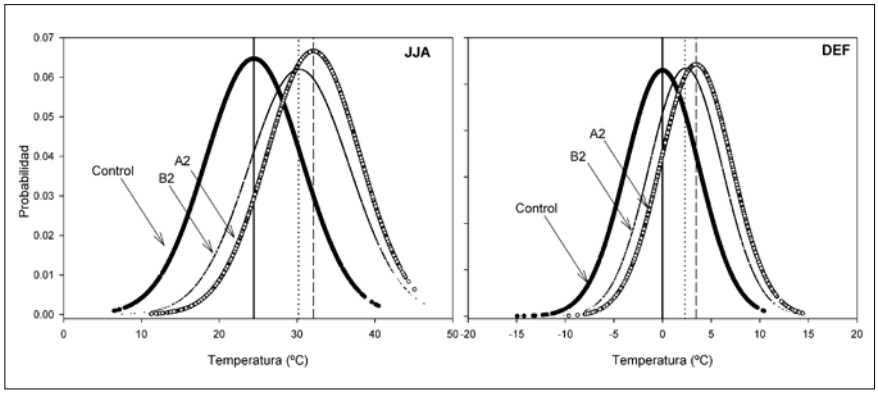

Figura 3. Funciones de densidad de las series de temperaturas máximas de verano (JJA) y mínimas de invierno (DEF) proyectadas por el modelo REGCM (ICTP).

a ser habituales según las proyecciones para finales del siglo XXI (34.1 y 24.1 para los escenarios A2 y B2 respectivamente). De la misma forma, en invierno (DEF) se esperan temperaturas más suaves a lo largo de toda la distribución reduciéndose los días de helada de un promedio de 43.8 para el periodo control, a 15.4 y 24.1 para los escenarios A2 y B2.

La figura 4 muestra los cambios anuales y estacionales en precipitación proyectados para el próximo siglo. De nuevo, aunque los modelos indican, en general, un descenso de la precipitación, existen diferencias importantes a nivel estacional y según los escenarios de emisión. Las desviaciones estándar muestran una menor coherencia entre las proyecciones de los distintos módelos que las observadas en las simulaciones de temperatura. Por término medio, se espera un descenso en la precipitación media anual de -16.7% y -11.8% según los escenarios A2 y B2. Dicho descenso será particularmente acusado durante verano, cuando los modelos proyectan una disminución del 35% y 33% para los escenarios A2 y B2, respectivamente. Los RCMs, muestran un comportamiento estacionario e incluso un ligero

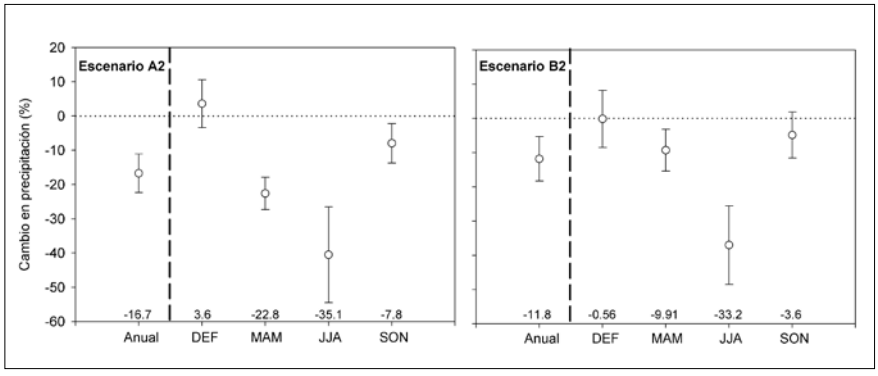

Figura 4. Diferencias obtenidas (%) al comparar la precipitación simulada para el periodo control (1960-1990) y para los escenarios A2 y B2 (2070-2100). Los puntos representan el cambio promedio proyectado por los 6 RCMs, las barras indican ± 1 desviación estándar.

Zubía Monográfico | *núm. 20 (2008), pp. 187-200*
ISSN 1131-5423

incremento en la precipitación de invierno (+3.6% y -0.56%, A2 y B2), un descenso ligero en otoño (-7.8% y -3.6%, A2 y B2) y entre intenso y moderado en primavera, en función de que se considere el escenario A2 (-22.8%) ó B2 (-9.9%).

Las funciones de densidad de las series de precipitación diaria de invierno y primavera simulada por el modelo PROMES (UCM) muestran (Figura 5) el acusado contraste estacional en los cambios proyectados para el final del presente siglo. Así en verano, la simulación sugiere un incremento del número de días al año sin precipitación o precipitación muy escasa (<2mm) de 66.4 (periodo control) a 77.7 y 75.6 (escenarios A2 y B2). El número de días durante los treinta años de simulación con precipitación intensa (>30 mm) también se reduce de forma importante entre el periodo control (15 días), y los escenarios A2 y B2 (3 y 6, respectivamente). En cambio, en invierno las curvas de probabilidad en los tres casos son muy similares, con una posibilidad de ocurrencia de días sin lluvia o precipitación muy escasa, algo superior durante el periodo control, y una ligera mayor probabilidad de ocurrencia de eventos de intensidad media y alta en las simulaciones para el periodo 2070-2100.

La conjunción de temperaturas más elevadas, y por tanto mayor evapotranspiración potencial, y un descenso en la precipitación explican el importante descenso del balance climático medio en la Comunidad de La Rioja, mostrado en la figura 6. Así el valor anual medio, que en la actualidad es negativo (-385 mm), desciende 312 y 229 mm para los escenarios A2 y B2, una magnitud muy importante si se tiene en cuenta que la precipitación media sobre la Comunidad para el periodo 1950-1999 es de 587.6 mm. Estacionalmente, el verano es la estación en la que se produce un mayor descenso del balance climático, seguido por los meses de primavera. El invierno, único momento del año en el que el balance promedio para la comunidad es positivo, apenas muestra cambios cuando se calcula a partir de las simulaciones disponibles para el periodo 2070-2100.

La figura 7 muestra las cartografías distribuidas del balance climático anual, de invierno y de verano durante el periodo 1970-2002 y para el pe-

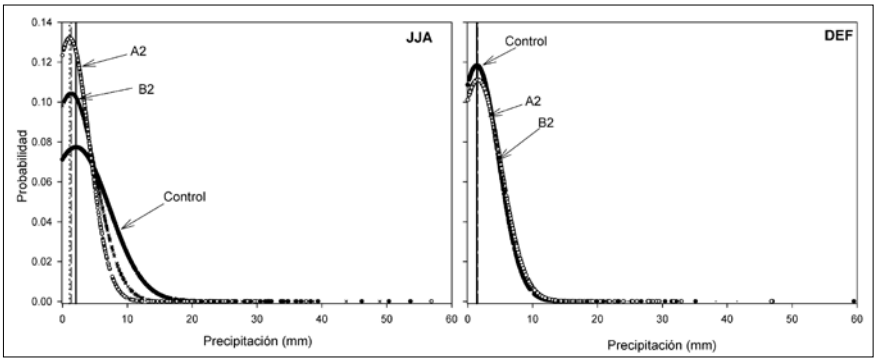

Figura 5. Funciones de densidad de las series diarias de precipitación de verano (JJA) e invierno (DEF) proyectadas por el modelo PROMES (UCM).

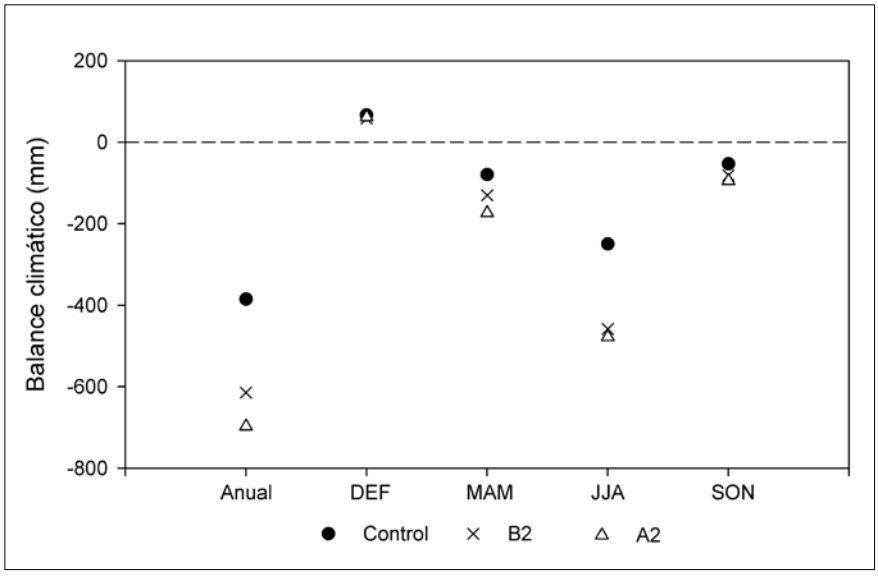

Figura 6. Balance hídrico climático medio del conjunto de La Rioja calculado para el periodo control y los escenarios A2 y B2.

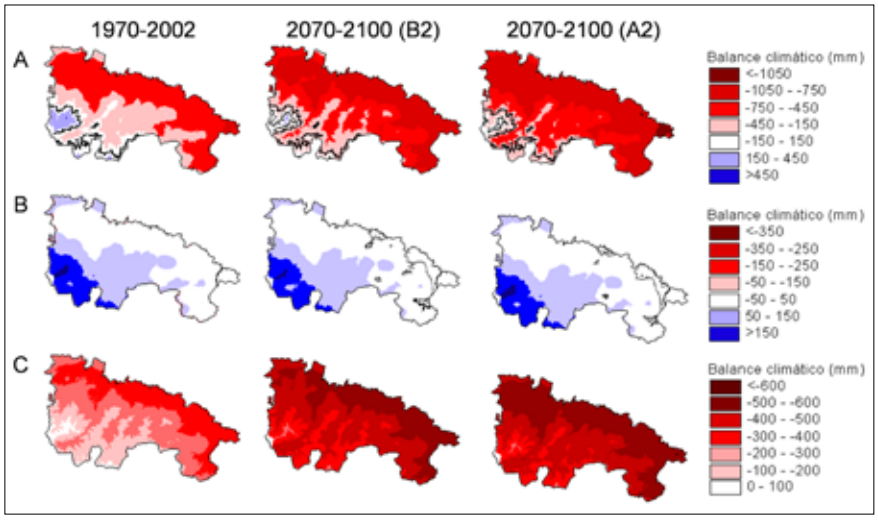

Figura 7. Cartografías distribuidas del balance climático anual, de invierno y de verano durante el periodo 1970-2002 y para el periodo (2070-2100). A: Balance climático anual; B: Balance climático de invierno; C: Balance climático de verano. La línea continua delimita las superficies donde se registra un balance climático positivo durante el periodo 1970-2003. La línea de puntos delimita las superficies donde se registra un balance climático positivo durante el periodo 2070-2100.

Zubía Monográfico | *núm. 20 (2008), pp. 187-200* *ISSN 1131-5423*

riodo 2070-2100 según las proyecciones de precipitación y temperatura en los escenarios B2 y A2. El balance anual de las últimas décadas muestra una mayor superficie con balance negativo, si bien en el sector montañoso, al suroeste de la Comunidad (10% del territorio) la precipitación excede a las tasas de evapotranspiración potencial. El déficit de precipitación de los sectores con balance negativo nunca supera los 750 mm. Según las proyecciones climáticas, la superficie con un balance climático positivo a finales del siglo XXI se reduce al 2 y 0.5% para los escenarios B2 y A2, respectivamente. Bajo condiciones climáticas proyectadas para el futuro habrá extensos sectores que excederán los 750 mm de déficit, e incluso en algunos puntos los 1000 mm si se considera el escenario A2. En invierno la distribución espacial del balance climático permanecerá prácticamente estable, siendo positivo en la mayor parte de la Comunidad. En verano, periodo en el que actualmente el balance es negativo en toda la superficie, las condiciones de estrés hídrico se endurecerán en toda la región. Actualmente en los sectores de montaña la precipitación prácticamente iguala a la evapotranspiración potencial, mientras que en los sectores más áridos, el deficit no excede de los 400 mm. Bajo condiciones climáticas futuras, el déficit hídrico excederá los 200 mm en la práctica totalidad de la región y en los sectores más áridos el déficit superará los 500 mm, e incluso puntualmente los 600 si se considera el escenario de emisión A2.

3. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este trabajo se ha utilizado la información proporcionada por seis modelos climáticos regionales (RCMs) para conocer la posible incidencia del cambio climático en la Comunidad de La Rioja. La comparación de las series climáticas simuladas para el periodo de control (1960-1990) con el futuro (2070-2100) revela los siguientes cambios:

- Un incremento medio de la temperatura de 3.1 y 4.4°C para los escenarios B2 y A2, respectivamente. El aumento de las temperaturas será más acusado en verano y más moderado, pero aún importante, en invierno.

- Un descenso de la precipitación anual del 11.8% y 16.7%, para los escenarios B2 y A2, respectivamente, afectando a todas las estaciones del año, excepto en invierno, donde el cambio proyectado es mínimo. En verano el descenso medio estimado alcanza valores de 33 y 35% según los dos escenarios.

-El balance climático (precipitación-temperatura) indica una evolución hacia condiciones de mayor estrés hídrico que las actuales, siendo la magnitud del descenso muy acusada todo el año, excepto en invierno, que se mantiene estacionario y con valores positivos en la mayor parte de la región.

A pesar de los grandes avances metodológicos en la modelización climática de las últimas décadas, las proyecciones climáticas llevan asociadas una serie de incertidumbre qué obligan a tomar siempre los resultados obtenidos con cautela (Dequé *et al.,* 2005). La confianza en los niveles de

cambio climático predicho para un sector determinado, se determina normalmente conforme a los siguientes criterios (Räisänen, 2006): i) el grado de fidelidad con la que las condiciones climáticas observadas son reproducidas por la simulación correspondiente al periodo control; y ii) la coherencia o similitud entre las simulaciones proporcionadas por distintos modelos climáticos. Respecto a estos dos puntos, los resultados mostrados en este trabajo evidencian que resultan más fiables las proyecciones de temperatura que de precipitación. Así, las diferencias entre el periodo control y las series correspondientes al periodo 2070-2002 se encuentran normalmente por debajo de 1°C y las proyecciones para el futuro de los distintos modelos se encuentran en un rango de valores bastante similar. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que aunque en este trabajo se comparen simulaciones de distintos RCMs, todos ellos han sido conducidos por el mismo modelo de circulación general (GCM). La disponibilidad de información proporcionada por modelos derivados de distintos GCMs, proporcionaría un rango de previsiones mucho mayor, que podría modificar los valores de cambio medio proporcionados en este estudio, como sucede en un análisis comparativo de predicciones de GCMs para sectores de montaña a escala planetaria (Nogués-Bravo *et al.,* 2007). Las simulaciones de precipitación muestran un error medio anual del 22% respecto a las observaciones. La magnitud del error es similar a la estimada para el continente europeo (Giorgi y Pal, 2004) y los Pirineos (López-Moreno *et al.,* en prensa a). Así, la diferencia entre observaciones y simulaciones supera a la magnitud del cambio esperado para la precipitación anual a finales del presente siglo, lo que obliga a tomarlo con cautela. Sin embargo, aunque con diferentes magnitudes, todos los modelos utilizados coinciden en el signo negativo de la evolución pluviométrica, siendo los resultados plenamente coincidentes con la mayor parte de las proyeciones realizadas para el sur de Europa y la región Mediterránea (Giorgi y Lionello, 2007).

De acuerdo con las proyecciones disponibles, todo parece indicar un aumento de las condiciones de aridez para la región, traduciéndose en una reducción en la generación de escorrentía y una menor disponibilidad de agua para la vegetación (López-Moreno *et al.,* en prensa, b). La inercia que poseen las consecuencias del incremento de gases de efecto invernadero en el sistema climático (IPCC, 2007), y que incluso las previsiones más optimistas predicen un aumento de dicha concentración en el próximo siglo (Nakicenovick *et al.,* 1998) explican que la magnitud de los cambios esperables según los escenarios B2 y A2 varíe, pero coincidan en su signo, siendo sus consecuencias preocupantes en ambos casos. Así, incluso bajo el escenario mas optimista, B2, el incremento térmico es tan sólo un grado inferior al proyectado por el escenario A2, pudiendo tener importantes consecuencias socieconómicas y ambientales. Dichos cambios puede llevar a importantes modificaciones del ciclo fenológico de la vegetación, que muy posiblemente obligará a introducir cambios importantes en la estacionalidad, laboreo e incluso en la selección de las especies en aquellos cultivos particularmente sensibles a las condiciones térmicas. Los resultados también evidencian que

Zubía Monográfico | *núm. 20 (2008), pp. 187-200* | *ISSN 1131-5423*

bajo condiciones climáticas futuras, la optimización en la gestión del agua será fundamental para el mantenimiento de muchas actividades industriales y agrícolas de la región, siendo las técnologías de ahorro y reutilización de agua claves, para una adecuada mitigación de algunos efectos negativos asociados al cambio climático proyectado.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por los proyectos PROBASE: CGL2006-11619 y CANOA: CGL 2004-04919-C02-01 (Ministerio de Educación y Ciencia). La investigación del primer autor se ha realizado en el marco de una beca postdoctoral financiada por el Ministerio de Educación y Ciencia. Los autores agradecen al proyecto EU-PRUDENCE por la recopilación y distribución de la información climática simulada por los distintos modelos regionales (RCMs) utilizados en este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

Cuadrat, JM. (1994). El Clima. En: *Geografía de La Rioja* (J.M. García-Ruiz y J. Arnáez, Eds). Caja Rioja, Tomo 1: Geografía Física: 129-163, Logroño.

Cuadrat, JM, Vicente-Serrano, S.M. (en este número). Características espaciales del clima en La Rioja modelizadas a partir de SIG y modelos de regresión espacial. *Zubía, monográfico 20.*

De Luis, M., Longares, L.A. y González Hidalgo, J.C., (en este volumen). Las precipitaciones de la Comunidad Autónoma de La Rioja: la identificación de un ecotono pluvial. *Zubía, monográfico, 20.*

Dequé, M., Jones, R.G., Wild, M., Giorgi, F., Christensen, J.H., Hassell, D.C., Rockel, B., Jacob, D., Kjellström, E., De Castro, M., Kucharski, F., Van der Hurk. (2005). Global high resolution versus Limited Area Model climate change projections over Europe: quantifying confidence level from PRUDENCE results. *Climate Dynamics* 25: 653-670.

Giorgi, F., Mearns, L.O. (1991). Approaches to the simulation of regional climate change- a review. *Reviews of Geophysics* 29: 191-216.

Giorgi, F., Bi, X., Pal, J.S. (2004). Mean interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe. I. Present-day climate (1961-1990). *Climate Dynamics* 22: 733-756.

Giorgi, F., Lionello, P. (2007). Climate change projections for the Mediterranean Region. *Global and Planetary Change.* Doi: 10.1016/j.glopacha.2007.09.05.

IPCC (2007). *Climate change 2007: The physical science basis.* Ed. Cambridge University Press. Cambridge: 1009 pp.

López-Moreno, J.I., García-Ruiz, J.M., Beniston, M. (en prensa a). Environmental Change and water management in the Pyrenees. Facts and future perspectives for Mediterranean mountains. *Global and Planetary Change.*

López-Moreno, J.I., Goyette, S., Beniston, M. (en prensa b). Climate change prediction over complex areas: spatial variability of uncertainties and expected changes over the Pyrenees from a set of regional climate models. *International Journal of Climatology*.

Ministerio de Medio Ambiente (2005). *Evaluación preliminar de los impactos en España por Efecto del Cambio Climático*. Ed. Centro de Publicaciones. Secretaria Técnica del Ministerio de Medio Ambiente: 846 pp.

Ministerio de Medio Ambiente (2007). *El cambio climático en España. Estado de situación*. www.mma.es/portal/secciones/cambio_climatico/. 50 pp.

Nakicenovick, N., Grübler, A., Mc Donalds, A. (1998). *Global Energy Perspectives*. Cambridge University Press. Cambridge, 299 p.

Nogués-Bravo, D., Araújo, M.B., Martínez-Rica, J.P. y Errea, M.P. (2007). Exposure of global mountain systems to climate change. *Global Environmental Change* 17 (3): 420-428.

Räisänen, J. (2006). How reliable are climate models?. *Tellus* 59: 2-29.

Ruiz Urrestarazu, E. (1982). *La transición climática del Cantábrico Oriental al valle medio del Ebro*. Diputación Foral de Alava: 651 pp., Vitoria.