



Informe sobre impactos en Córdoba - Andalucía

**Variables: precipitación, temperatura,
evaporación, viento y radiación de onda corta**

Elaboración:

Consellería de Medio Ambiente Territorio e Infraestruturas. MeteoGalicia.

Gonzalo Miguez Macho. Universidade de Santiago de Compostela.

Lucía Gestal Souto. Universidade de Santiago de Compostela.

Índice

| | |
|----------------------|-----------|
| Introducción | 1 |
| Procedimiento | 4 |
| Escenario A2 | 4 |
| Escenario B2 | 11 |
| Conclusión | 18 |
| Anexos | 20 |

Introducción

En este informe se presentan los primeros resultados obtenidos dentro del proyecto Adaptaclima para un punto situado en Córdoba (Andalucía, España).

El objetivo de este proyecto es determinar la magnitud del cambio climático en una serie de regiones situadas en España, Francia y Portugal. Para ello se realizará un análisis de la variabilidad y del cambio en la temperatura y precipitación esperados en escenarios de cambio climático futuro basados en proyecciones de modelos climáticos regionales.

En este estudio se han empleado los resultados del proyecto PRUDENCE (<http://prudence.dmi.dk>), que contienen proyecciones de cambio climático para Europa con una resolución horizontal de aproximadamente 50 km. Estas proyecciones fueron realizadas por distintas instituciones meteorológicas europeas usando distintos modelos climáticos regionales anidados en el modelo global HadAM3H, que es uno de los modelos globales empleados en el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) y uno de los que ofrece mejores resultados para el clima actual. Así, para cada uno de los modelos regionales se tiene la proyección para el periodo 2071-2100 y una simulación de control para el periodo 1961-1990 que nos servirá como simulación de referencia.

Al analizar las proyecciones de cambio climático debemos tener en cuenta que los modelos regionales poseen una serie de limitaciones asociadas a distintos tipos de incertidumbre. Una de estas incertidumbres está asociada a los distintos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, por esto, como explicaremos más adelante, estudiaremos los resultados para los dos escenarios de emisiones para los que disponemos de datos. El segundo nivel de incertidumbre está asociado a limitaciones propias de los modelos.

Teniendo en cuenta estos dos factores, cuanto mayor sea el número de escenarios y de modelos que analicemos, mejor acotaremos el error asociado a las proyecciones. En el proyecto Prudence se realizaron simulaciones con 8 modelos climáticos regionales a 50 km de resolución para un escenario de cambio climático. Con 4 de los modelos se llevaron a cabo a mayores proyecciones para un escenario diferente, también a 50 km de resolución. 2 de los modelos realizaron además simulaciones para uno de los escenarios cambiando la configuración a 25 km de resolución. En este estudio nos centraremos en las proyecciones a 50 km de resolución, ya que al haber un mayor número de simulaciones de modelos distintos

permiten una mejor estimación de la incertidumbre asociada a las proyecciones del clima futuro.

De acuerdo con el Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones, SRES (Special Report on Emissions Scenarios; IPCC, 2000), existen cuatro hipótesis de cómo será el desarrollo de las condiciones socioeconómicas y demográficas de la humanidad en el futuro próximo (los denominados escenarios A1, A2, B1 y B2). Estas hipótesis se han usado como base para estimar las emisiones globales de CO₂ en el siglo XXI.

En la base de datos del proyecto PRUDENCE disponemos de datos para los escenarios A2 y B2, cuyas características y diferencias son, de forma muy resumida:

- Escenario A2: prevé un mayor incremento del número de emisiones debido a que sigue habiendo un rápido crecimiento de la población a escala global y un crecimiento económico a escala regional.
- Escenario B2: supone un menor incremento de emisiones debido a un crecimiento poblacional moderado y niveles de crecimiento económico y tecnológicos más lentos.

En el Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (SRES) no se asignan a priori probabilidades de ocurrencia a los diferentes escenarios. Sin embargo, como se observa en la figura 1, el escenario A2 es el más extremo, con un aumento constante de la cantidad de emisiones de gases de invernadero, mientras que el B2 da un nivel intermedio de emisiones. Por esto, es de esperar que los resultados para este escenario sean más conservadores que los obtenidos para el escenario A2.

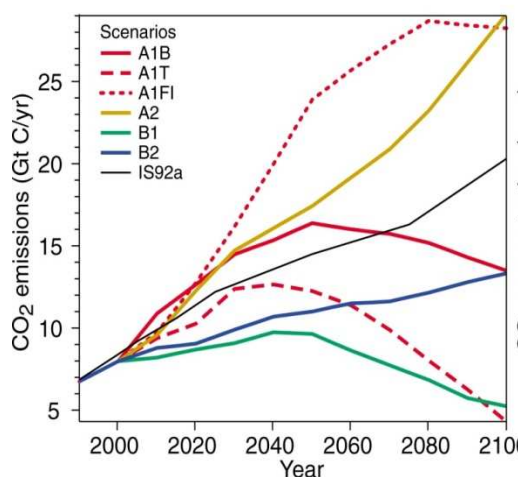


Figura 1. Estimación de las emisiones de CO₂ en el siglo XXI según el escenario considerado. Nótese que tanto para el escenario A2 como para el B2 se prevé un aumento de emisiones, siendo este aumento mayor para el A2 que para el B2.

En la tabla 1 mostramos los centros europeos que realizaron los experimentos que analizamos para realizar este informe y el modelo regional que emplearon. Señalar que todos realizaron experimentos para el escenario A2, pero sólo los cuatro coloreados en gris llevaron a cabo también una simulación para el escenario B2.

| | | | | | | | | |
|---------------|--------|------|------|-------|--------|------|------|--------|
| Centro | DMI | ETHZ | GKSS | ICTP | KNMI | MPI | SMHI | UCM |
| Modelo | HIRHAM | CHRM | CLM | RegCM | RACMO2 | REMO | RCAO | PROMES |

Tabla 1. Lista de los centros que llevaron a cabo los experimentos analizados en este informe y nombre de los modelos regionales que emplearon.

Procedimiento

En la base de datos del proyecto PRUDENCE, tenemos, entre otros, datos diarios de temperatura media, temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación. Aquí analizaremos las tendencias para la temperatura y la precipitación a escala anual y estacional, así como la frecuencia de datos diarios extremos en el periodo 2071-2100 en un punto determinado (Córdoba, España).

En las gráficas, todas las variables aparecen expresadas como anomalías (diferencia) respecto de su valor medio en la simulación de control (periodo 1961-1990), excepto para la precipitación, para la que se presenta la anomalía estandarizada (dividida por la desviación típica del periodo de referencia). Para determinar si las tendencias son significativas o no hemos utilizado el test de correlación no paramétrico Tau-b de Kendall.

Primero nos centraremos los resultados obtenidos para los ocho experimentos para el escenario A2. Luego analizaremos los cuatro experimentos para el escenario B2 comparando con los resultados del A2. En la comparación con el escenario B2 presentamos, además el análisis de otras tres variables: la evaporación, la velocidad del viento a 10 m de altura y la radiación de onda corta incidente sobre la superficie de la Tierra.

Escenario A2

De los ocho modelos analizados para el escenario A2 se muestran las gráficas de resultados obtenidas con el modelo RACMO2 del KNMI, pues éste es para el que se obtienen con diferencia las tendencias más significativas cuando aplicamos el test Tau-b. Destacar que los resultados son bastante parecidos para todos los modelos, por ello no mostraremos todas las gráficas y nos limitaremos a señalar cuando algún modelo proporcione resultados diferentes a los demás. De todas formas, en los Anexos I y II presentamos las gráficas de anomalía de temperatura y precipitación a escala anual para todos los modelos regionales y para los dos escenarios.

1) Análisis de la temperatura

La figura 2 muestra la tendencia anual en el valor diario promedio de la temperatura media respecto del periodo de referencia a escala anual para el modelo RACMO2.

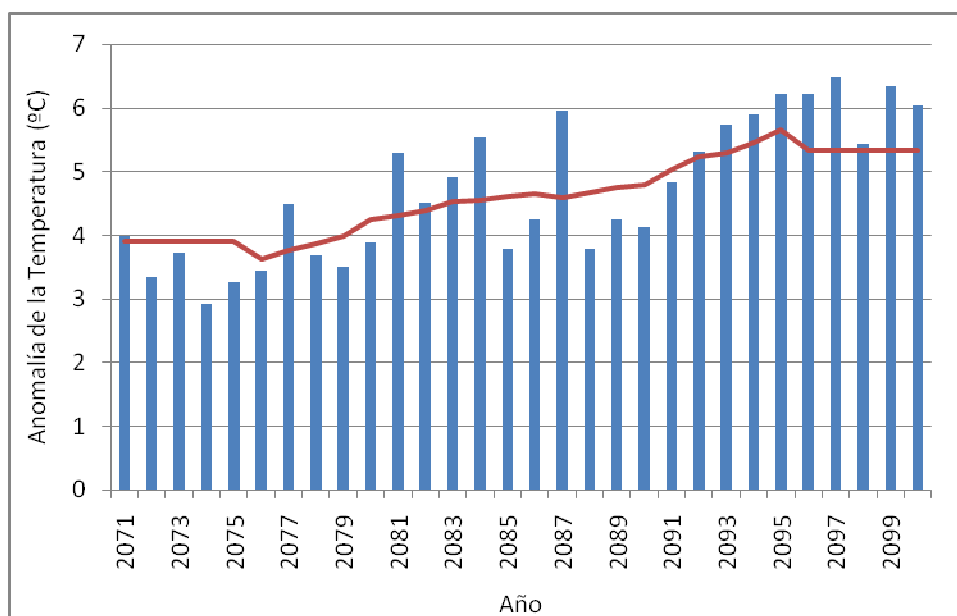


Figura 2. Variación anual de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del periodo 1961-1990. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

En esta gráfica, así como en las obtenidas con los otros siete modelos, observamos una anomalía positiva de la temperatura para todos los años del período proyectado respecto del periodo de referencia. Sobre los resultados, hay tres modelos (CHRM del ETH, CLM del GKSS y RegCM del ICTP) que prevén un aumento diario medio de entre 2 y 4.5 °C mientras que los otros cinco prevén un aumento de entre 3 y 7 °C (ver Anexo I). El modelo más conservador es el modelo RegCM del ICTP, mientras que el más extremo es el PROMES de la UCM.

Es de resaltar también que todas las gráficas presentan una pendiente positiva, indicando un aumento de temperatura en promedio del orden de 0.68 °C/década en el periodo 2071-2100. Además, para todos los modelos el test Tau-b de Kendall nos indica que la pendiente es significativa para esta variable.

Estacionalmente se observan también en todos los modelos y para todos los años anomalías positivas, siendo éstas mayores en primavera (entre 1 y 6 °C en los tres modelos más conservadores y entre 1.5 y 8 °C en los demás) y verano (entre 1 y 6 °C en los tres modelos

más conservadores y entre 3 y 9 °C en los demás). Las pendientes de las gráficas son mayores en primavera y verano.

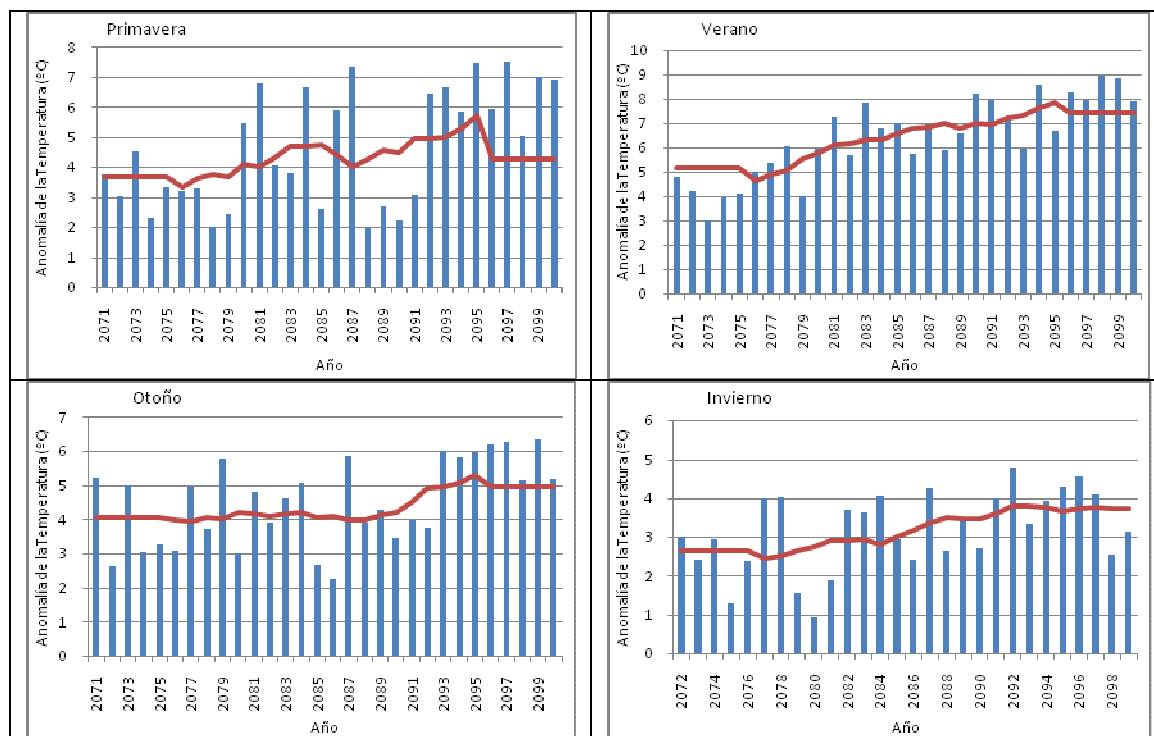


Figura 3. Variación estacional de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del periodo 1961-1990. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

2) Análisis de la precipitación

Para la precipitación acumulada calculamos la anomalía estandarizada. Esta variable nos indica la diferencia de la precipitación en el período 2071-2100 respecto de la media del período de referencia en unidades de “número de veces la desviación típica del período de referencia”.

Todos los modelos predicen una disminución de la precipitación con respecto al periodo de referencia. No obstante, a diferencia de la temperatura (para la cual obteníamos un claro aumento para todos los años), sí se observan algunos años más lluviosos que en el periodo de referencia.

Además, todos los modelos prevén una disminución de esta variable de una magnitud similar (recordemos que para la temperatura había tres modelos que daban un resultado más conservador que los demás). Sin embargo, sólo se observan tendencias significativas con el

modelo CHRM del ETHZ (ver Anexo II). En la figura 4 se observan los resultados obtenidos con el modelo RACMO2:

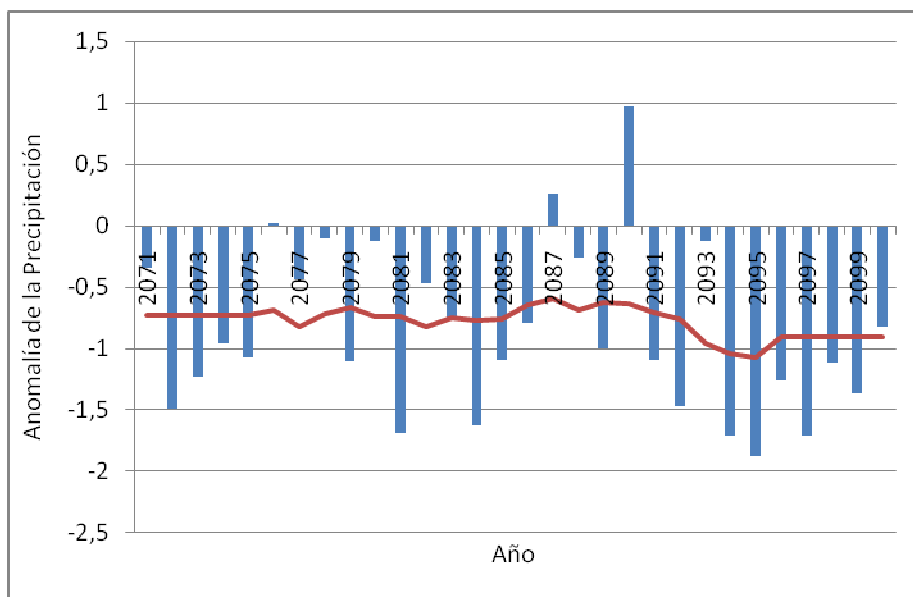
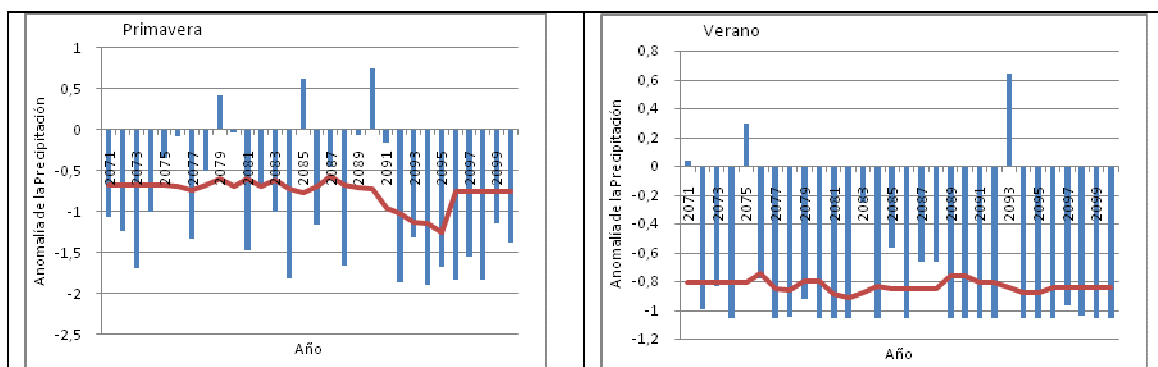


Figura 4. Variación anual de la anomalía de la precipitación total respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Estacionalmente observamos en invierno un pequeño aumento del número de años con anomalías positivas (es decir, del número de años con aumento de la precipitación respecto de la del periodo de referencia), en primavera y otoño el comportamiento es similar al de la escala anual, mientras que en verano predominan las anomalías negativas siendo éstas menores que en primavera y otoño (menor reducción de la precipitación en esta estación).



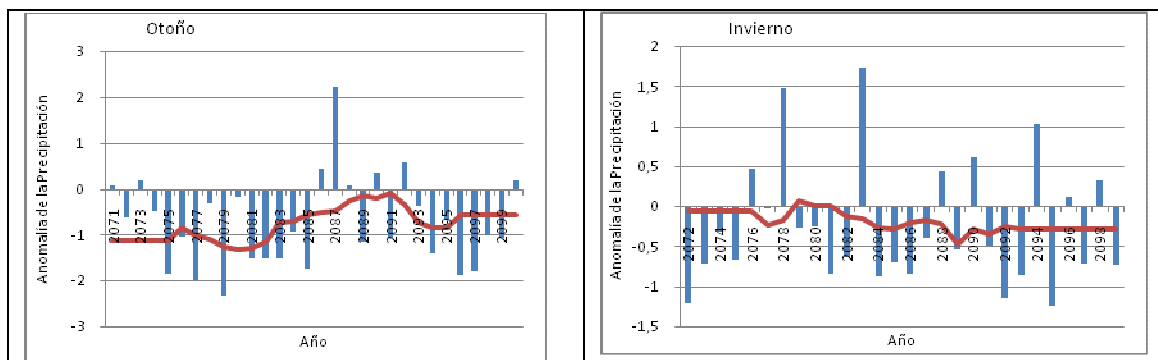


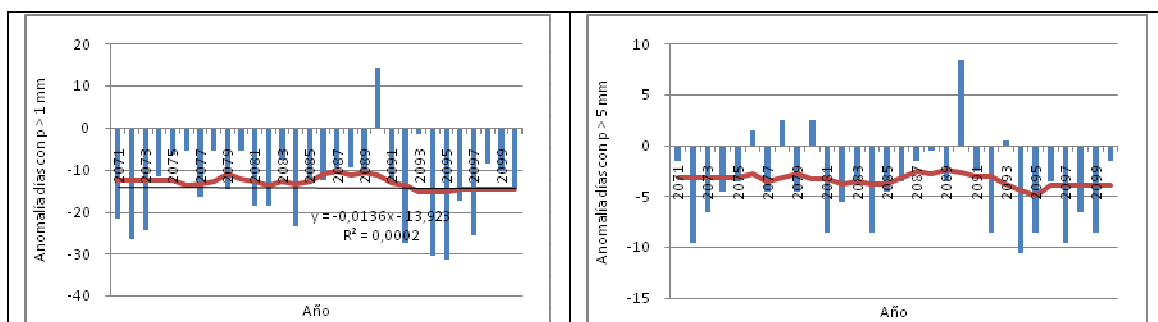
Figura 5. Variación estacional de la anomalía de la precipitación total respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

3) Análisis de la frecuencia días de lluvia

Estudiamos ahora la frecuencia de días de lluvia que superaron distintos umbrales fijos de precipitación (1, 5, 10 y 30 mm). El umbral de 1 mm se escoge en general para determinar si en un día hubo precipitación o no, con lo cual la frecuencia de días de lluvia que superan este umbral nos dará la frecuencia de días en los que hubo precipitación. El umbral de 30 mm lo escogemos para establecer la frecuencia de días de lluvia intensa. Los umbrales de 5 mm y 10 mm son umbrales intermedios.

Anualmente se observa en general una disminución de estas frecuencias casi todos los años (de hasta 50 días de precipitación por año en los modelos que dan resultados más extremos para esta variable), apareciendo más anomalías positivas para los umbrales de precipitación diaria más extrema (figura 6).

A escala estacional, la disminución es mayor en primavera e invierno y muy pequeña en verano.



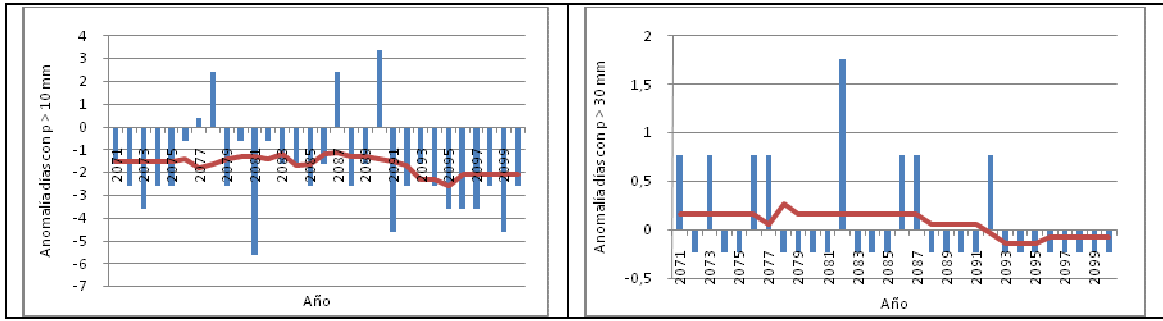
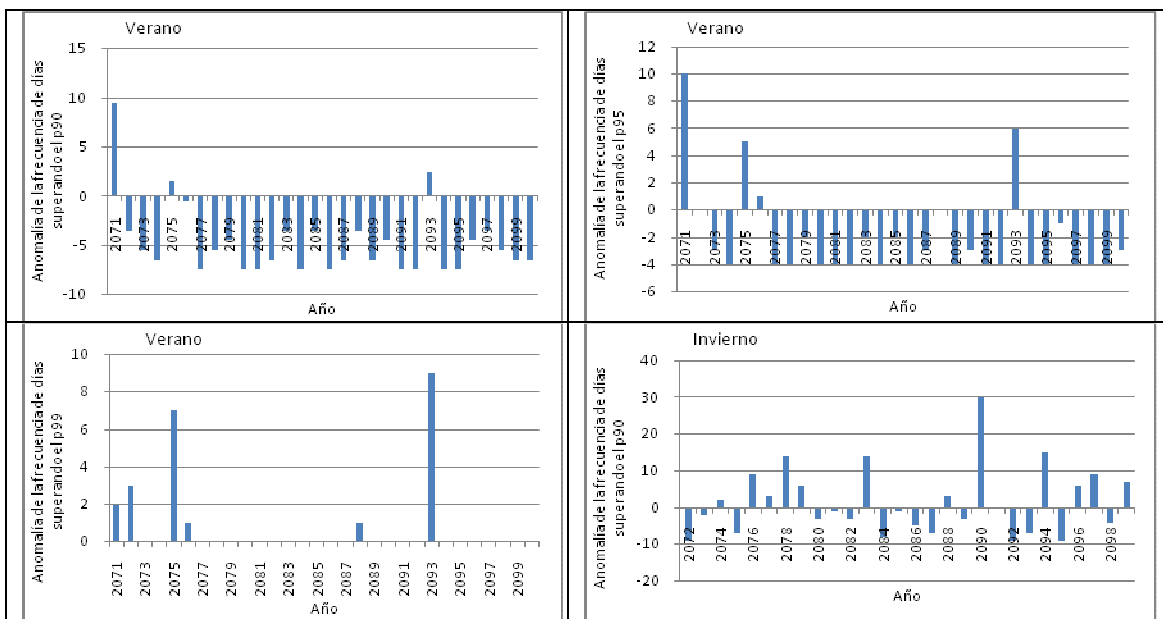


Figura 6. Variación interanual de la anomalía de los días con precipitación mayor que 1, 5, 10 y 30 mm respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

4) Análisis de extremos de precipitación

Estudiamos ahora la anomalía de la frecuencia de días superando los percentiles p90, p95 y p99 del periodo de referencia con el objetivo de determinar si los fenómenos de precipitación extrema aumentarán o disminuirán.

Se observa, tanto a escala anual como estacional, un aumento de la frecuencia de días de precipitación superando el p99 (días de lluvia muy intensa). En invierno también se observa un aumento para los percentiles p90 y p95, mientras que en el resto de las estaciones y anualmente se observa una disminución del número de días superando el p90 y una situación intermedia para el p95 (figura 7).



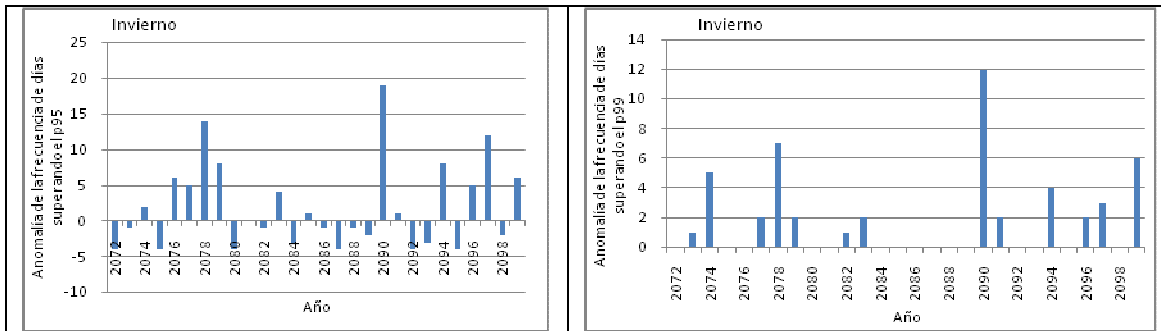
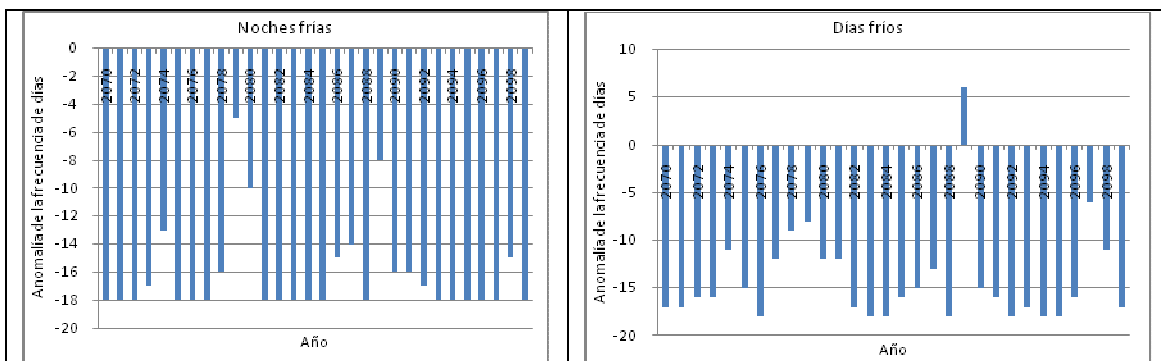


Figura 7. Variación estacional (verano e invierno) de la anomalía de los días con precipitación mayor que los percentiles p90, p95 y p99.

5) Análisis de extremos de temperatura

Calculamos los percentiles 5 y 95 de las temperaturas máxima y mínima. Denominamos días cálidos a los días cuya temperatura máxima superó el p95 y noches cálidas a aquellos días cuya temperatura mínima superó el p95. Análogamente, llamamos días fríos a los que presentaban una temperatura máxima por debajo del p5 y noches frías a los días con temperatura mínima por debajo del p5.

Anualmente se observa un claro aumento del número de días y noches cálidas y una disminución del número de días y noches fríos con respecto al periodo de referencia (figura 8). Nótese que el aumento de días y noches cálidas llega a superar los 100 días respecto al periodo de referencia en algunos años. Estacionalmente el comportamiento es muy parecido al de la escala anual y muy semejante también entre las distintas estaciones (siendo el aumento de noches y días cálidos un poco mayor en verano), con lo cual sólo mostramos los gráficos a escala anual.



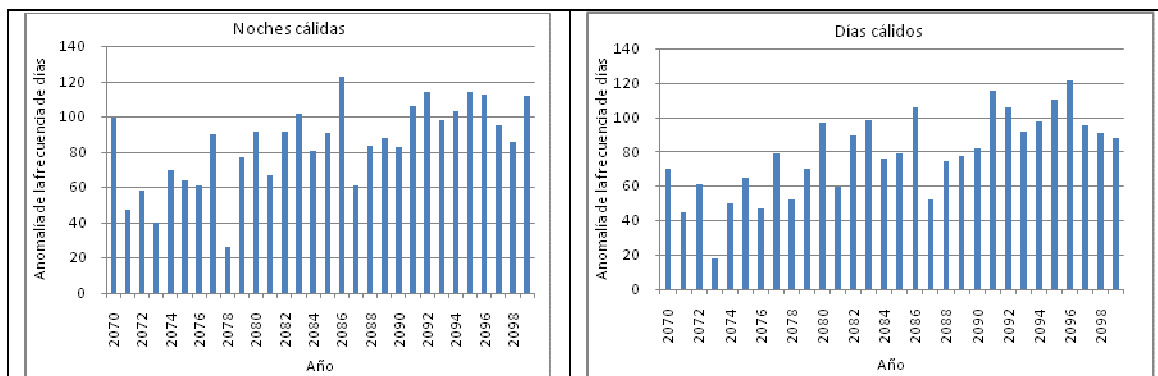


Figura 8. Variación interanual de la anomalía de los días y noches cálidas y frías respecto al periodo de referencia.

Sobre la significación de los resultados obtenidos en el análisis de temperaturas extremas, es de destacar que aparecen tendencias muy significativas para la anomalía de noches y días cálidos con todos los modelos.

Escenario B2

Como ya mencionamos en la introducción, para este escenario sólo existen datos para cuatro de los ocho modelos. En este caso también obtenemos resultados muy parecidos con todos ellos (ver Anexos I y II), por lo que sólo presentamos las gráficas para el modelo HIRHAM del DMI, basándonos nuevamente en el criterio de mayor número de tendencias significativas al aplicar el test Tau-b de Kendall a las variables analizadas. Iremos comparando los resultados para el escenario B2 con los obtenidos para el escenario A2 con este mismo modelo.

1) Análisis de la temperatura

Todos los modelos prevén, a escala anual, un aumento de la temperatura durante el período 2071-2100 menor que en el escenario A2. Sin embargo, los modelos difieren a la hora de estimar la magnitud de este aumento: el modelo RegCM del ICTP predice un aumento de entre 1 y 2.5 °C, el HIRHAM del DMI y el RAO del SMHI un aumento de entre 1.5 y 4 °C y, finalmente, el modelo PROMES de la UCM un aumento de entre 2 y 5 °C. Señalar además que ningún modelo presenta una tendencia significativa para esta variable en el escenario B2.

Estacionalmente, el comportamiento es muy similar al del escenario A2, aunque los aumentos de temperatura previstos son menores todas las estaciones para el escenario B2, llegándose a

observar algún año con anomalías negativas en primavera (disminuciones de hasta 0.5 °C respecto a la temperatura diaria media del periodo de referencia).

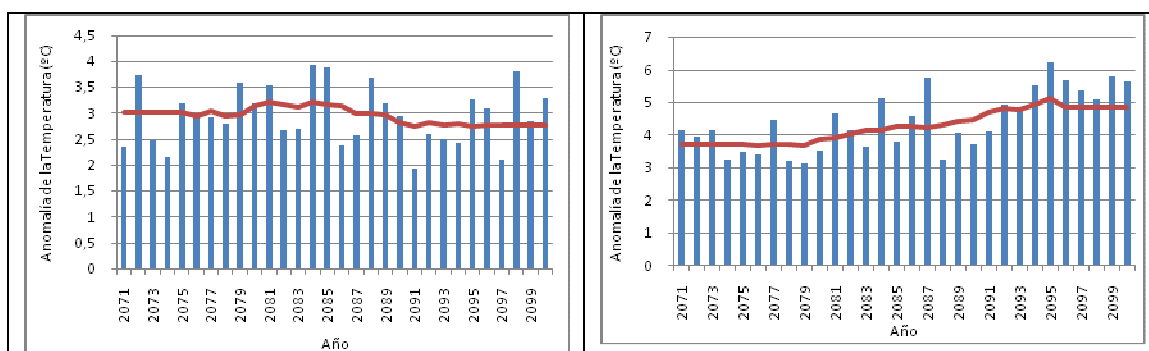


Figura 9. Variación anual de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años

2) Análisis de la precipitación

Las precipitaciones tienden a presentar una anomalía negativa la mayoría de los años (disminución de la precipitación) respecto del periodo de referencia. Sin embargo, es menos negativa que para el escenario A2 y aparecen más años con anomalías positivas más elevadas. Estacionalmente el comportamiento es análogo al del escenario A2 aunque más conservador, siendo destacable una más marcada disminución de la precipitación en verano. El modelo HIRHAM del DMI (figura 10) es el único que presenta una tendencia significativa para esta variable en el escenario B2.

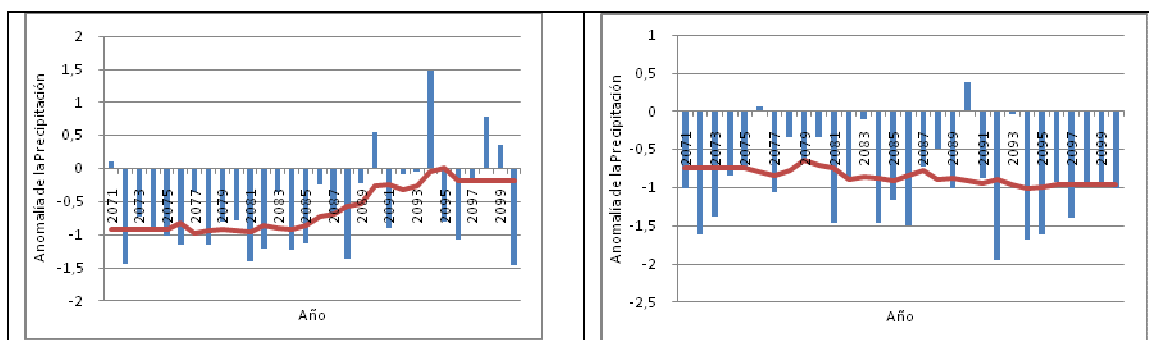


Figura 10. Variación anual de la precipitación total respecto al período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

3) Análisis de la frecuencia de días de lluvia

Observamos una reducción de la frecuencia de días de lluvia ligeramente menor que la prevista según el escenario A2. Estacionalmente, la tendencia es muy semejante a la de la escala anual, siendo sólo destacable un aumento de los años con anomalías positivas en invierno y una reducción menor en verano.

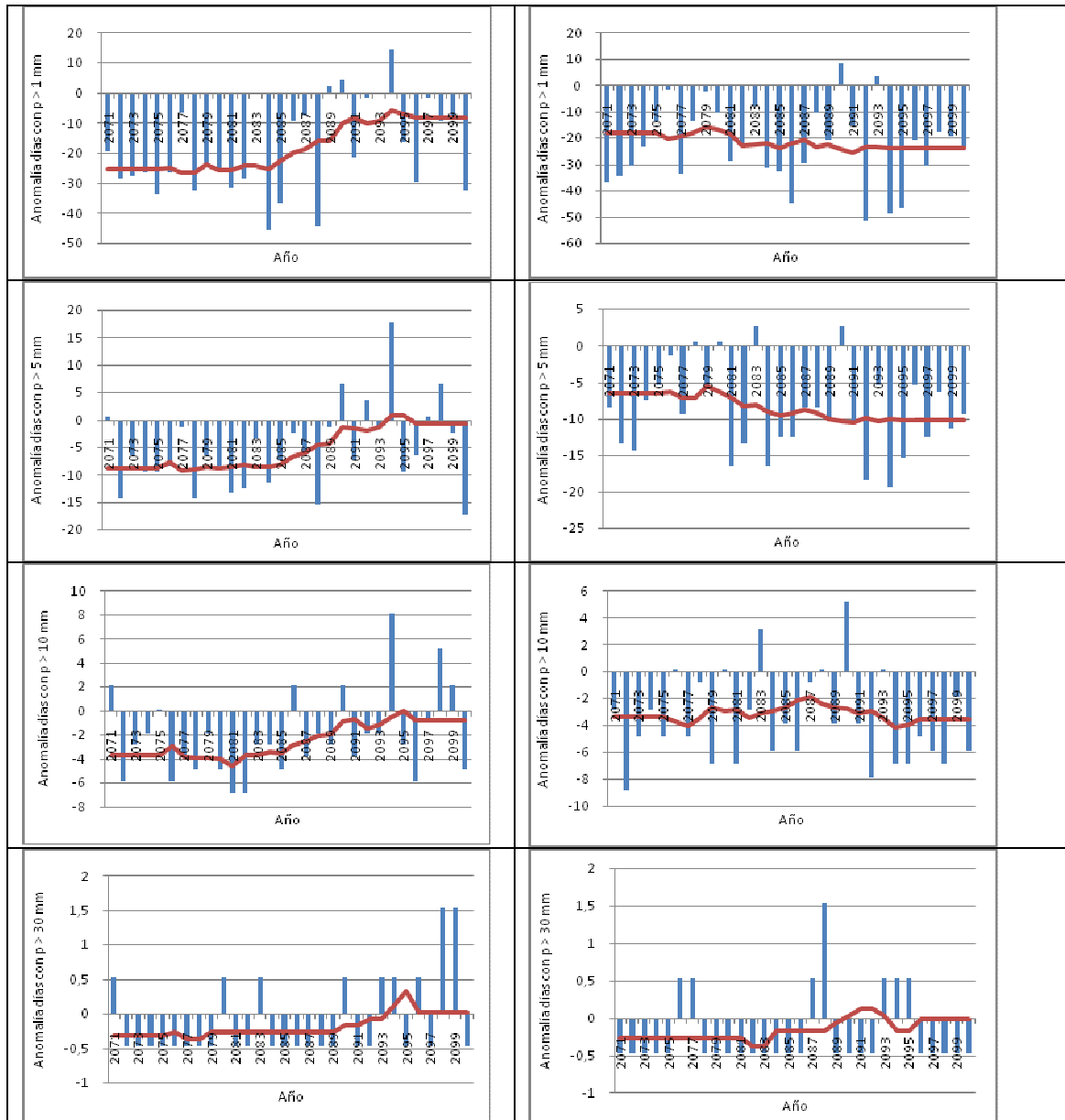


Figura 11. Variación anual de la anomalía en el número de días con precipitación mayor que 1, 5, 10 y 30 mm. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

4) Análisis de extremos de precipitación

En cuanto a la frecuencia de días de lluvia intensa (superando el percentil 95 del período de referencia) se observa un predominio de años con anomalías negativas (disminución respecto al período de referencia). Señalar que las anomalías son en general menos extremas que las previstas por el escenario A2.

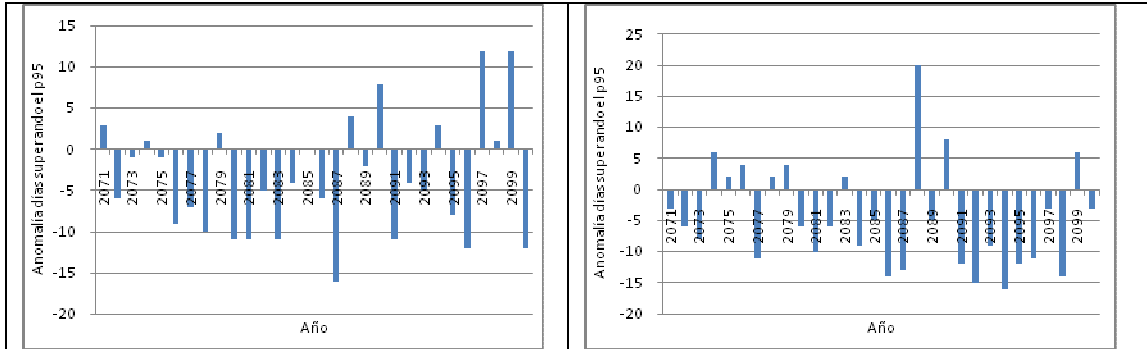
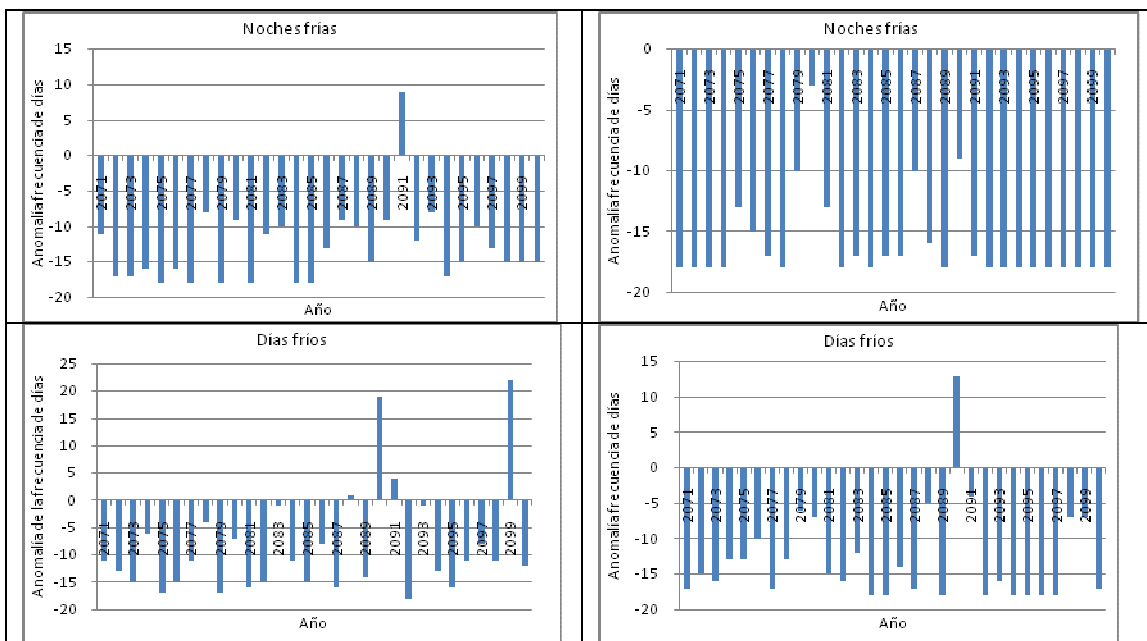


Figura 12. Variación anual de la anomalía en el número de días con precipitación mayor que el percentil 95. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2.

5) Análisis de extremos de temperatura

Disminución del número de noches y días fríos y aumento del número de noches y días cálidos respecto del período de referencia, pero menos pronunciado que en escenario A2.



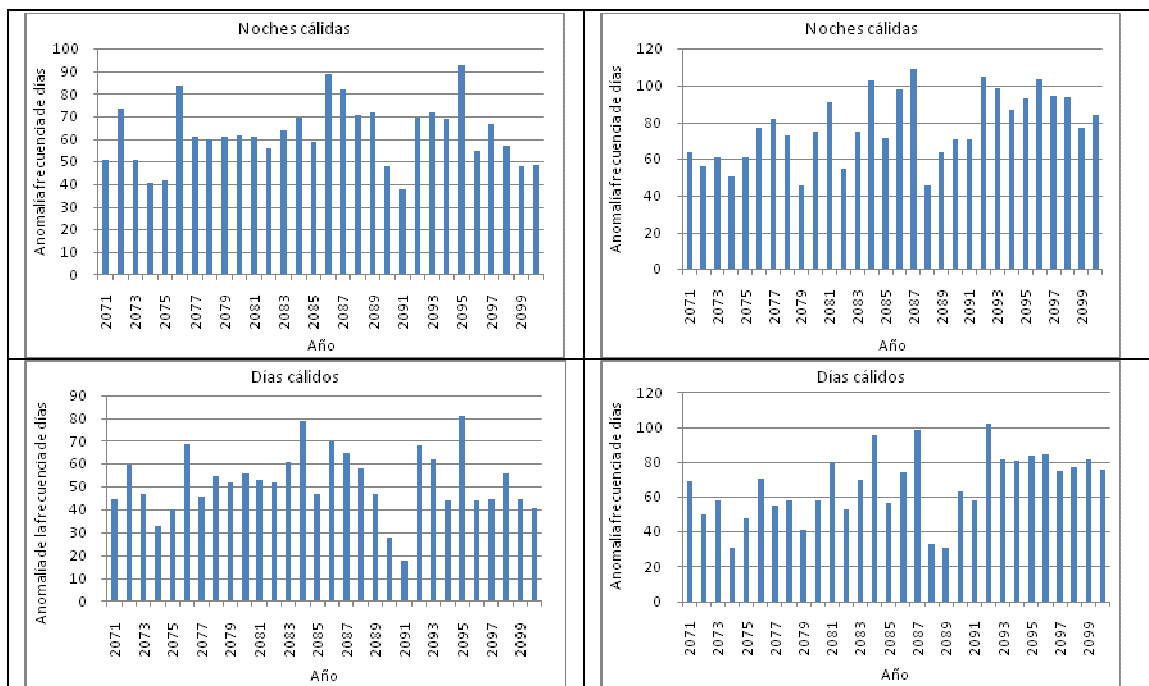


Figura 13. Variación anual de la anomalía de los días y noches cálidas y frías respecto al período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2.

6) Evaporación

A escala anual se observa una disminución generalizada de la evaporación respecto a la media del período de referencia en todos los modelos (0.26 mm menos en promedio para el escenario A2 y 0.10 mm para el escenario B2).

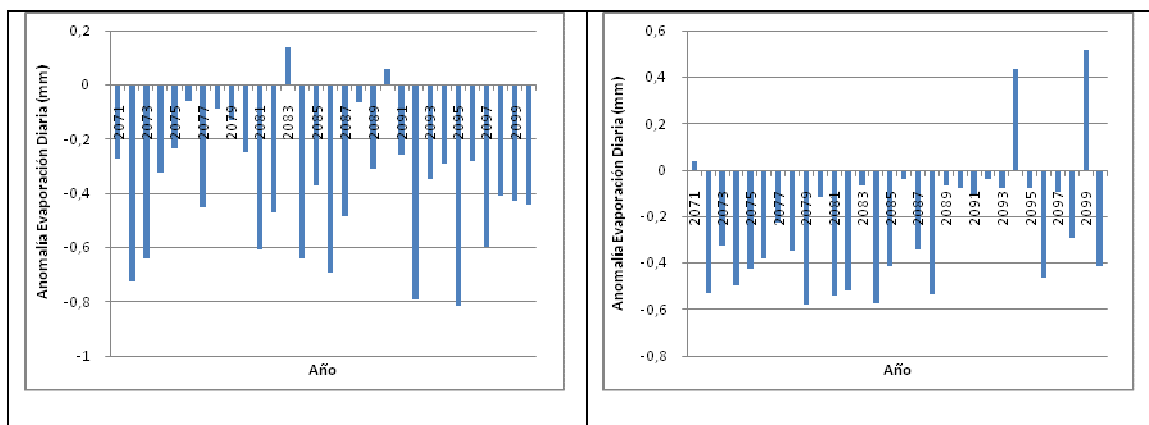


Figura 14. Variación anual de la evaporación diaria total predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

Estacionalmente, en otoño predominan las anomalías negativas (siendo estas menores que a escala anual), mientras que en invierno aparecen bastantes años con anomalías positivas (mayor evaporación que en el periodo de referencia). Sin embargo, en verano y primavera la disminución de la evaporación es mayor que a escala anual.

7) Viento a 10 m

A escala anual todos los modelos prevén una ligerísima disminución de la velocidad del viento para el escenario A2, mientras que para escenario B2 las anomalías negativas y positivas se alternan casi por igual en todo el período.

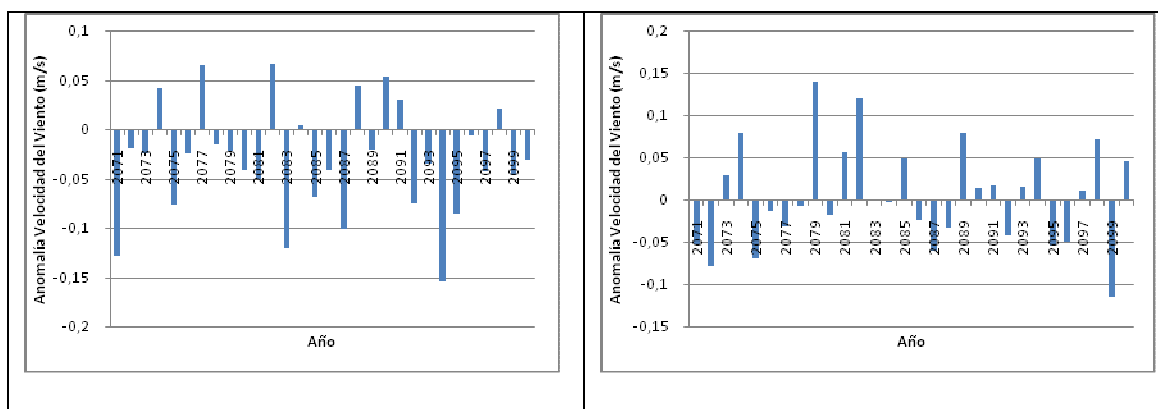


Figura 15. Variación anual de la velocidad diaria media del viento predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

En cuanto a la escala estacional, destacar que se produce una disminución de la velocidad del viento bastante notable en otoño. En invierno, se alternan periodos de anomalías positivas y negativas que son mucho más extremas que a escala anual, mientras que en verano se observa un predominio de anomalías positivas (aumento de la velocidad del viento) también mayores que las observadas a escala anual.

8) Radiación de onda corta incidente

A escala anual todos los modelos predicen un aumento de la radiación solar incidente sobre la superficie en casi todos los años del período 2071-2100 (en promedio, de hasta 18 W/m^2 diarios en el escenario A2 y 15 W/m^2 en el escenario B2). Señalar que, en cuanto a la magnitud de la radiación, el modelo RegCM del ICTP prevé un aumento considerablemente menor que

los demás modelos, mientras que el modelo PROMES de la UCM un aumento mayor que los demás (lo que está de acuerdo con las discrepancias vistas para en las anomalías de la temperatura). Estacionalmente, en primavera el aumento es bastante mayor que en las demás estaciones.

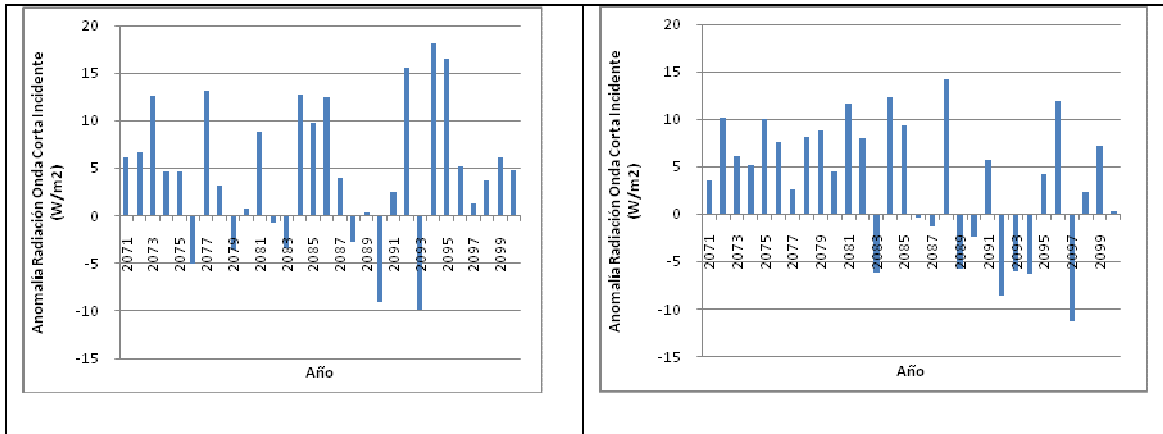


Figura 16. Variación anual de la radiación de onda corta media diaria predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

Conclusión

Hemos realizado una estimación de la magnitud del cambio climático para la región de Córdoba (Andalucía), analizando las simulaciones de ocho modelos climáticos regionales para el escenario A2 (aumento de emisiones pronunciado a lo largo del siglo XXI) y cuatro para el B2 (más conservador).

Los resultados obtenidos comparando la simulación para el periodo 2071-2010 con la simulación para el periodo de referencia 1961-1990, se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Aumento de la temperatura media diaria, siendo este aumento mayor para el escenario A2 que en el escenario B2. Altas discrepancias a la hora de estimar la magnitud de este aumento. Algunos modelos estiman un aumento de entre 2.5 y 4.5 °C para el escenario A2 y de entre 1.5 y 2.5 °C para el B2, mientras que otros prevén un aumento de entre 3 y 7 °C para el A2 y entre 1.5 y 5 °C para el B2.
- Disminución generalizada de la precipitación anual de hasta 220 mm para el escenario A2 y 180 mm para el escenario B2. No obstante se observan años con precipitación anual hasta 160 mm por encima de la del período de referencia para el escenario A2 y de hasta 115 mm para el B2. Disminución también de la precipitación a escala estacional, excepto en invierno.
- Disminución generalizada de la frecuencia de días de lluvia.
- Aumento del número de días y noches cálidas (aproximadamente 70 más por año para el escenario A2 y 60 más para el B2) y disminución del número de días y noches frías.
- Disminución de la evaporación diaria total. Estacionalmente la disminución es más destacable en verano y primavera.
- Disminución de la velocidad del viento a 10 m en el escenario A2. Según el escenario B2, apenas habrá variación de esta variable, alternándose casi por igual años con anomalías positivas y anomalías negativas.
- Aumento de la radiación de onda corta incidente sobre la superficie. En primavera el aumento es especialmente mayor. Discrepancias a la hora de estimar la magnitud de este aumento.

Señalamos además que la diferencia entre simulaciones con distintos modelos no es grande, excepto para la temperatura y la radiación solar incidente (variables relacionadas entre sí). Sí

es más destacable, sin embargo, la diferencia entre simulaciones considerando distintos escenarios de emisiones, obteniéndose resultados bastante más extremos para el escenario A2 que para el B2.

Anexos

ANEXO I: Anomalia de la temperatura media diaria para todos los modelos y escenarios analizados.

Escenario A2

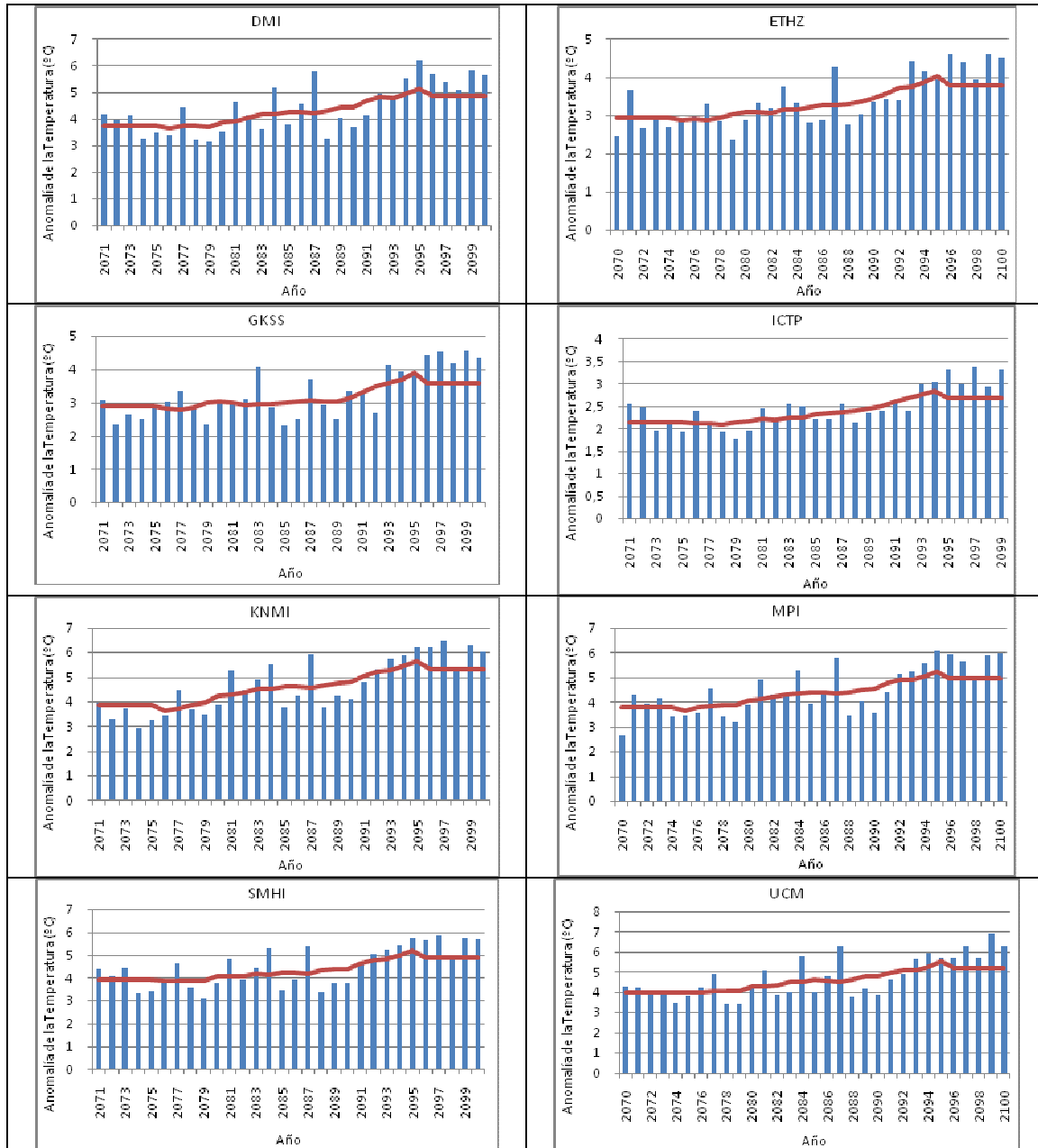


Figura 17. Variación anual de la temperatura media diaria para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Escenario B2

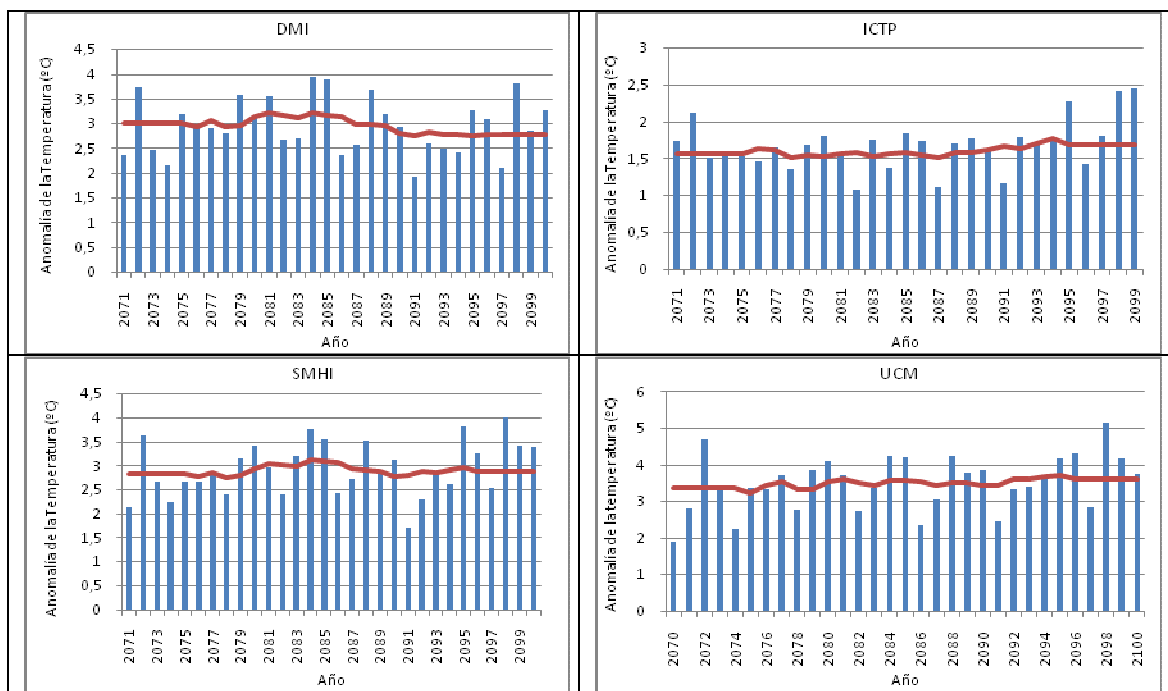


Figura 18. Variación anual de la temperatura media diaria para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones B2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

ANEXO II: Anomalía de la precipitación acumulada anualmente para todos los modelos y escenarios analizados.

Escenario A2

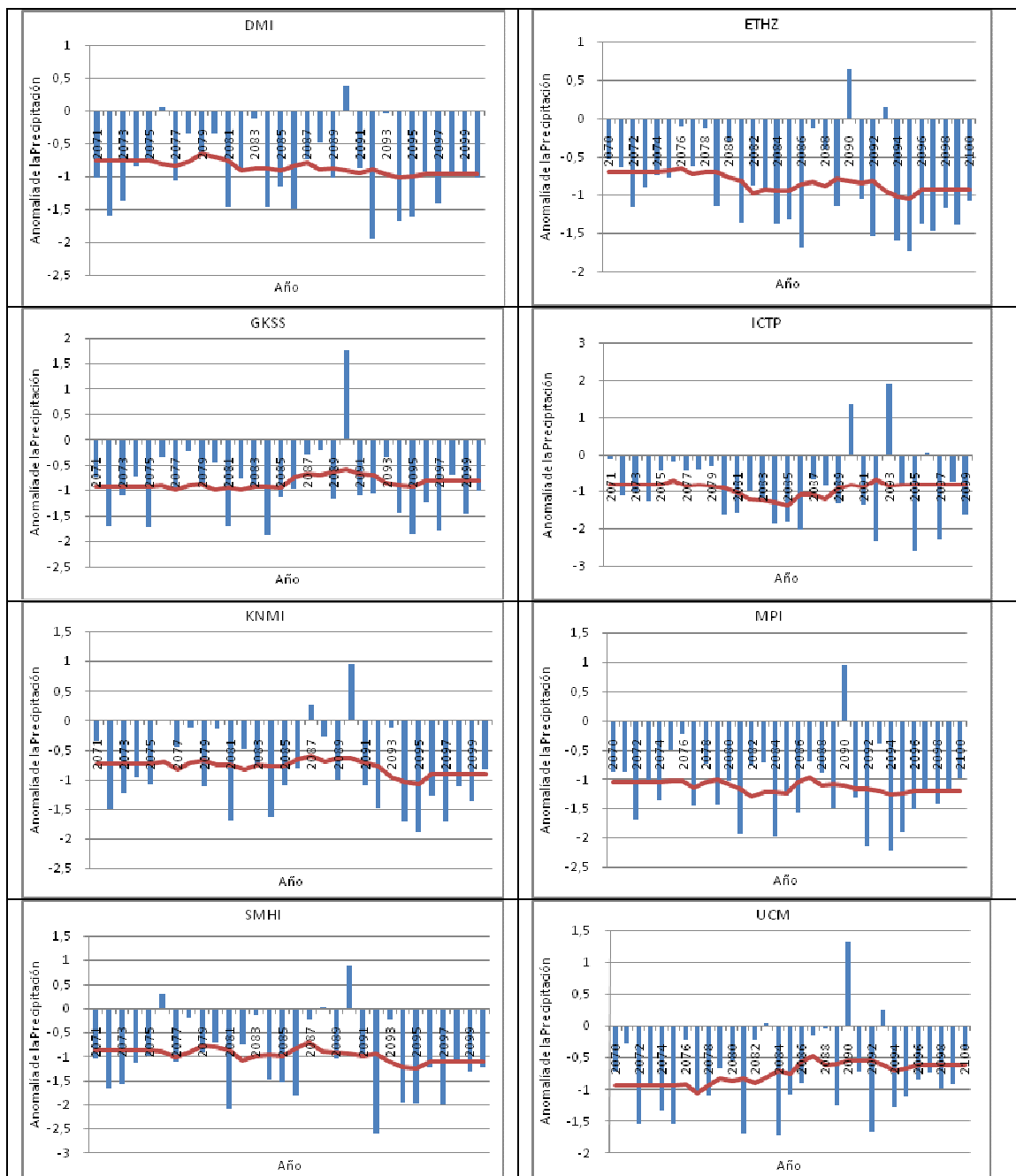


Figura 19. Variación anual de la precipitación anual acumulada para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Escenario B2

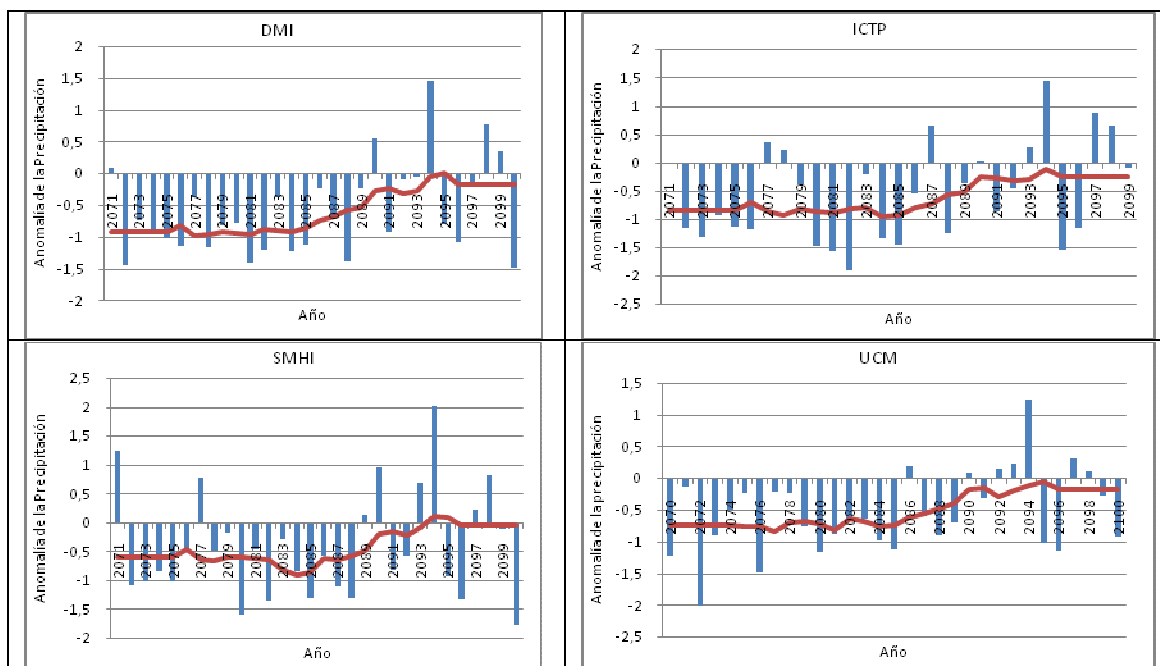


Figura 20. Variación anual de la precipitación anual acumulada para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones B2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.