

Informe sobre impactos en la zona SUDOE

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

Elaboración:

Consellería de Medio Ambiente Territorio e Infraestruturas. MeteoGalicia.

Índice

Introducción	1
Resumen de los resultados obtenidos	4
Conclusiones	9
ANEXOS	11
ANEXO I	12
Informe sobre impactos en la Reserva de Urdaibai – País Vasco	
ANEXO II	34
Informe sobre impactos en el Valle del Alagón - Extremadura	
ANEXO III	56
Informe sobre impactos en La Lizonne - Francia	
ANEXO IV	79
Informe sobre impactos en L´Adour - Francia	
ANEXO V	
Informe sobre impactos en las marismas de Santoña, Victoria y Joyel - Cantabria	101

ANEXO VI	123
Informe sobre impactos en el Val do Ave - Portugal	
ANEXO VII	145
Informe sobre impactos en Córdoba - Andalucía	
ANEXO VIII	167
Informe sobre impactos en Carnota - Galicia	
Bibliografía	189

Introducción

El objetivo de este informe es obtener una estimación de la magnitud del cambio climático en la zona SUDOE. Para esto se ha realizado un análisis de la variabilidad y del cambio en la temperatura, precipitación, radiación solar incidente, evaporación y velocidad del viento que se espera, de acuerdo con escenarios de cambio climático futuros, en una serie de regiones situadas en España, Francia y Portugal. Estas regiones son:

- Carnota (Galicia, España)
- Córdoba (Andalucía, España)
- L'Adour (Francia)
- La Lizonne (Francia)
- Marismas de Santoña, Victoria y Joyel (Cantabria, España)
- Val do Ave (Portugal)
- Valle del Alagón (Cáceres, España)
- Urdaibai (País Vasco, España)

Para llevar a cabo 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 (Reichler and Kim, 2008). 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 [Tabla 1] 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.

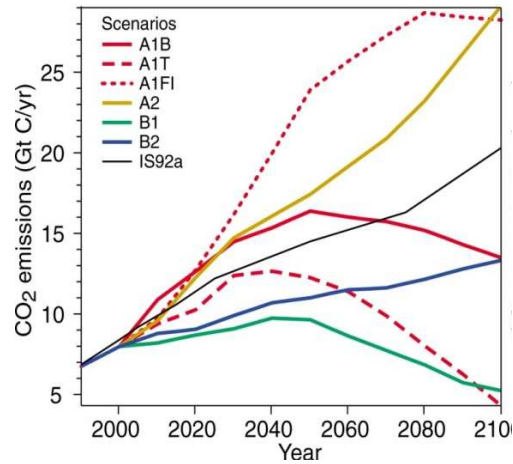


Figura 1. Estimación de las emisiones de CO₂ en el siglo XXI según el escenario considerado. Nótese que tanto para el escenario A2 como para el B2 se prevé un aumento de emisiones, siendo este aumento mayor para el A2 que para el B2.

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.

Resumen de los resultados obtenidos

Presentamos aquí un breve resumen de los resultados obtenidos en las ocho regiones analizadas, como promedio de todos los modelos climáticos analizados y para ambos escenarios (A2 y B2). Para más detalle sobre el procedimiento para obtener estos resultados o sobre los resultados para alguna zona en particular consúltense los anexos para las distintas regiones.

Todas las variables (temperatura, precipitación...) aparecen tratadas como anomalías (diferencia) respecto de su valor medio en la simulación de control (periodo 1961-1990).

Temperatura diaria media

El incremento de la temperatura media diaria en el período 2071-2100 respecto a la temperatura en período 1960-1990 es mayor en el sur de Francia (entre 1 y 6 °C en el escenario A2 y entre 1 y 4 °C en el B2) y en el sur de España (entre 3 y 7 °C en el escenario A2 y entre 1.5 y 5 °C en el B2) que en la zona norte de España y en el centro de Portugal (entre 1 y 4 °C en el escenario A2 y entre 0.5 y 4 °C en el B2).

Analizando el incremento de la temperatura por estaciones, observamos que el aumento era mayor en verano (seguido del otoño).

En general todos los modelos climáticos analizados muestran bastante acuerdo a la hora de estimar el cambio de esta variable, excepto en Córdoba, región para la que hay algunos modelos que dan valores considerablemente inferiores a los demás (mostrados entre paréntesis en la tabla 1).

Región	Incremento Temperatura Escenario A2 (°C)	Incremento Temperatura Escenario B2 (°C)
La Lizonne	1 - 6	1 - 4
L'Adour	2 - 6	1 - 4
País Vasco	1.25 - 4	1 - 3
Cantabria	1 - 4	0.5 - 2.5
Galicia	1.5 - 4	0.5 - 3.5
Portugal	1.5 - 5	1.25 - 4
Cáceres	3 - 6	1.5 - 5
Córdoba	3 - 7 (2.5 - 4.5)	1.5 - 5 (1.5 - 2.5)

Tabla 1. Intervalos de incremento de la temperatura media diaria en el período 2071-2100 respecto a la del período de referencia.

Extremos de temperatura

Analizando los extremos de temperatura (temperaturas máximas y mínimas), se observa una disminución del número de días y noches frías¹ (siendo común su ausencia) y un aumento del número de días y noches cálidas.

Generalmente, el número de noches cálidas es ligeramente mayor que el de días cálidos, siendo notable la diferencia sólo en el caso de Galicia (ver tabla 2).

El incremento de días y noches cálidas es bastante homogéneo en la zona SUDOE, siendo algo mayor en el sur de España.

¹ Llamamos días fríos a los que presentan una temperatura máxima por debajo del p5 y noches frías a los días con temperatura mínima por debajo del p5.

Región	Incremento anual de noches / días cálidos - Escenario A2	Incremento anual de noches / días cálidos - Escenario B2
La Lizonne	60	50
L'Adour	60	45
País Vasco	60	35
Cantabria	50	40
Galicia	Noches: 60 Días: 45	Noches: 45 Días: 30
Portugal	60	45
Cáceres	68	55
Córdoba	70	60

Tabla 2. Incremento anual medio del número de noches y días cálidos en el período 2071-2100 respecto al del período de referencia.

Precipitación acumulada

Se prevé una disminución de la precipitación anual acumulada en toda la zona SUDOE. La disminución es menor en la zona de La Lizonne y mayor en Córdoba.

Estacionalmente, la disminución es mayor en verano en toda la zona SUDOE excepto en el sur de España (Cáceres y Córdoba), donde la reducción es mayor en primavera. Es en invierno cuando aparecen más y mayores anomalías positivas.

En cuanto a los extremos de precipitación, se observa un aumento de los mismos en invierno y una reducción en el resto de las estaciones.

Evaporación diaria

A pesar de que casi todos los modelos predicen una disminución de la evaporación en las ocho regiones, se observan discrepancias considerables a la hora de estimar la magnitud de dicha disminución.

Por estaciones, la disminución es mayor en verano (menos en Galicia, que es en otoño) y menor en primavera e invierno, observándose en algunas regiones un aumento de la evaporación en estas estaciones (en primavera para L'Adour y en invierno para Córdoba).

Viento a 10 m

A escala anual, se predice una reducción de la velocidad del viento en el sur de España, País Vasco y Cantabria, mientras que en Galicia y en la zona más occidental de Francia se observa un aumento de esta variable (ver tabla 3).

Estacionalmente, en otoño se observan las anomalías más negativas (más reducción de la velocidad del viento) y en verano las anomalías más positivas (aumento de la velocidad del viento). En invierno se observa que se alternan períodos de años con anomalías positivas y negativas, siendo estas anomalías más extremas que en las demás estaciones y que a escala anual.

Región	Velocidad del viento Escenario A2	Velocidad del viento Escenario B2
La Lizonne	Aumento	Disminución
L'Adour	Aumento	Aumento
País Vasco	Disminución	Disminución
Cantabria	Disminución	Disminución
Galicia	Aumento	Aumento
Portugal	Disminución	Ni aumento ni disminución
Cáceres	Disminución	Disminución
Córdoba	Disminución	Ni aumento ni disminución

Tabla 3. Variación de la velocidad del viento en el período 2071-2100 respecto al del período de referencia.

Radiación solar incidente

Se observa un aumento de la radiación solar incidente en todas las regiones (mayor en la parte norte de la zona SUDOE que en la sur). Estacionalmente, el aumento es mayor en primavera y verano, observándose sólo en invierno un predominio de anomalías negativas (reducción de la radiación).

Conclusiones

Hemos realizado un estudio de la magnitud del cambio climático previsto para ocho regiones distribuidas en la zona SUDOE analizando los resultados de 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 para las ocho regiones seleccionadas, se pueden resumir en los siguientes puntos:

- El calentamiento es más acusado y, en general, las anomalías para todas las variables son más extremas en el escenario con emisiones más altas (A2).
- Incremento de la temperatura media diaria en toda la zona SUDOE. El incremento es mayor en el sur de Francia (entre 1 y 6 °C en el escenario A2 y entre 1 y 4 °C en el B2) y en el sur de España (entre 3 y 7 °C en el escenario A2 y entre 1.5 y 5 °C en el B2). En la zona norte de España y en el centro de Portugal se prevé un aumento de entre 1 y 4 °C en el escenario A2 y entre 0.5 y 4 °C en el B2.
- Disminución del número de noches y días fríos y aumento del número de noches y días cálidos. El incremento de noches y días cálidos es bastante homogéneo en la zona SUDOE (alrededor de 60 días más por año en el escenario A2 y 45 en el B2), siendo algo mayor en el sur de España.
- Disminución de la precipitación anual acumulada. En el sur de España la disminución es mayor en primavera.
- Aumento de fenómenos de precipitación extrema en invierno.

- Disminución de la evaporación (discrepancias a la hora de estimar la magnitud de esta disminución).
- Aumento de la radiación solar incidente. Estacionalmente, sólo se observa una disminución de esta variable en invierno.

Queremos señalar que la diferencia entre simulaciones con distintos modelos no es grande, excepto para la evaporación diaria media. Sí es 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

Informe sobre impactos en la reserva de Urdaibai – País Vasco

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 (reserva de Urdaibai, en el País Vasco).

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.

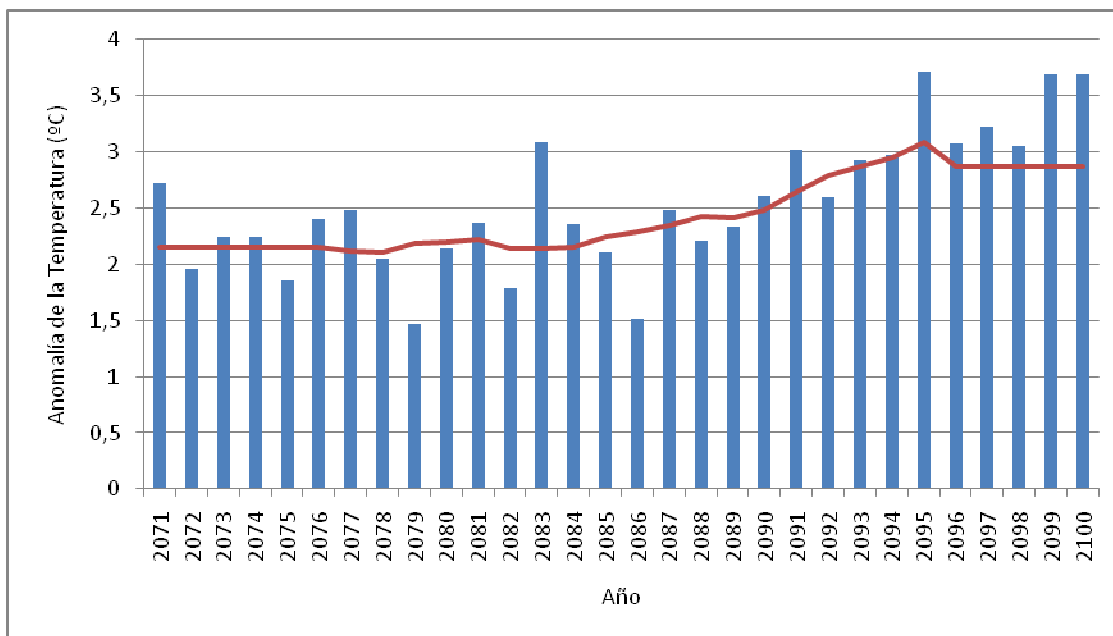


Figura 2. Variación anual de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del periodo 1961-1990. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

En esta gráfica, así como en las obtenidas con los otros siete modelos, observamos una anomalía positiva de la temperatura para todos los años respecto del periodo de referencia. El aumento de la temperatura media anual oscila entre 1.25 y 4 °C en todos los modelos, excepto en el modelo del RegCM del ICTP, que prevé un aumento de la temperatura de entre 2 y 6 °C.

Es de resaltar también que todas las gráficas presentan una pendiente positiva, indicando un aumento de temperatura del orden de 0.47 °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 verano (entre 1 y 5 °C) y otoño (entre 1.5 y 4.5 °C). Las pendientes son mayores en primavera y verano y significativas en todas las estaciones y para todos los modelos.

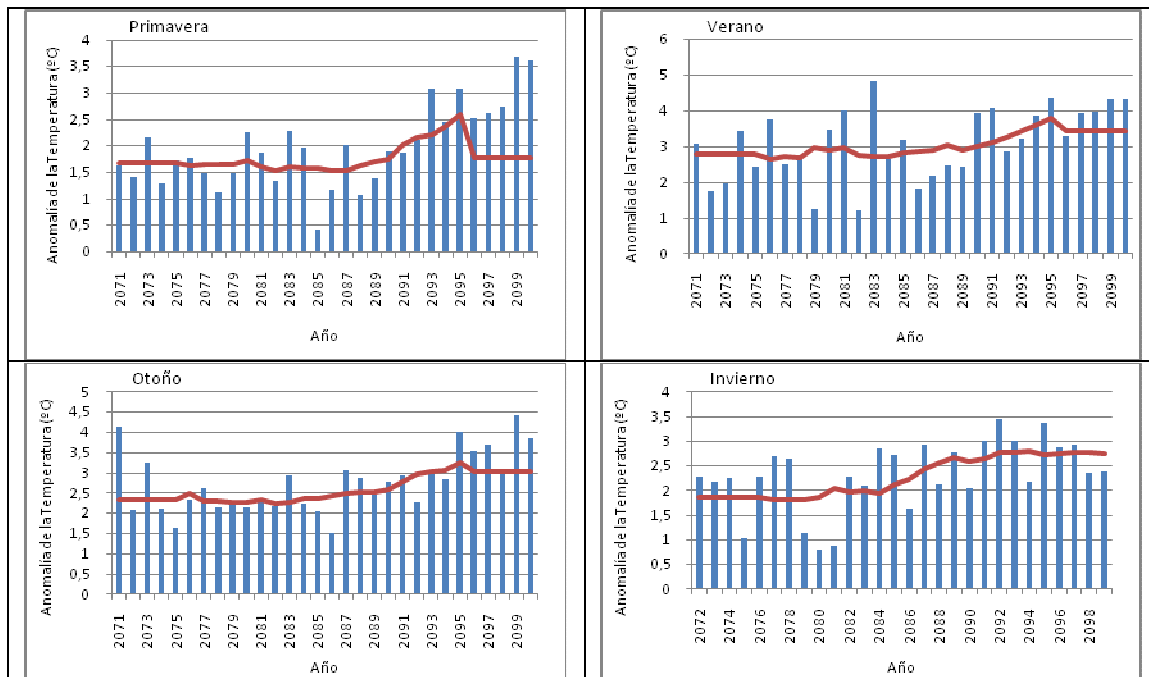


Figura 3. Variación estacional de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del periodo 1961-1990. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

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 y presentan una pendiente decreciente en el periodo del escenario. 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.

Para esta variable no se observan tendencias significativas a escala anual con ninguno de los modelos analizados. En la figura 4 se observan los resultados obtenidos con el modelo RACMO2:

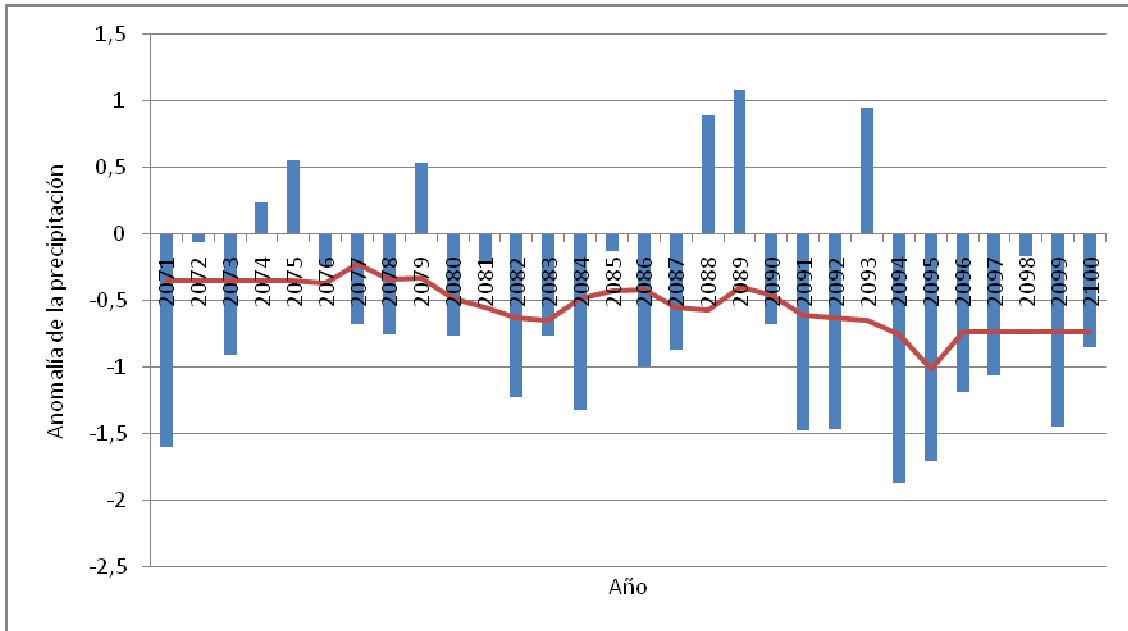
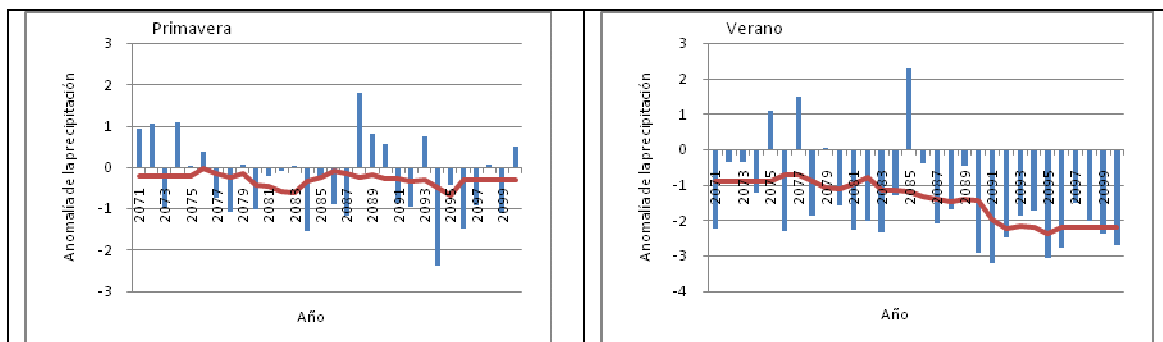


Figura 4. Variación anual de la anomalía de la precipitación total respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Estacionalmente observamos un comportamiento muy parecido al de la escala anual (figura 4), excepto en invierno, estación para la que casi todos los modelos predicen un aumento de precipitaciones respecto al periodo de referencia, y en verano, que la anomalía es en general más negativa (mayor reducción de la precipitación).

Las pendientes, al igual que a escala anual y salvo casos aislados, son negativas en todas las estaciones para todos los modelos. No obstante, sólo aparecen tendencias significativas para el verano y sólo en dos modelos (RACMO2 del KNMI y REMO del MPI).



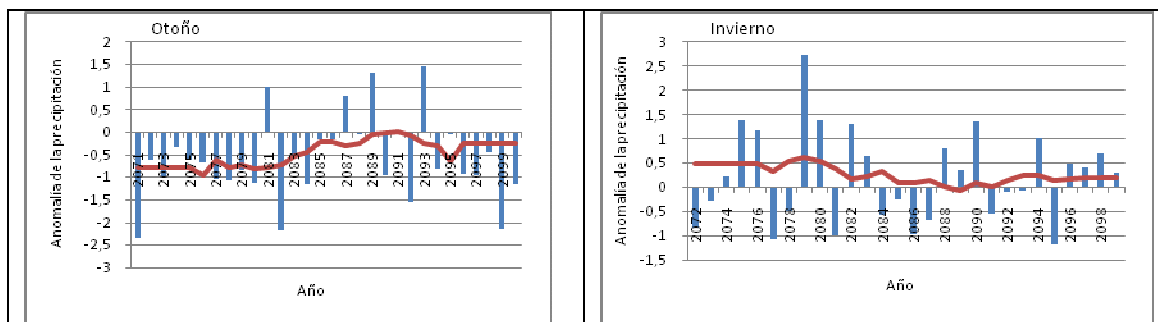


Figura 5. Variación estacional de la anomalía de la precipitación total respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

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, apareciendo más anomalías positivas para los umbrales de precipitación diaria más extrema (figura 6). Según el test Tau-b las tendencias no son significativas para ningún modelo.

Estacionalmente, los resultados son muy similares a los obtenidos a escala anual, siendo la disminución mayor en verano y otoño (figura 7). Sólo aparecen tendencias significativas para el verano y sólo en invierno se observan en casi todos modelos un aumento generalizado de la frecuencia de días de lluvia con respecto al periodo de referencia, más reseñable para los umbrales bajos.

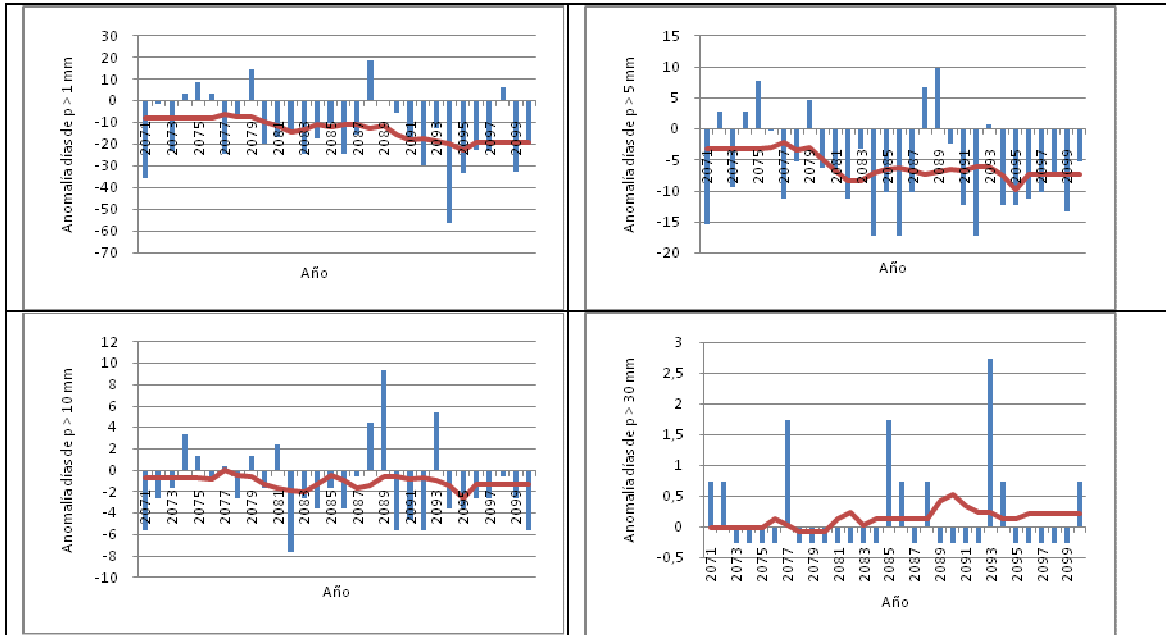


Figura 6. Variación interanual de la anomalía de los días con precipitación mayor que 1, 5, 10 y 30 mm respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

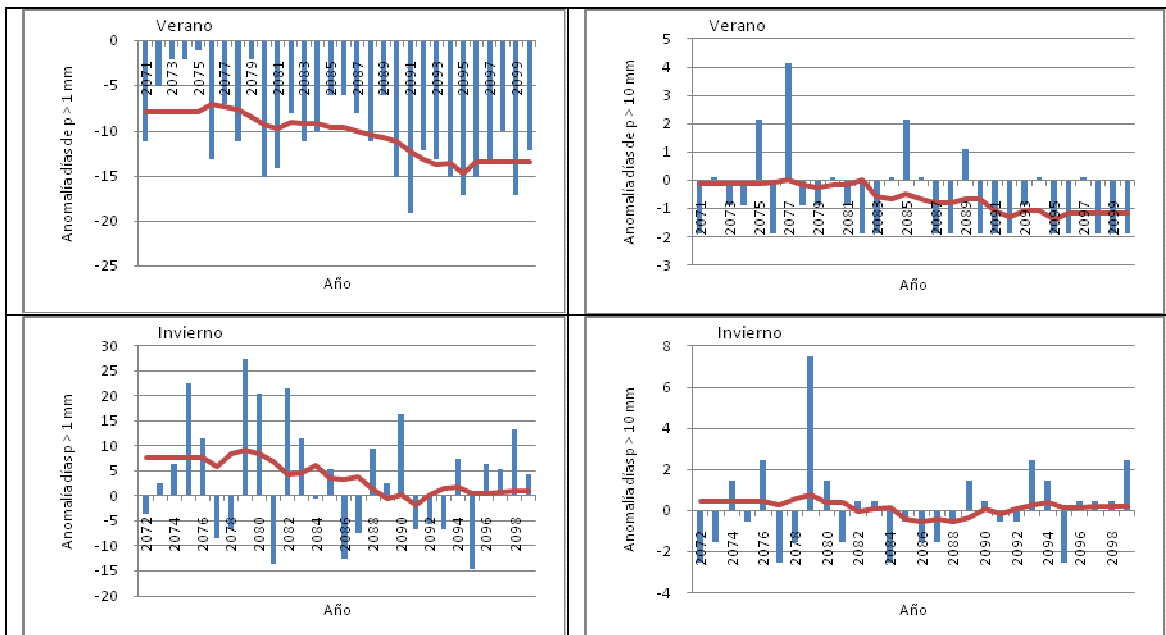


Figura 7. Variación estacional (verano e invierno) de la anomalía de los días con precipitación mayor que 1 y 10 mm respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

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 claro 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 observan una disminución del número de días superando el p90 y una situación intermedia para el p95 (figura 8).

Es con el modelo RACMO2 del KNMI con el que aparecen más tendencias significativas para esta variable, especialmente en verano y a escala anual.

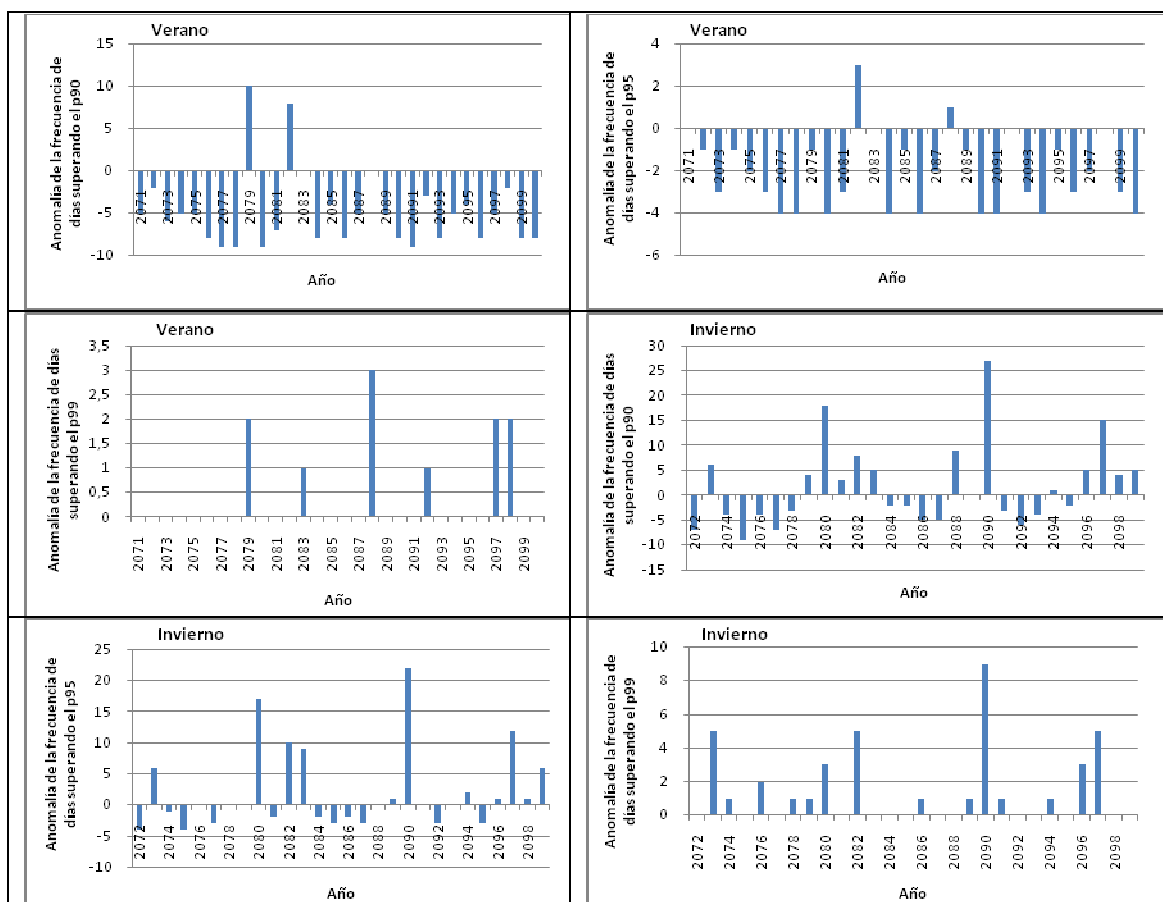


Figura 8. Variación estacional (verano e invierno) de la anomalía de los días con precipitación mayor que los percentiles p90, p95 y p99.

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 9). Nótese que el aumento de días y noches cálidas llega a superar los 80 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, con lo cual sólo mostramos los gráficos a escala anual.

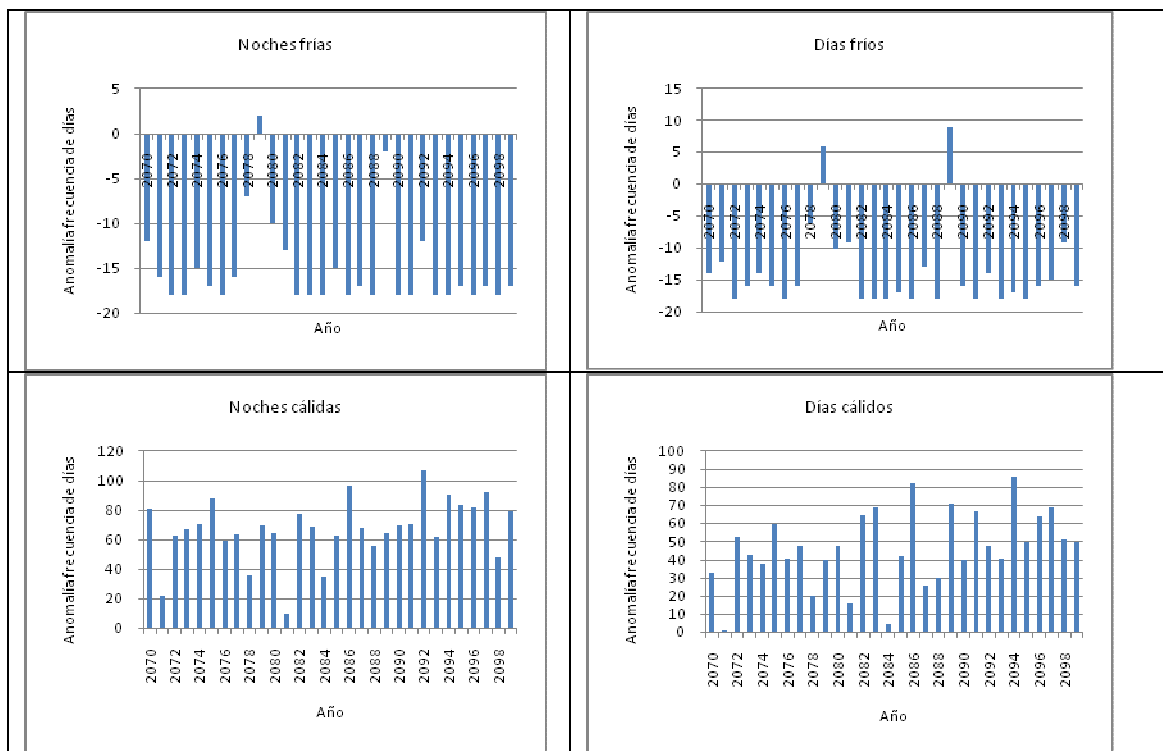


Figura 9. Variación interanual de la anomalía de los días y noches cálidas y frías respecto al periodo de referencia.

Sobre la significación de los resultados obtenidos en el análisis de temperaturas extremas, es de destacar que hay cuatro modelos (CHMR de ETH, RACMO2 del KNMI, RegCM del ICTP y

REMO del MPI) cuyas tendencias son significativas para las cuatro variables analizadas a escala anual. Para los demás modelos se obtienen tendencias significativas para algunas de estas variables.

Estacionalmente, la significación es más variable y no sigue ningún patrón aparente. Casi todos los modelos arrojan un valor significativo para una o dos de estas variables a esta escala.

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 un aumento de la temperatura de entre 0.5 y 2.5 °C, excepto el modelo RegCM de ICTP, que prevé un aumento mayor (entre 1.5 y 3.5 °C; nótese que con este modelo también observábamos en el escenario A2 un aumento mayor de la temperatura que con los demás).

Estacionalmente, también se prevén aumentos de temperatura menores que en el escenario A2 en todas las estaciones, llegándose a observar algún año con anomalías negativas en primavera e invierno (disminuciones de hasta 0.5 °C respecto a la temperatura diaria media del periodo de referencia). Al igual que ocurría en el escenario A2, es en estas estaciones en las que el aumento de temperatura es menor.

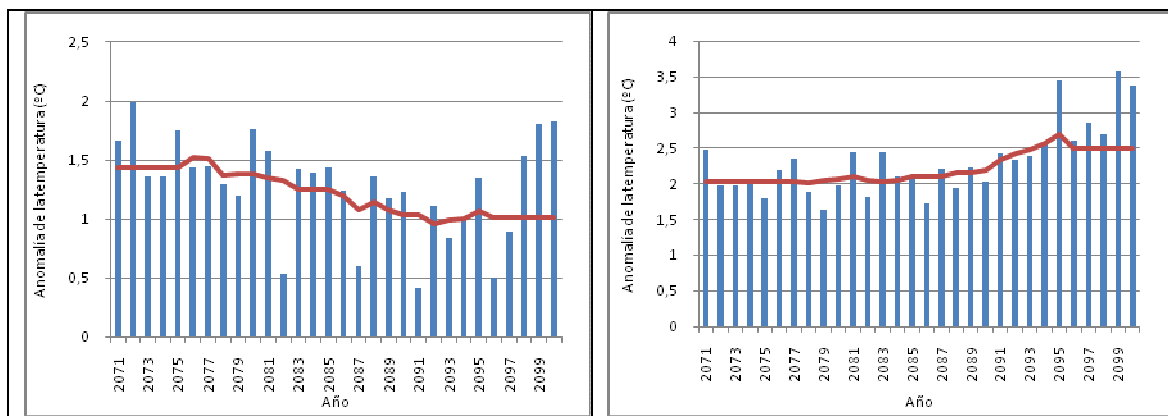


Figura 10. Variación anual de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

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. Estacionalmente el comportamiento es análogo al del escenario A2 aunque más conservador: disminución de la precipitación (más marcado en verano y otoño), excepto en invierno, que aumenta.

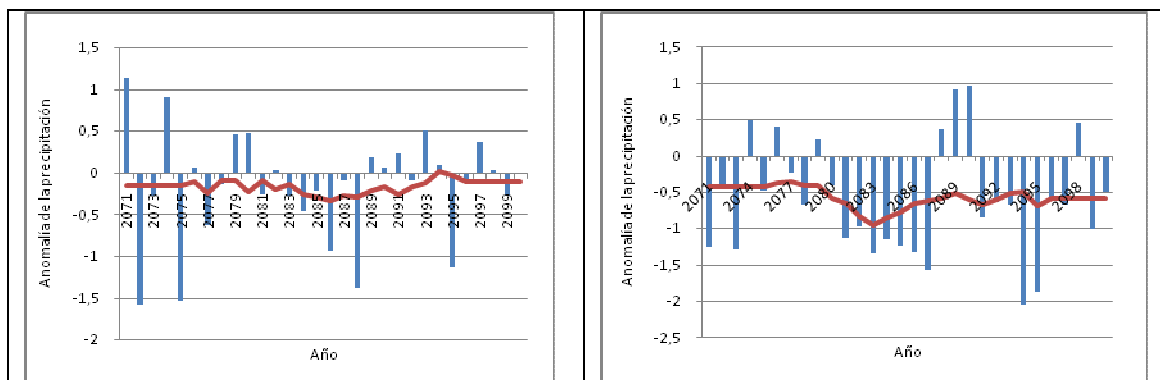


Figura 11. Variación anual de la precipitación total respecto al período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

3) Análisis de la frecuencia de días de lluvia

Observamos una reducción de la frecuencia de días de lluvia, siendo ésta, no obstante, menor que en el escenario A2. Para fenómenos de lluvia muy intensa (mayor que 30 mm por día) se

observa un aumento respecto del período de referencia muy similar al del escenario A2. Estacionalmente, también se observa una fuerte disminución de días de lluvia en verano y un aumento en invierno.

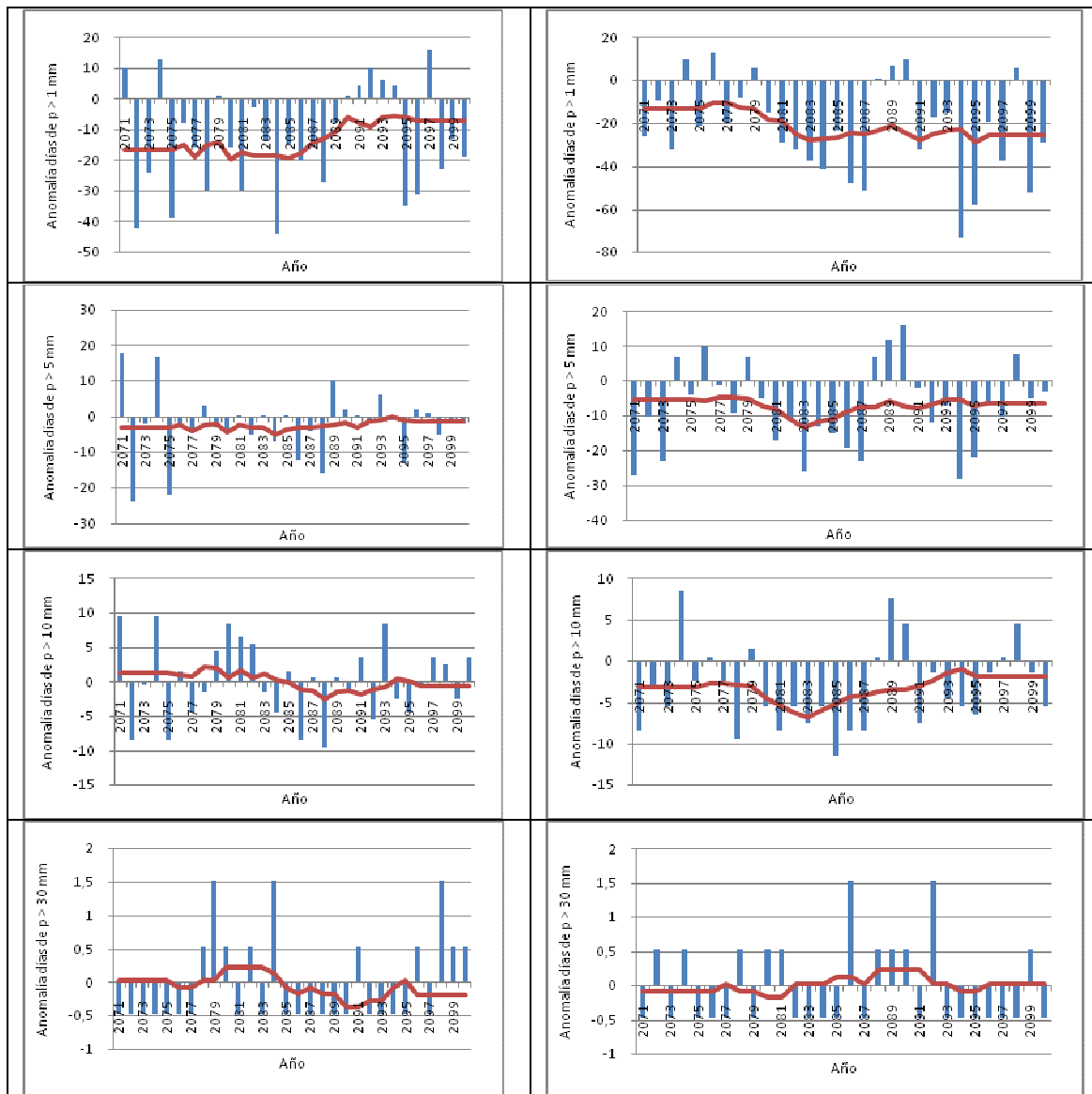


Figura 12. Variación anual de la anomalía en el número de días con precipitación mayor que 1, 5, 10 y 30 mm. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

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 observan más años con más días con anomalías positivas que en escenario A2, aunque las anomalías son menos extremas en el escenario B2.

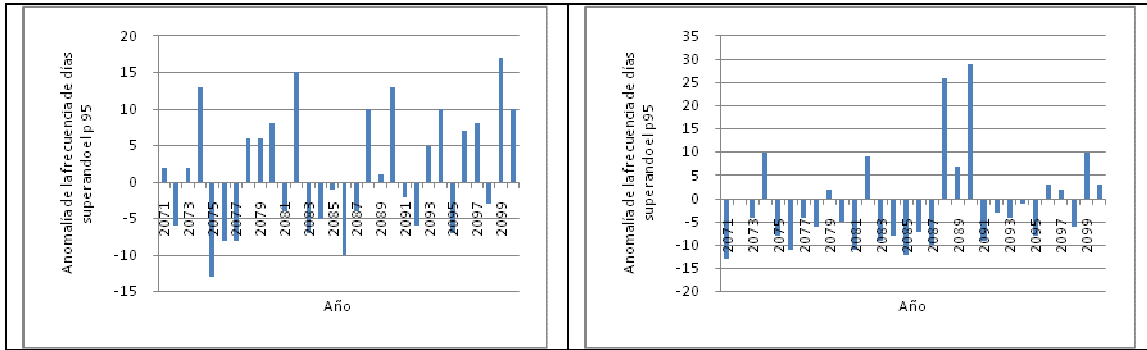
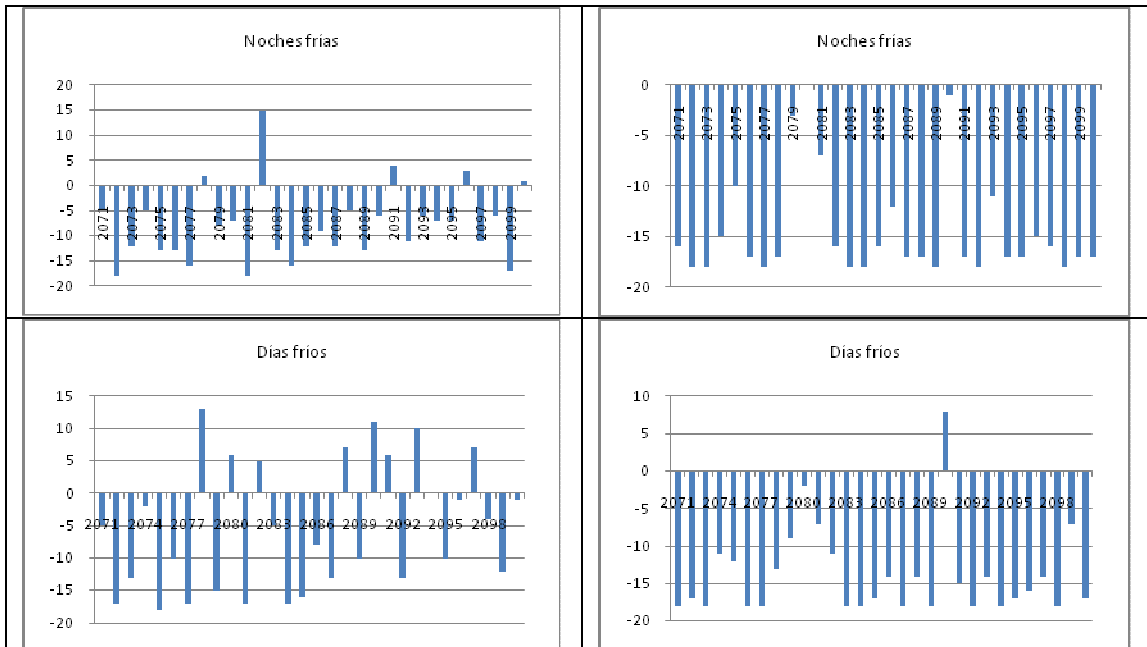


Figura 13. Variación anual de la anomalía en el número de días con precipitación mayor que el percentil 95. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2.

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 no tanto como en escenario A2, apareciendo más años con anomalía positiva (días y noches más fríos).



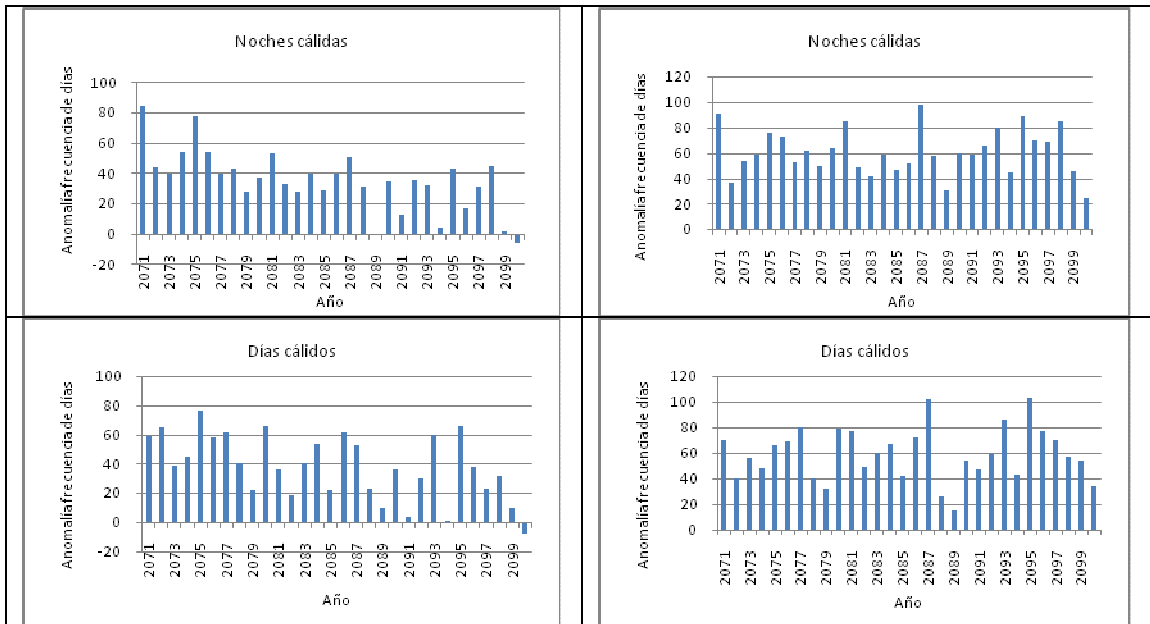


Figura 14. Variación anual de la anomalía de los días y noches cálidas y frías respecto al período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2.

6) Análisis de la evaporación.

A escala anual se observa una disminución generalizada de la evaporación en casi todos los años respecto a la media del período de referencia (de hasta 0.8 mm por día en el escenario A2 y 0.6 mm en el B2).

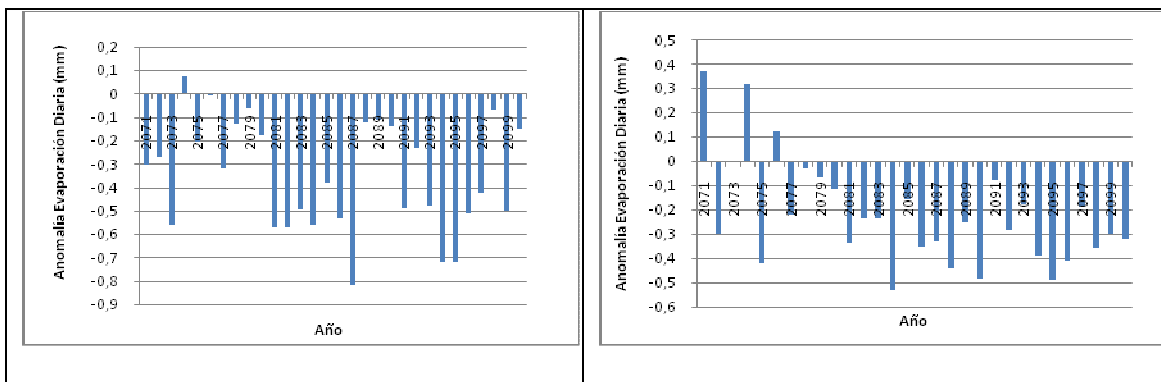


Figura 15. Variación anual de la evaporación diaria total predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

Estacionalmente, en otoño y verano el comportamiento es muy semejante al de la escala anual, observándose una fuerte disminución de la evaporación. En primavera la disminución es menor, apareciendo tantos años con anomalías positivas (mayor evaporación que en el

periodo de referencia) como negativas. En invierno se da una situación intermedia: anomalías negativas menores que en otoño y verano y aparición de algunos años con anomalías positivas (aunque no tantos como en primavera).

7) Viento a 10 m

Todos los modelos muestran resultados muy semejantes para esta variable. En general, a escala anual se observa una disminución del viento a 10 m en todos los modelos (de hasta 0.6 m/s para la media diaria en el escenario A2 y de 0.4 m/s en el escenario B2).

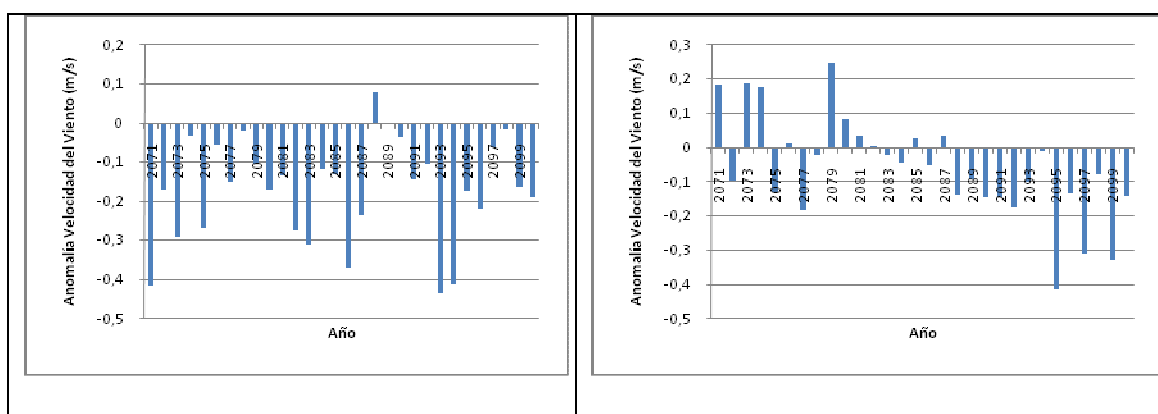


Figura 16. Variación anual de la velocidad diaria media del viento predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

En cuanto a la escala estacional, destacar que las anomalías son especialmente negativas en otoño, indicando una disminución del viento mucho más fuerte que en el resto de las estaciones. Por otro lado, en invierno se observan tantos años con anomalías positivas como negativas, siendo éstas bastante elevadas (llegando a superar en 1 m/s el valor medio diario del periodo de referencia tanto en el sentido positivo como negativo).

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 (de hasta 20 W/m² diarios en el escenario A2 y 15 W/m² en el escenario B2). Además, la pendiente es positiva en todos los modelos, es decir, la radiación solar tiende a aumentar en el periodo estudiado.

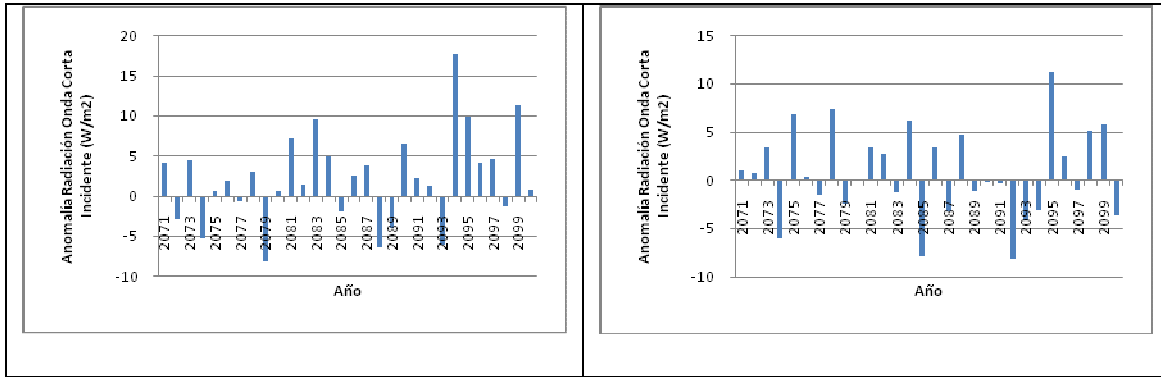


Figura 17. Variación anual de la radiación de onda corta media diaria predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

Estacionalmente, en verano el aumento es mucho mayor (hasta 40 W/m^2 para el escenario A2 y 35 W/m^2 para el escenario B2), mientras que en invierno se observa una disminución de esta radiación en la mayoría de los años (hasta 20 W/m^2 para el escenario A2 y 15 W/m^2 para el escenario B2). En otoño el comportamiento es semejante al de la escala anual, mientras que en primavera se observa un cambio intermedio entre otoño e invierno.

Conclusión

Hemos realizado una estimación de la magnitud del cambio climático en la reserva de Urdaibai (País Vasco) 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 2071-2100 con la simulación para el periodo de referencia 1961-1990, se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Aumento de la temperatura media diaria entre 1.25 y 4 °C en el escenario A2 y entre 1 y 3 °C en el escenario B2.
- Disminución de la precipitación anual de hasta 350 mm para el escenario A2 y 275 mm para el escenario B2. No obstante se observan años con precipitación anual hasta 150 mm por encima de la del período de referencia para el escenario A2 y 200 mm para el B2. Disminución también de la precipitación a escala estacional, excepto en invierno.
- Disminución de la frecuencia de días de lluvia que superan los umbrales de 1 mm, 5 mm y 10 mm. Aumento de los que superan los 30 mm (lluvia muy intensa).
- Aumento de los días de lluvia superando el percentil 99 de la precipitación diaria del periodo de referencia (días de lluvia muy intensa).
- Aumento del número de días y noches cálidas (aproximadamente 60 más por año para el escenario A2 y 35 más por año para el B2) y disminución del número de días y noches frías (aproximadamente 15 menos por año para el escenario A2 y 8 menos para el B2).
- Disminución generalizada de la evaporación diaria total, excepto en primavera.
- Disminución de la velocidad del viento a 10 m, sobre todo en otoño. En invierno se observan anomalías bastante elevadas tanto en sentido positivo como negativo.
- Aumento de la radiación de onda corta incidente sobre la superficie. En verano el aumento es especialmente mayor, mientras que en invierno se produce una disminución en la mayoría de los años del periodo estudiado.

Señalamos además que la diferencia entre simulaciones con distintos modelos no es grande, excepto para el modelo RegCM del ICTP que prevé un mayor aumento de las precipitaciones y mayores anomalías (tanto positivas como negativas) en la precipitación. Sí es 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: Anomalía de la temperatura media diaria para todos los modelos y escenarios analizados.

Escenario A2

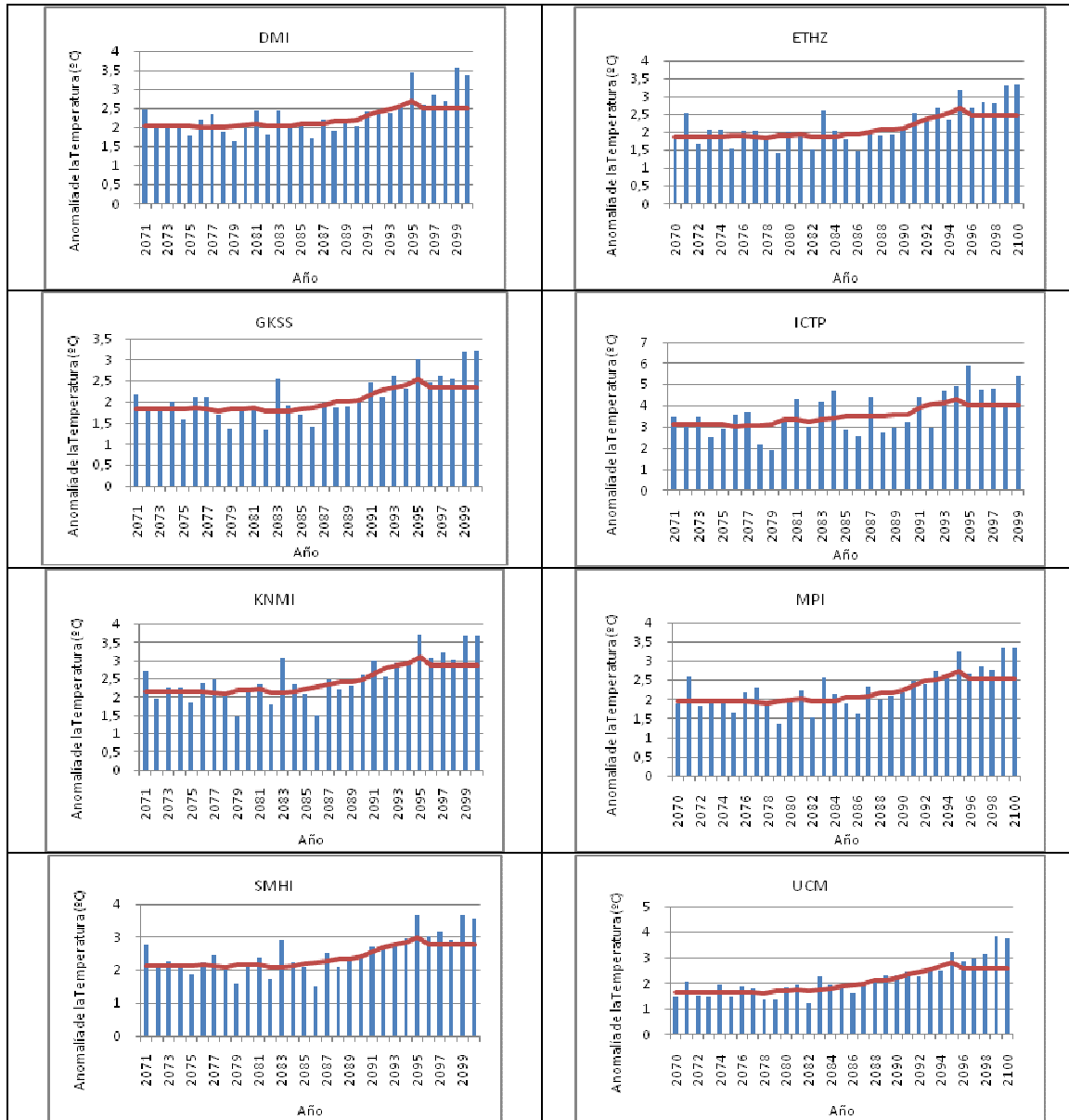


Figura 18. Variación anual de la temperatura media diaria para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Escenario B2

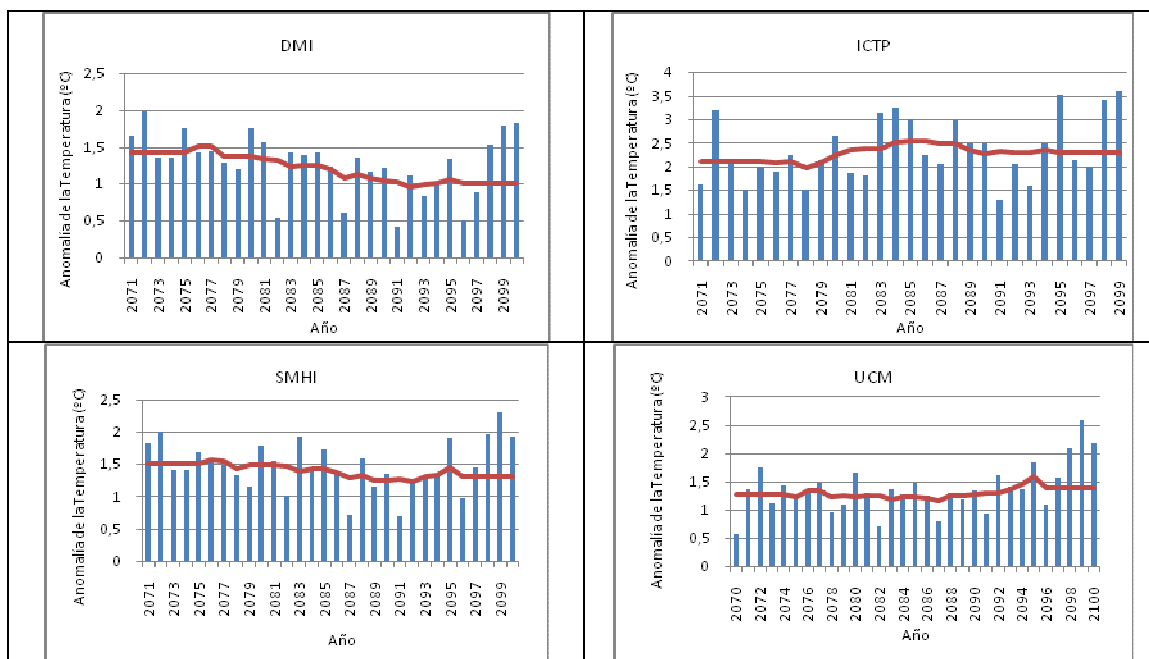


Figura 19. Variación anual de la temperatura media diaria para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones B2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

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

Escenario A2

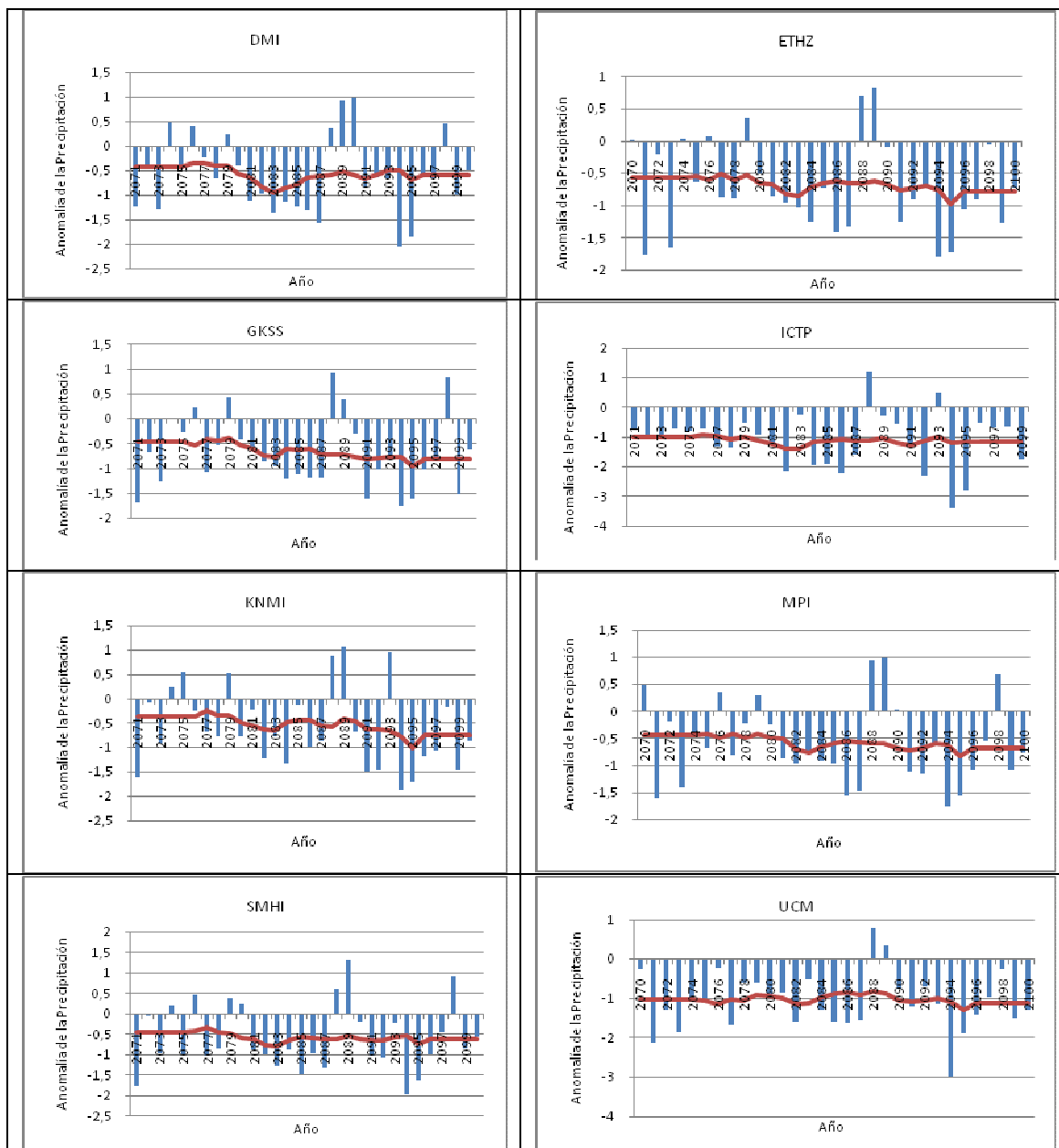


Figura 20. Variación anual de la precipitación anual acumulada para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Escenario B2

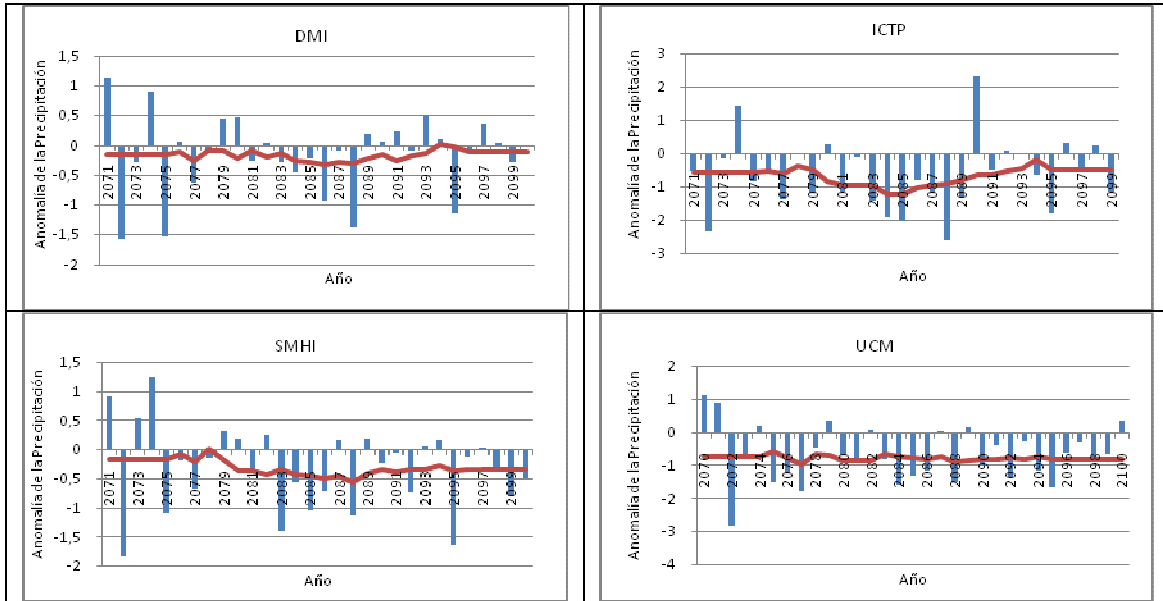


Figura 21. Variación anual de la precipitación anual acumulada para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones B2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

ANEXO II

Informe sobre impactos en el Valle del Alagón - Extremadura

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 (valle del Alagón, en Cáceres).

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.

6) 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.

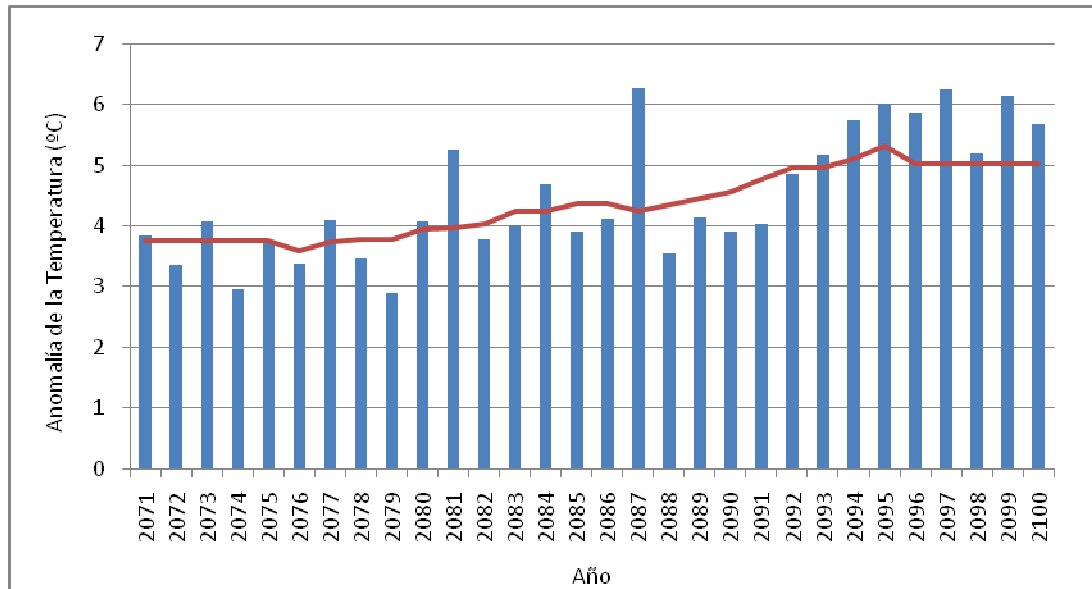


Figura 2. Variación anual de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del periodo 1961-1990. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

En esta gráfica, así como en las obtenidas con los otros siete modelos, observamos una anomalía positiva de la temperatura para todos los años respecto del periodo de referencia. El aumento de la temperatura media anual oscila entre 3 y 6 °C en la mayoría de los modelos, habiendo sólo dos (CHRM de ETHZ y CLM de GKSS) que predicen un aumento menor (entre 2 y 5 °C).

Es de resaltar también que todas las gráficas presentan una pendiente positiva, indicando un aumento de temperatura en promedio del orden de 0.69 °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 verano (entre 1 y 5 °C) y otoño (entre 1.5 y 4.5 °C). Las pendientes son mayores en primavera y verano y significativas en todas las estaciones y para todos los modelos.

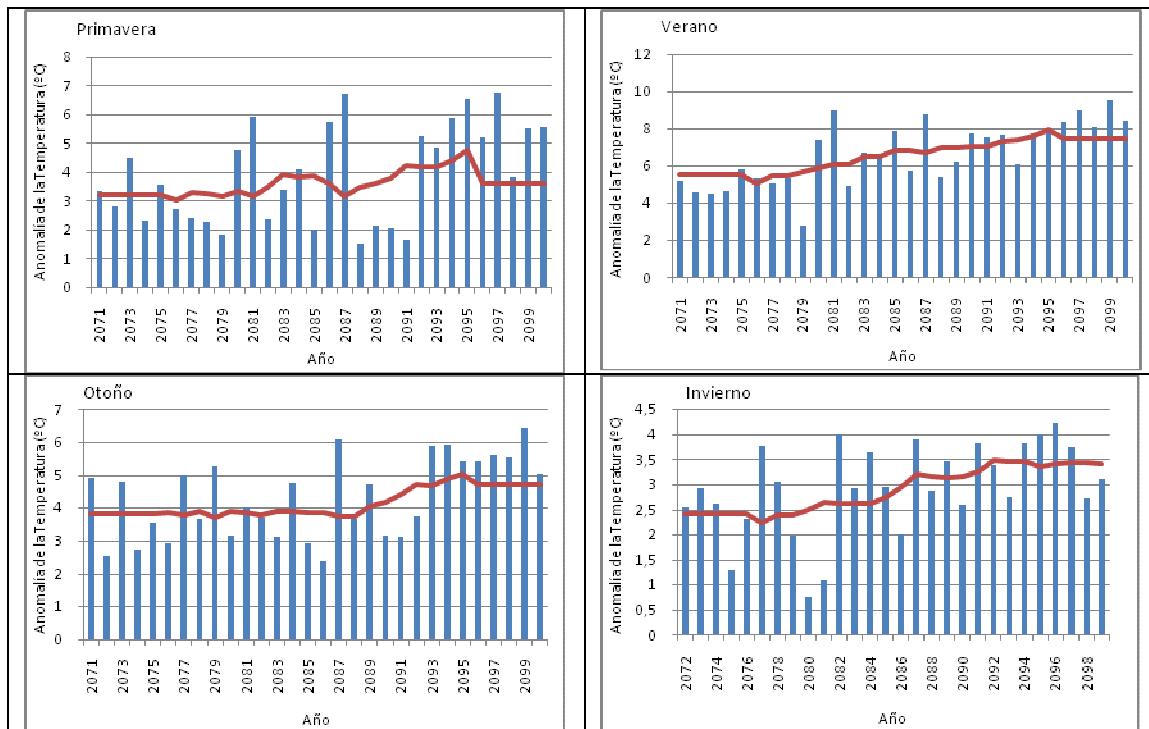


Figura 3. Variación estacional de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del periodo 1961-1990. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

7) 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.

Para esta variable no se observan tendencias significativas a escala anual con ninguno de los modelos analizados. En la figura 4 se observan los resultados obtenidos con el modelo RACMO2:

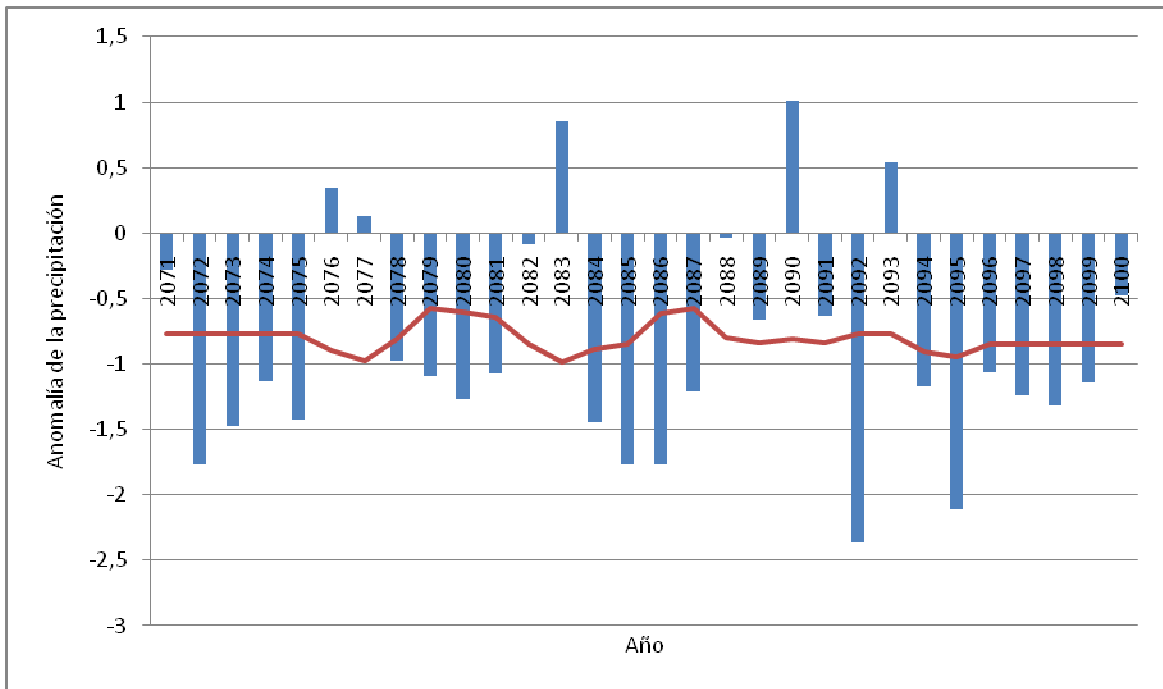


Figura 4. Variación anual de la anomalía de la precipitación total respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Estacionalmente observamos un comportamiento muy parecido al de la escala anual (figura 5), excepto en invierno, estación para la que casi todos los modelos predicen un pequeño aumento del número de años con elevadas anomalías positivas (es decir, un aumento de la precipitación respecto de la del periodo de referencia). Tampoco aparecen tendencias significativas con ningún modelo.

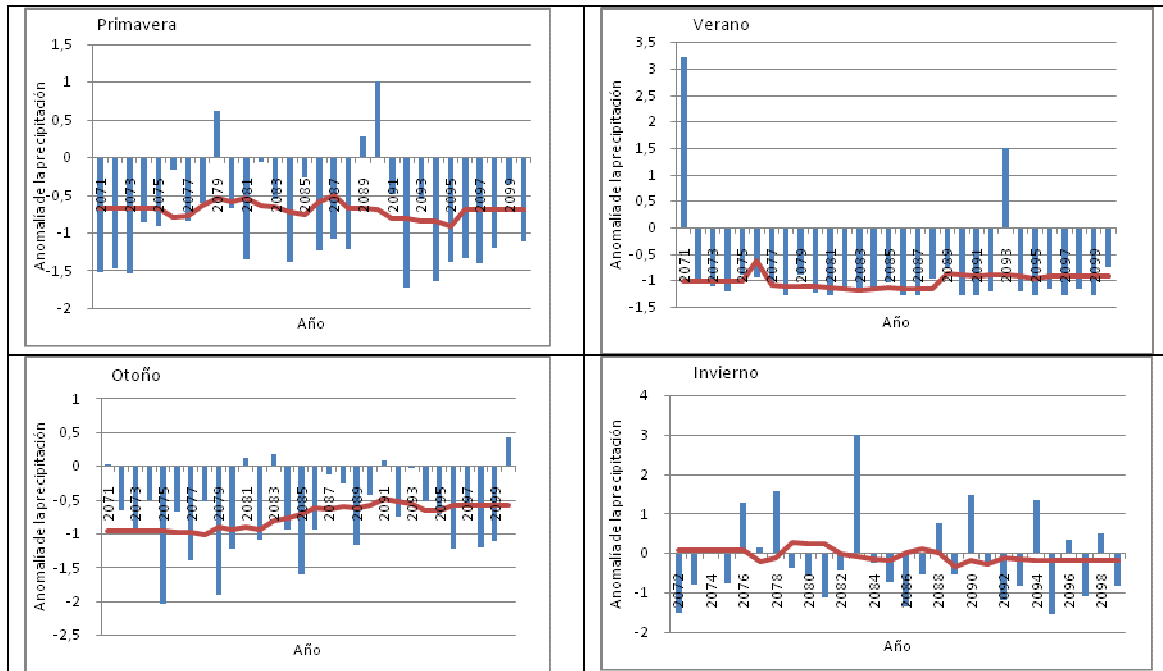


Figura 5. Variación estacional de la anomalía de la precipitación total respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

8) 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, apareciendo más anomalías positivas para los umbrales de precipitación diaria más extrema (figura 6). Según el test Tau-b las tendencias no son significativas para ningún modelo.

Estacionalmente, los resultados son muy similares a los obtenidos a escala anual (figura 6). Sólo en invierno se observa en casi todos modelos un aumento de la frecuencia de días de lluvia con respecto al periodo de referencia.

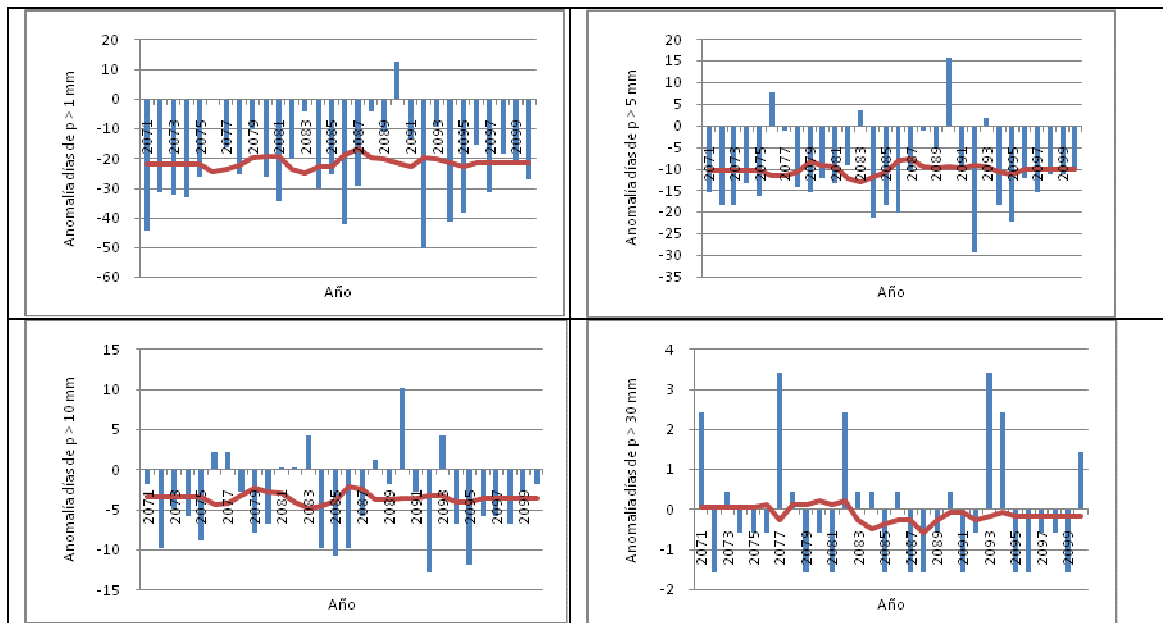


Figura 6. Variación interanual de la anomalía de los días con precipitación mayor que 1, 5, 10 y 30 mm respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

9) 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 claro 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 observan una disminución del número de días superando el p90 y una situación intermedia para el p95 (figura 7).

Es con el modelo RACMO2 del KNMI con el que aparecen más tendencias significativas para esta variable, especialmente en verano y a escala anual.

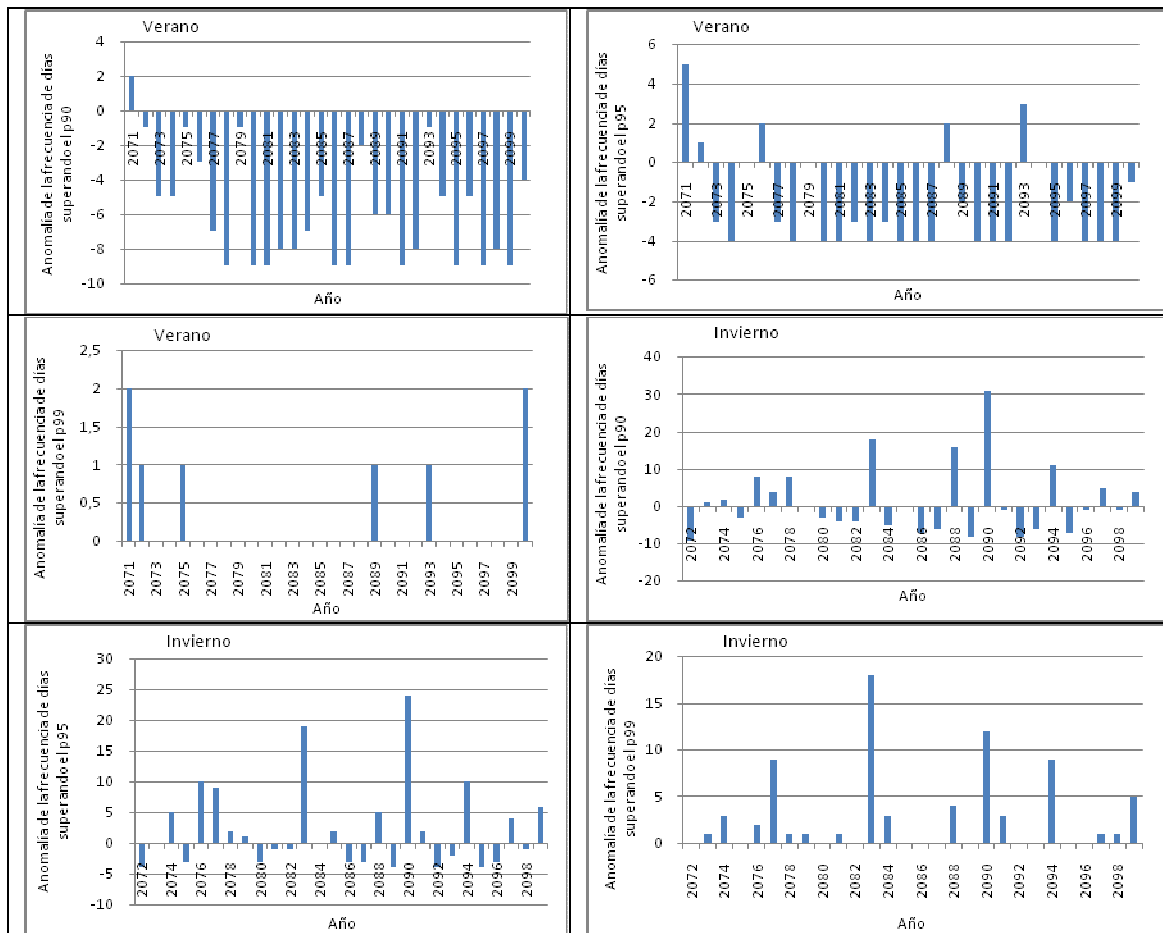


Figura 7. Variación estacional (verano e invierno) de la anomalía de los días con precipitación mayor que los percentiles p90, p95 y p99.

10) 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 120 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, con lo cual sólo mostramos los gráficos a escala anual.

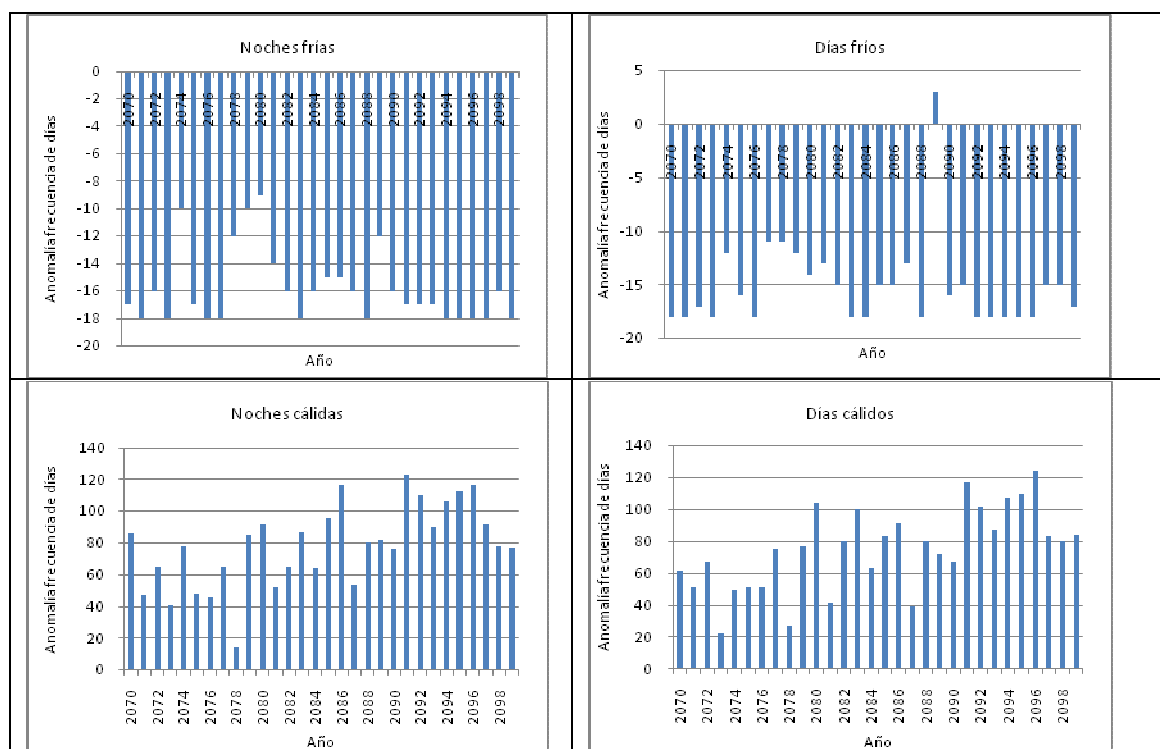


Figura 8. Variación interanual de la anomalía de los días y noches cálidas y frías respecto al periodo de referencia.

Sobre la significación de los resultados obtenidos en el análisis de temperaturas extremas, es de destacar que sólo aparecen tendencias significativas para la anomalía de noches y días cálidos. Cuatro modelos (CHMR de ETHZ, RACMO2 del KNMI, RegCM del ICTP y CLM del GKSS) dan tendencias muy significativas para las cuatro variables analizadas a escala anual.

Estacionalmente, la significación es más variable y no sigue ningún patrón aparente. Casi todos los modelos arrojan un valor significativo para una o dos de estas variables a esta escala.

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 PROMES de la

UCM, 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.

9) Análisis de la temperatura

Todos los modelos prevén, a escala anual, un aumento de la temperatura de entre 1.5 y 5 °C (menor aumento que en el escenario A2). Queremos señalar que el modelo PROMES de la UCM predice para esta variable un aumento ligeramente mayor de la temperatura que los otros tres modelos disponibles para este escenario.

Estacionalmente, también se prevén aumentos de temperatura menores que en el escenario A2 en todas las estaciones, llegándose a observar algún año con anomalías negativas en primavera e invierno (disminuciones de hasta 1 °C respecto a la temperatura diaria media del periodo de referencia).

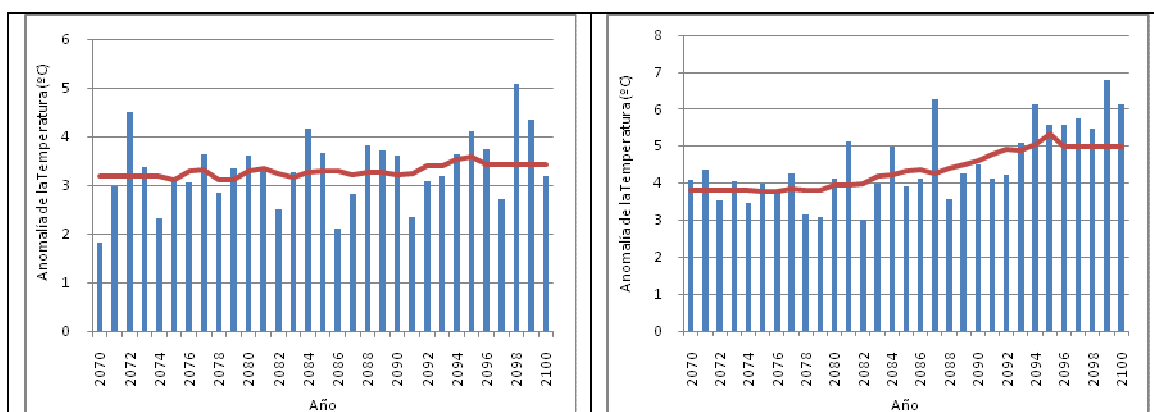


Figura 9. Variación anual de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

10) 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 más positivas. Estacionalmente el comportamiento es análogo al del escenario A2 aunque más conservador: disminución generalizada de la precipitación (más marcada en verano).

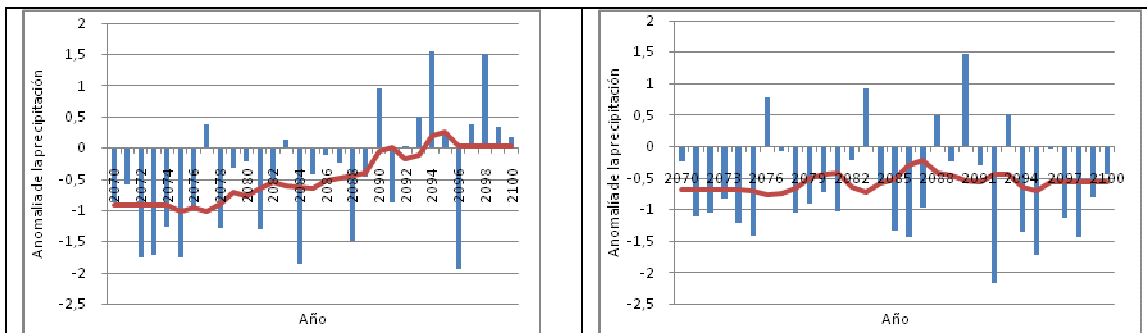
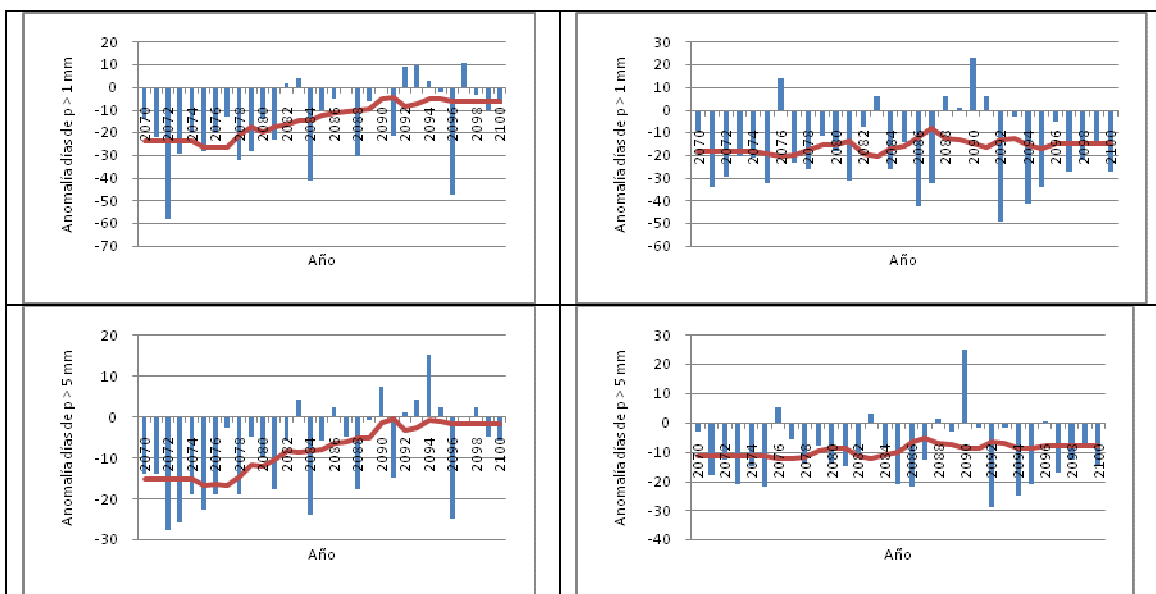


Figura 10. Variación anual de la precipitación total respecto al período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

11) Análisis de la frecuencia de días de lluvia

Observamos una reducción de la frecuencia de días de lluvia muy semejante a la del escenario A2, excepto para fenómenos de lluvia muy intensa (mayor que 30 mm por día), que observamos un aumento respecto del período de referencia. 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.



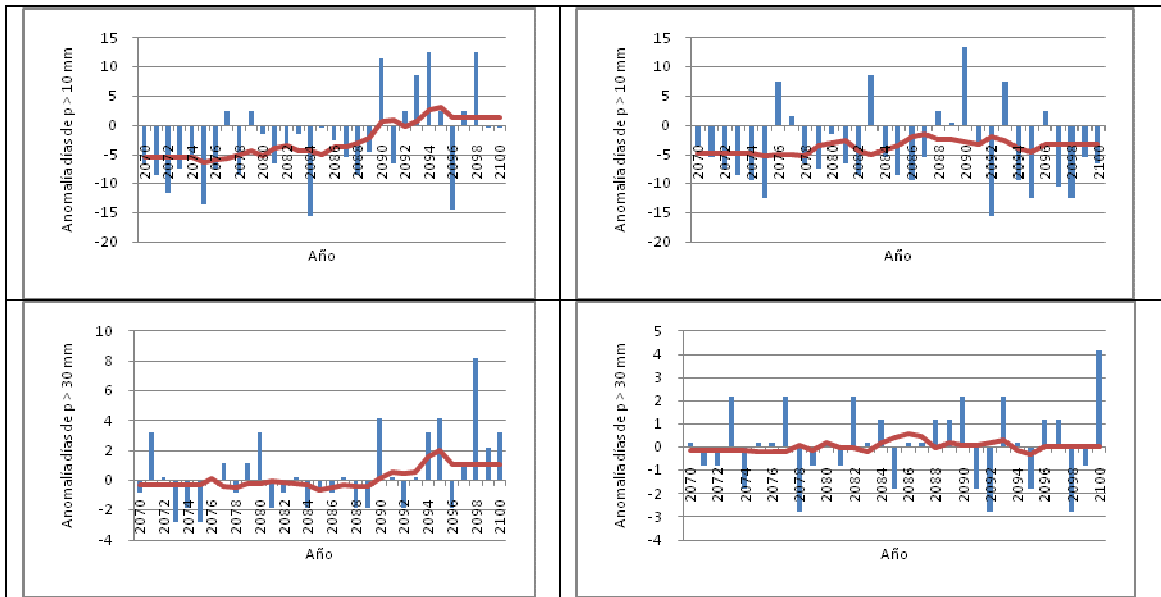


Figura 11. Variación anual de la anomalía en el número de días con precipitación mayor que 1, 5, 10 y 30 mm. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

12) Análisis de extremos de precipitación

En cuanto a la frecuencia de días de lluvia intensa (superando el percentil 95 del período de referencia) se observan más años con más días con anomalías positivas que en escenario A2, aunque dichas anomalías son menos extremas en el escenario B2.

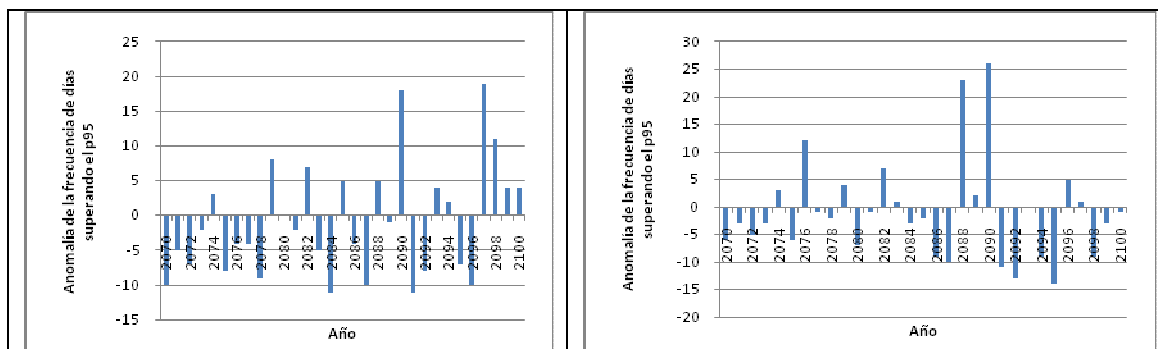
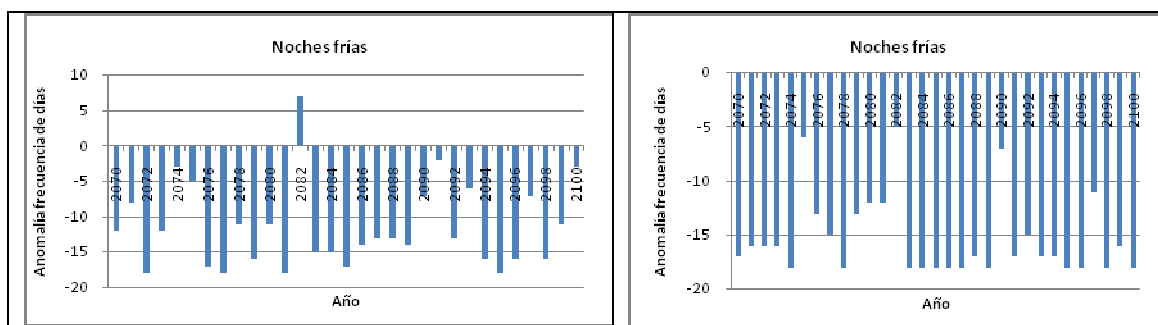


Figura 12. Variación anual de la anomalía en el número de días con precipitación mayor que el percentil 95. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2.

13) 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 no tanto como en escenario A2, apareciendo más años con anomalías positivas para los días y noches fríos.



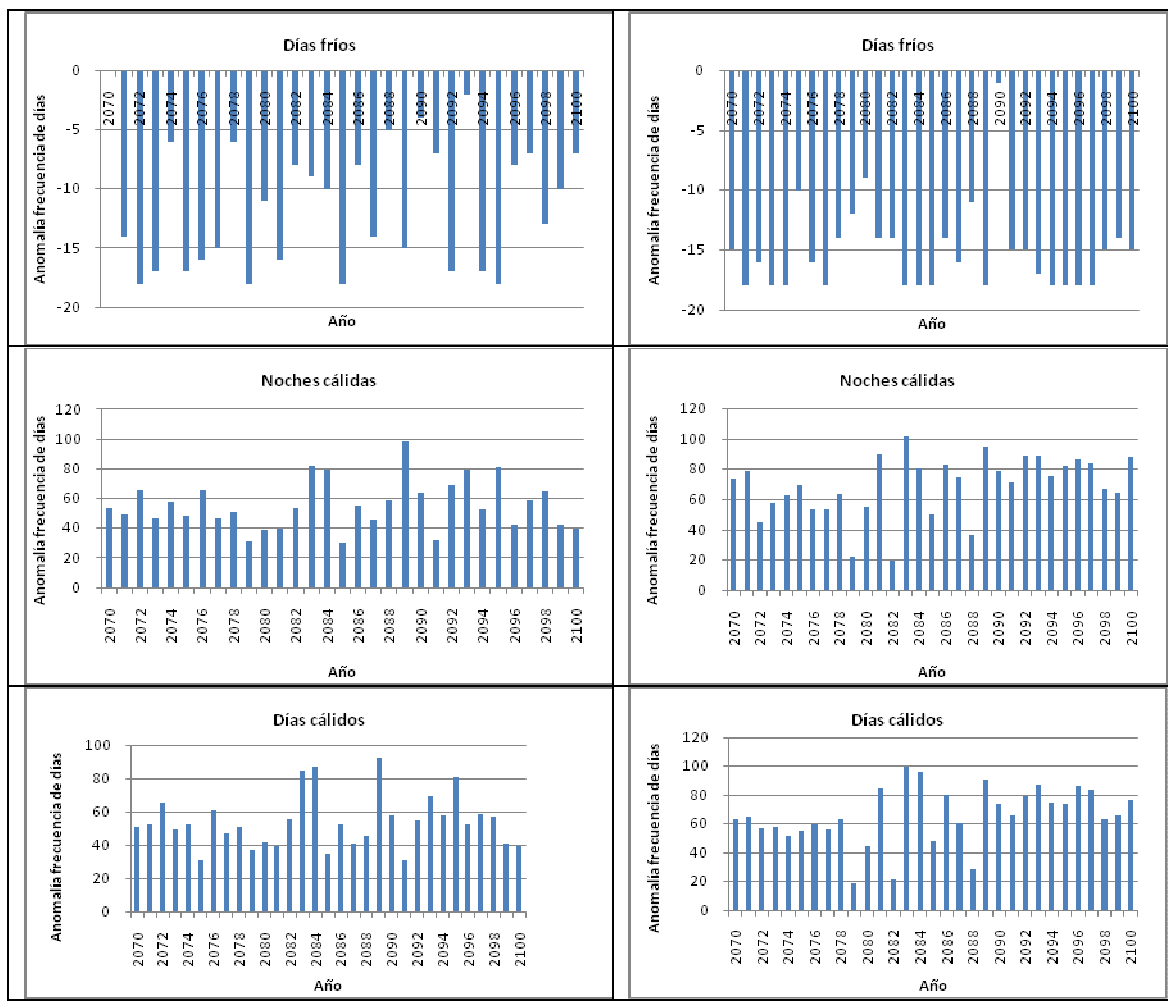


Figura 13. Variación anual de la anomalía de los días y noches cálidas y frías respecto al período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2.

14) Evaporación

A escala anual se observa una disminución de la evaporación respecto a la media del período de referencia en casi todos los modelos excepto el PROMES de la UCM (llegado a reducirse 1 mm por día en el escenario A2 y 0.7 mm en el B2).

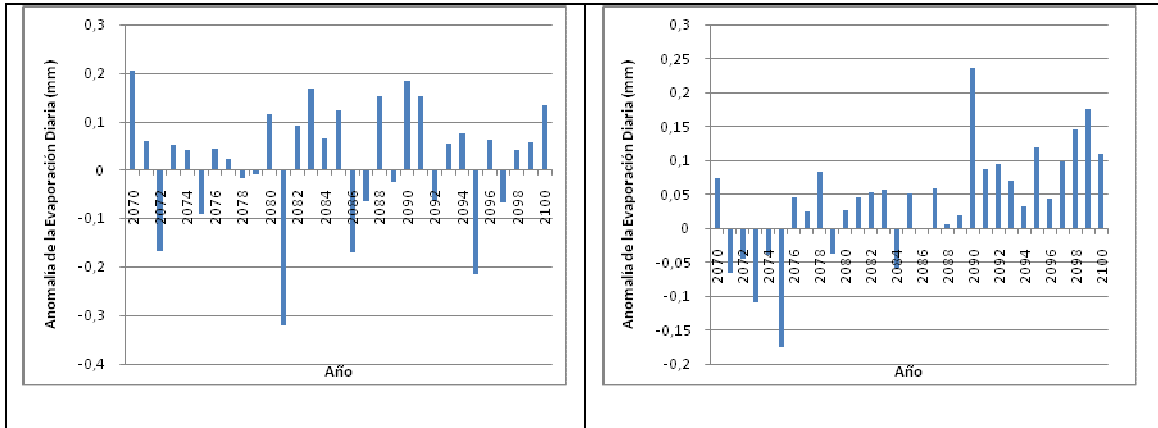


Figura 14. Variación anual de la evaporación diaria total predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

Estacionalmente, en otoño y verano el comportamiento es muy semejante al de la escala anual. En primavera e invierno la disminución es menor, apareciendo muchos más años con anomalías positivas (mayor evaporación que en el periodo de referencia).

15) Viento a 10 m

Todos los modelos muestran resultados muy semejantes para esta variable entre sí y en ambos escenarios. En general, a escala anual se observa una disminución del viento a 10 m en todos los modelos (de hasta 0.4 m/s para la media diaria en ambos escenarios).

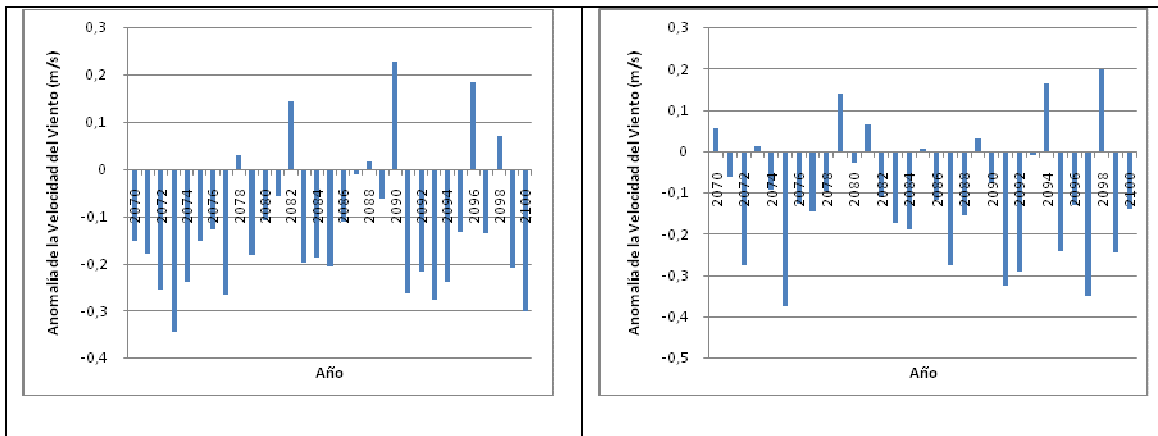


Figura 15. Variación anual de la velocidad diaria media del viento predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

En cuanto a la escala estacional, destacar que las anomalías son especialmente negativas en otoño, indicando una disminución del viento mucho más fuerte que en el resto de las

estaciones. Por otro lado, en primavera aparecen más anomalías positivas, siendo éstas ya dominantes en verano.

16) 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 (de hasta 20 W/m² diarios en el escenario A2 en todos los modelos menos PROMES de la UCM, que predice un aumento de hasta 40 W/m², y 15 W/m² en el escenario B2, excepto PROMES que predice 33 W/m²).

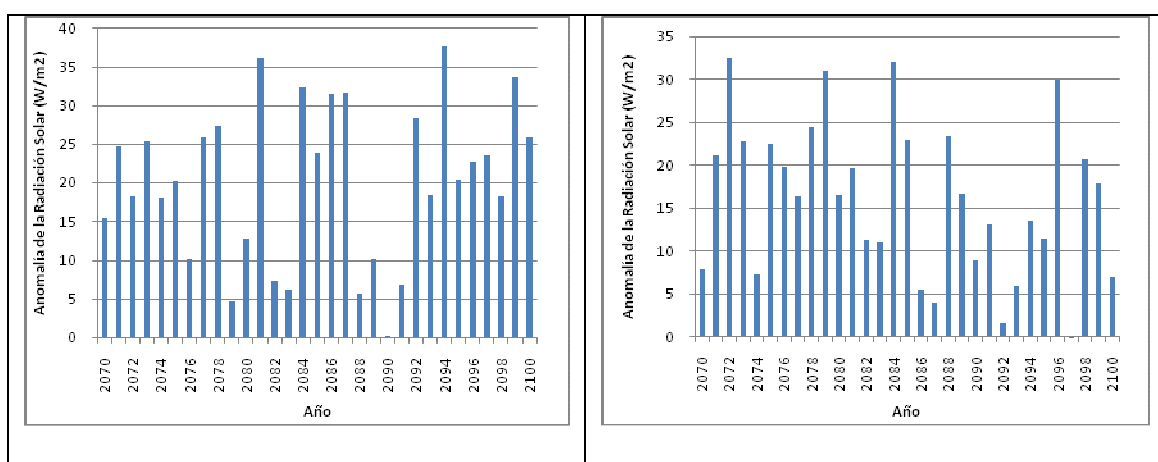


Figura 16. Variación anual de la radiación de onda corta media diaria predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

Estacionalmente, en verano el aumento es mayor que la media anual y en invierno menor, aunque lo más destacable es el aumento en primavera (hasta 55 W/m² para el escenario A2 y 40 W/m² para el escenario B2; en PROMES hasta 100 W/m² para el escenario A2 y 80 W/m² para el escenario B2).

Conclusión

Hemos realizado una estimación de la magnitud del cambio climático en el valle del Alagón (Cáceres) 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 entre 3 y 6 °C en el escenario A2 y entre 1.5 y 5 °C en el escenario B2.
- Disminución generalizada de la precipitación anual de hasta 500 mm para el escenario A2 y 430 mm para el escenario B2. No obstante se observan años con precipitación anual hasta 325 mm por encima de la del período de referencia para el escenario A2 y 450 mm para el B2. Disminución también de la precipitación a escala estacional, excepto en invierno.
- Disminución de la frecuencia de días de lluvia que superan los umbrales de 1 mm, 5 mm y 10 mm. Aumento de los que superan los 30 mm (lluvia muy intensa).
- Aumento de los días de lluvia superando el percentil 99 de la precipitación diaria del periodo de referencia (días de lluvia muy intensa).
- Aumento del número de días y noches cálidas (aproximadamente 68 más por año para el escenario A2 y 55 más para el B2) y disminución del número de días y noches frías (aproximadamente 15 menos por año para el escenario A2 y 10 menos para el B2).
- Disminución generalizada de la evaporación diaria total, excepto en primavera e invierno.
- Disminución de la velocidad del viento a 10 m, sobre todo en otoño. En verano, sin embargo, se prevé un aumento de esta variable.
- Aumento de la radiación de onda corta incidente sobre la superficie, especialmente en verano y primavera.

Señalamos además que la diferencia entre simulaciones con distintos modelos no es grande. Sí es más reseñable, 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: Anomalía de la temperatura media diaria para todos los modelos y escenarios analizados.

Escenario A2

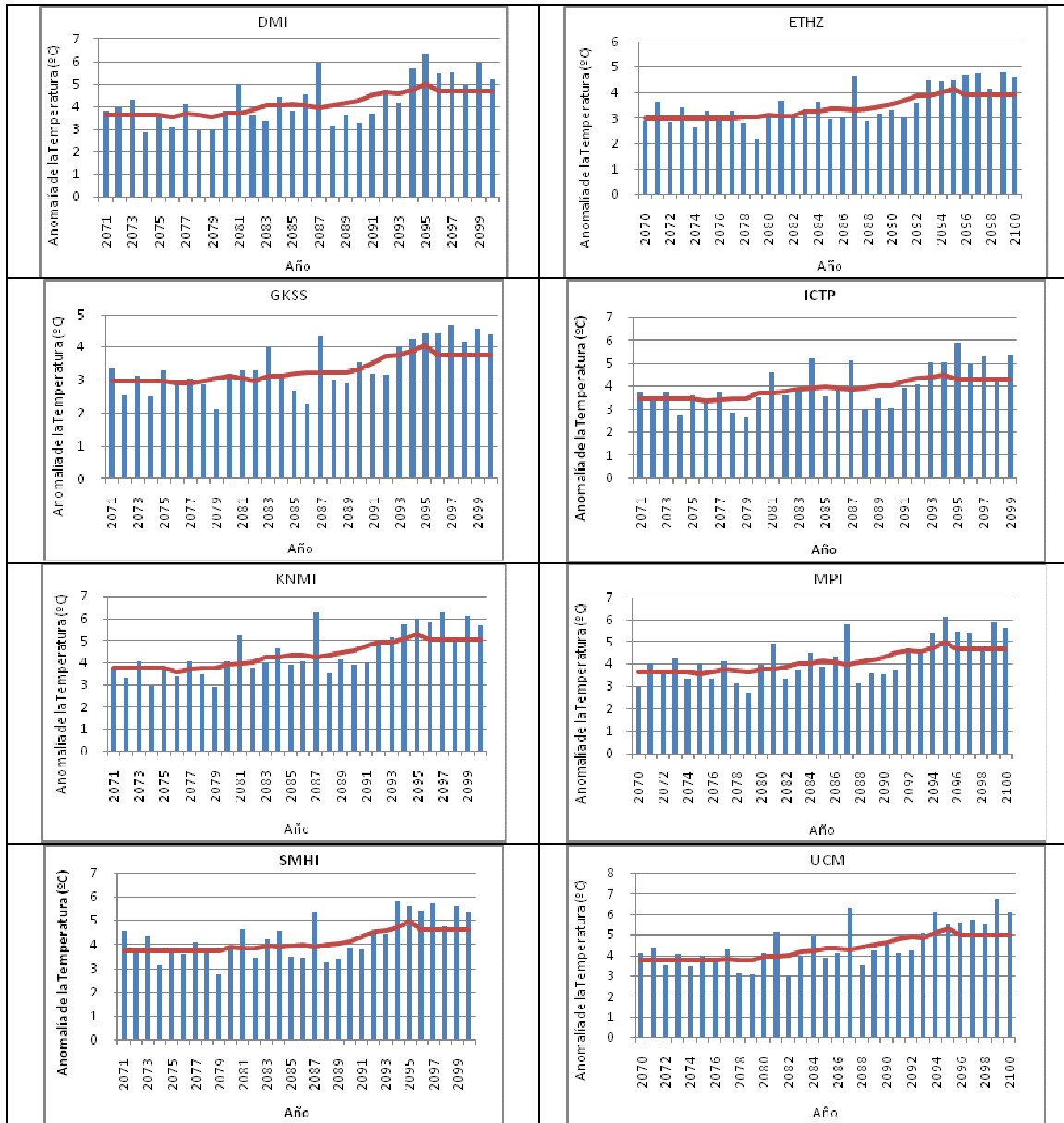


Figura 17. Variación anual de la temperatura media diaria para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Escenario B2

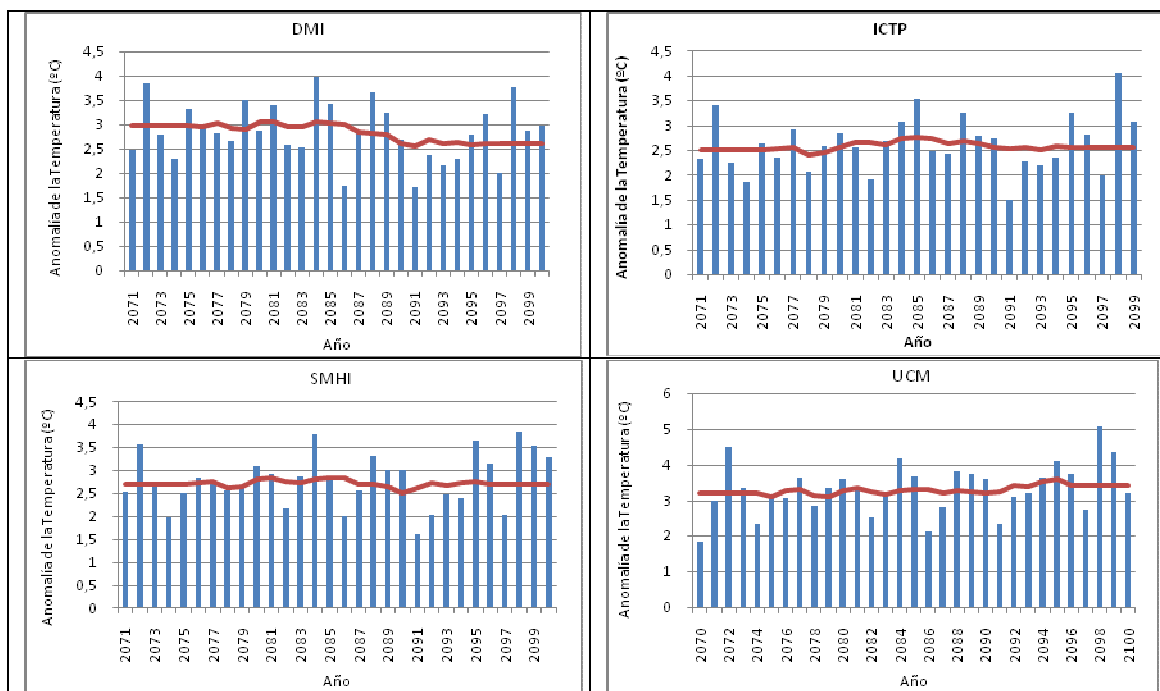


Figura 18. Variación anual de la temperatura media diaria para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones B2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

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

Escenario A2

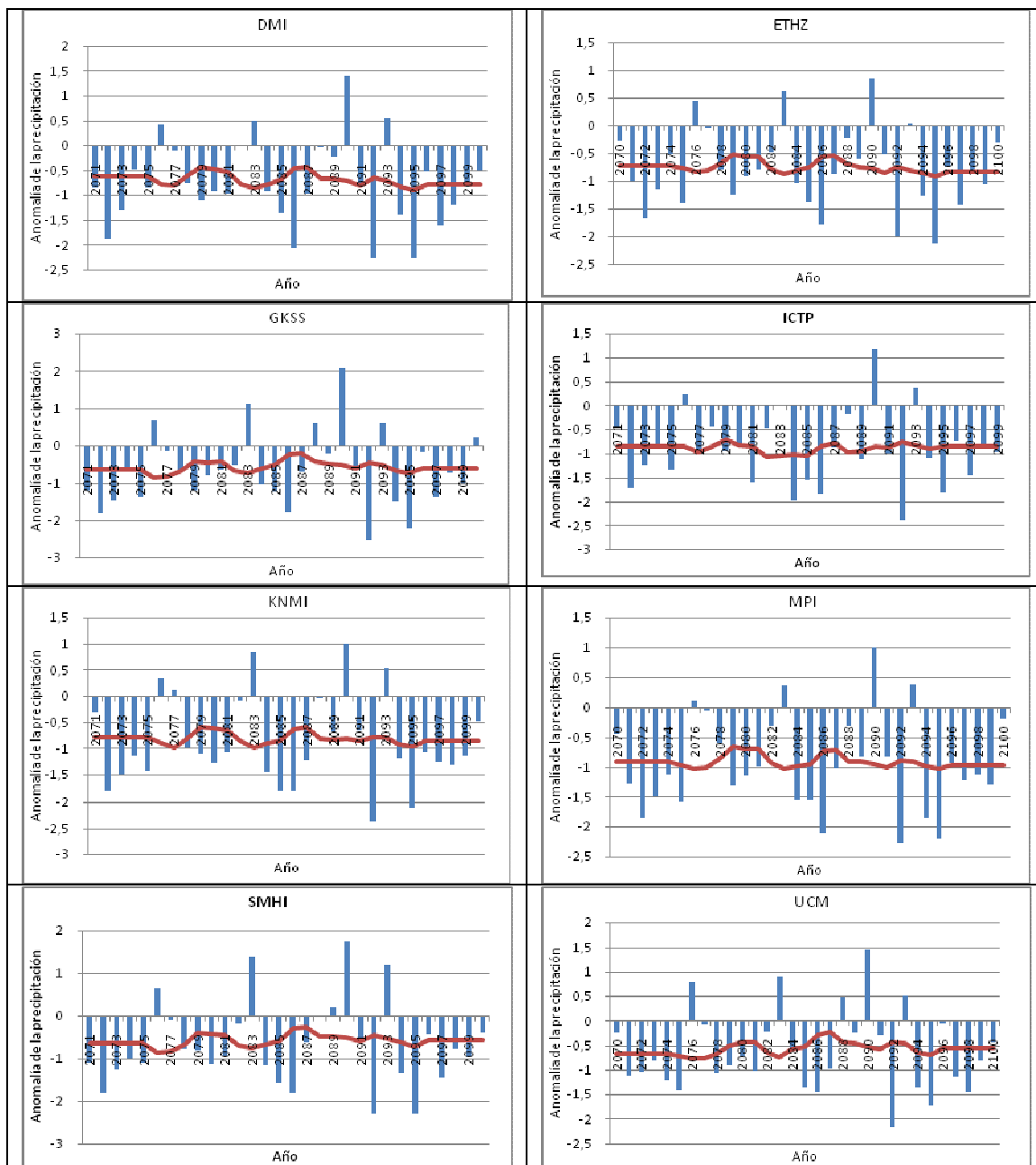


Figura 19. Variación anual de la precipitación anual acumulada para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Escenario B2

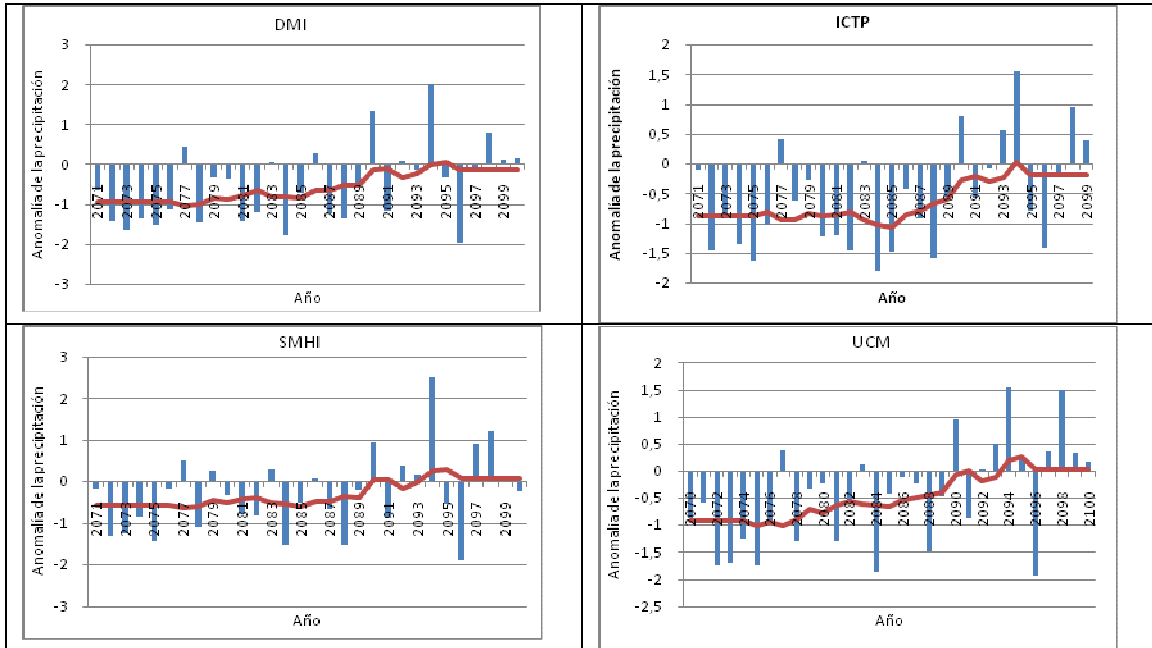


Figura 20. Variación anual de la precipitación anual acumulada para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones B2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

ANEXO III

Informe sobre impactos en La Lizonne - Francia

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 (La Lizonne, Francia).

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.

11) 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.

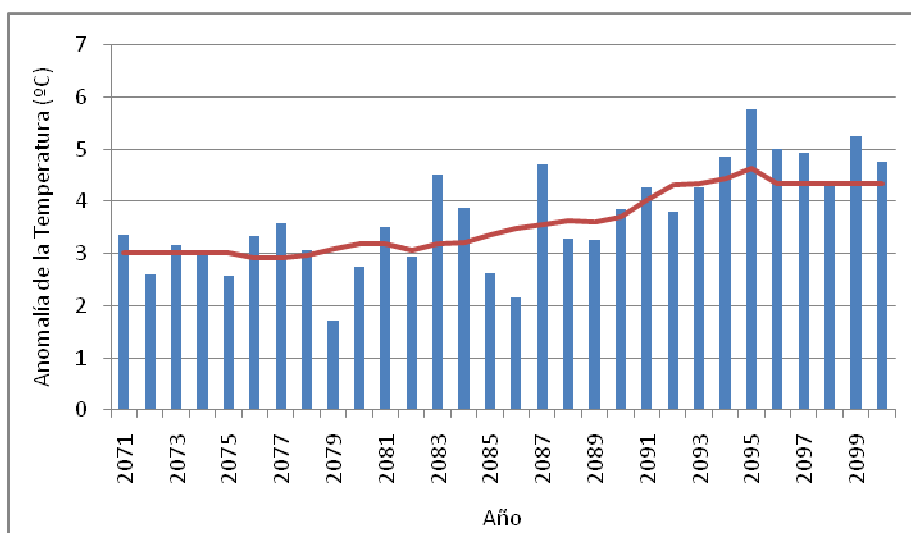


Figura 2. Variación anual de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del periodo 1961-1990. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

En esta gráfica, así como en las obtenidas con los otros siete modelos, observamos una anomalía positiva de la temperatura para todos los años respecto del periodo de referencia. El aumento de la temperatura media anual oscila entre 1 y 6 °C en todos los modelos (ver Anexo I).

Es de resaltar también que todas las gráficas presentan una pendiente positiva, indicando un aumento de temperatura en promedio del orden de 0.69 °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 verano (entre 1 y 11 °C) y otoño (entre 1.5 y 7 °C). Las pendientes son mayores en primavera y verano.

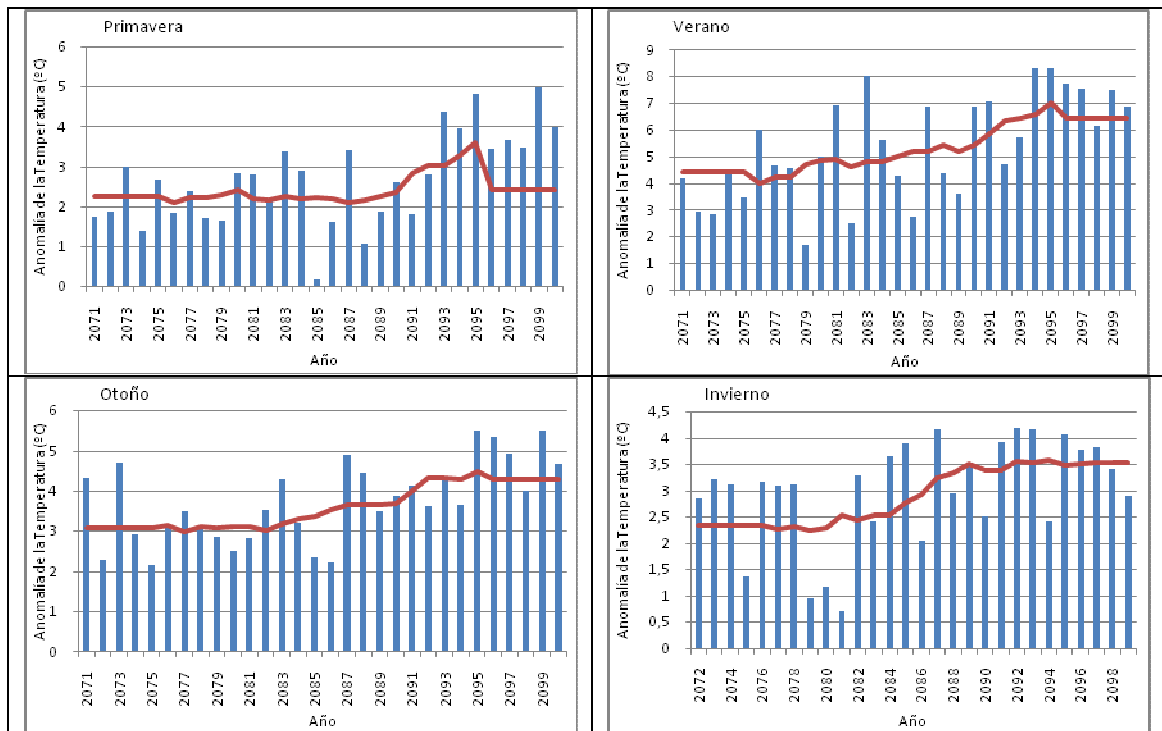


Figura 3. Variación estacional de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del periodo 1961-1990. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

12) 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 bastantes años más lluviosos que en el periodo de referencia.

Para esta variable no se observan tendencias significativas a escala anual con ninguno de los modelos analizados. En la figura 4 se observan los resultados obtenidos con el modelo RACMO2:

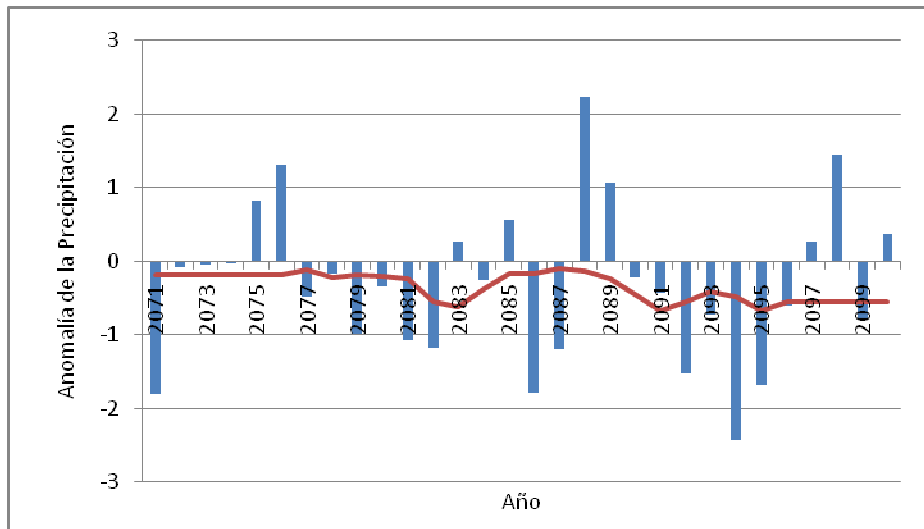


Figura 4. Variación anual de la anomalía de la precipitación total respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Estacionalmente observamos una mayor disminución de la precipitación en verano y en invierno un pequeño aumento del número de años con anomalías positivas (es decir, un aumento de la precipitación respecto de la del periodo de referencia).

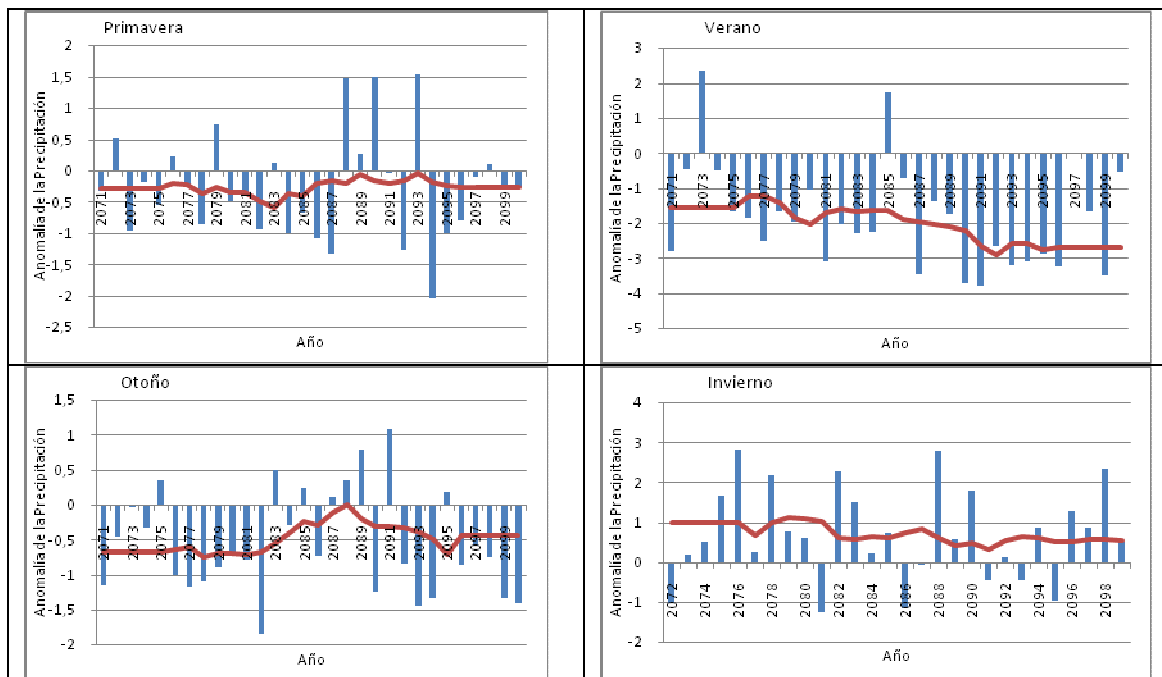


Figura 5. Variación estacional de la anomalía de la precipitación total respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

13) 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 70 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). Según el test Tau-b las tendencias no son significativas para ningún modelo.

A escala estacional, la disminución es mayor en verano y otoño y sólo en invierno se observa un aumento generalizado de la frecuencia de días de lluvia con respecto al periodo de referencia.

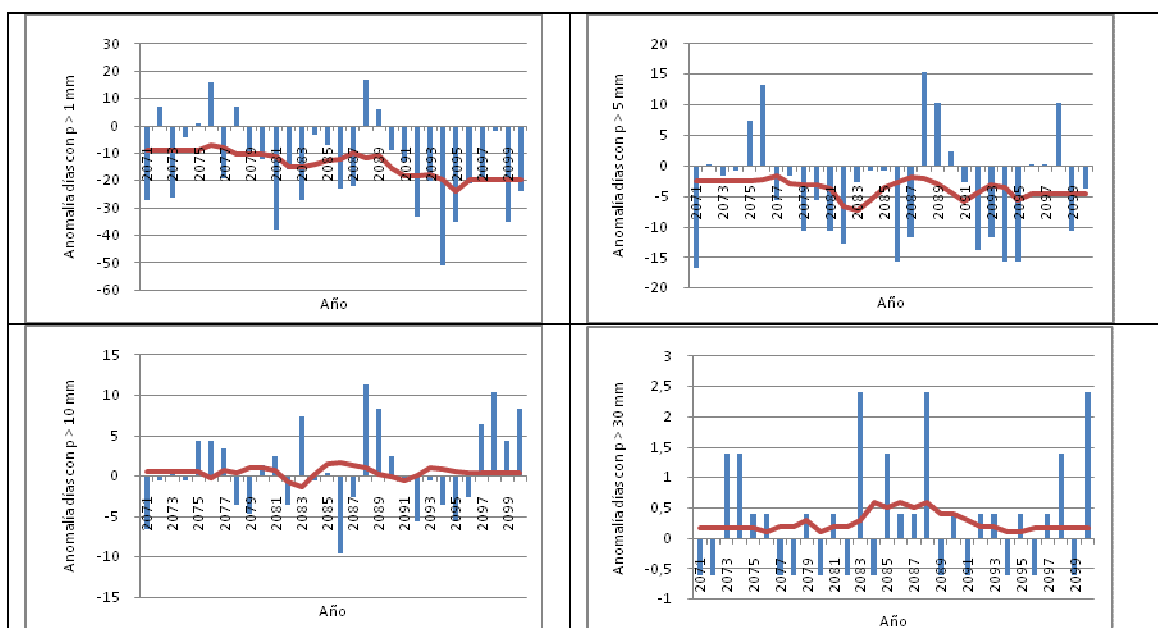


Figura 6. Variación interanual de la anomalía de los días con precipitación mayor que 1, 5, 10 y 30 mm respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

14) 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 claro 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 observan una disminución del número de días superando el p90 y una situación intermedia para el p95 (figura 7).

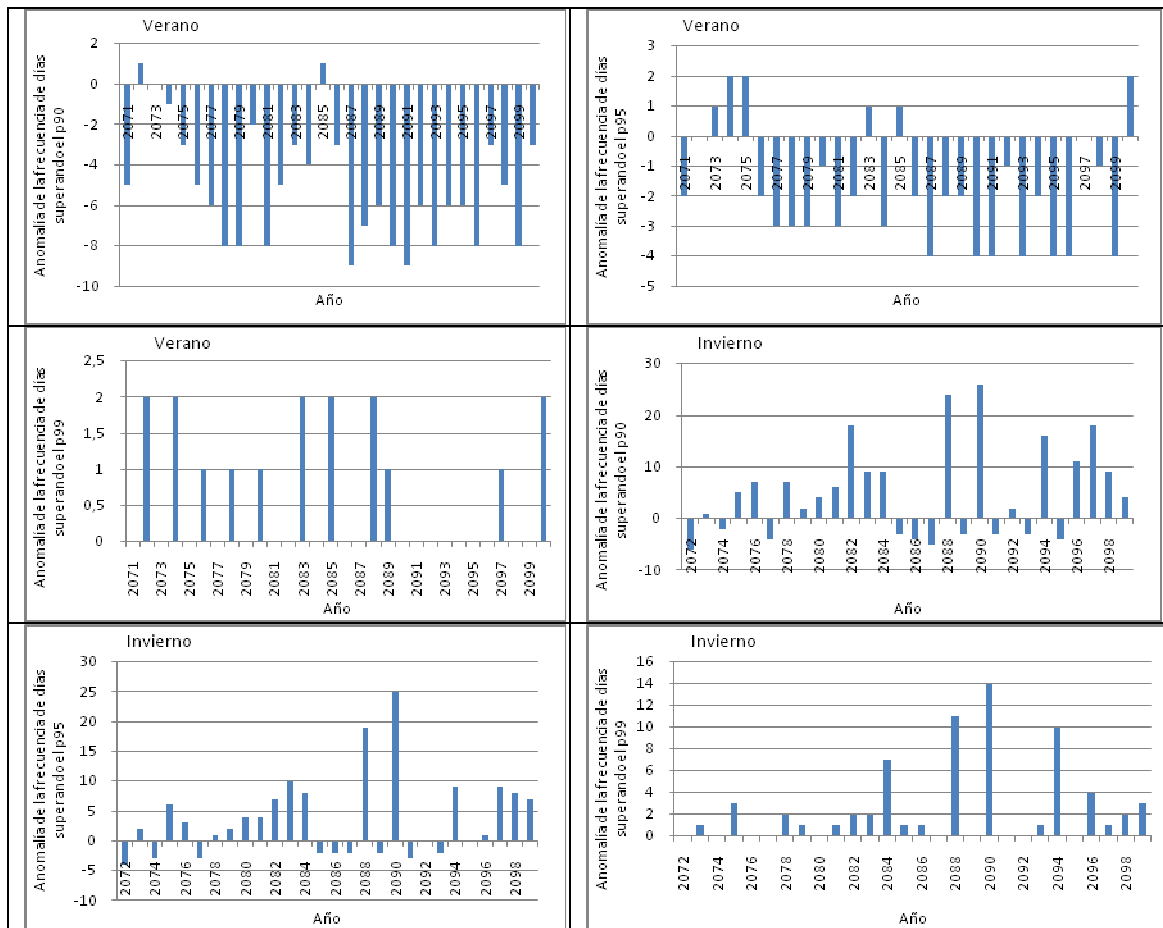


Figura 7. Variación estacional (verano e invierno) de la anomalía de los días con precipitación mayor que los percentiles p90, p95 y p99.

15) 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.

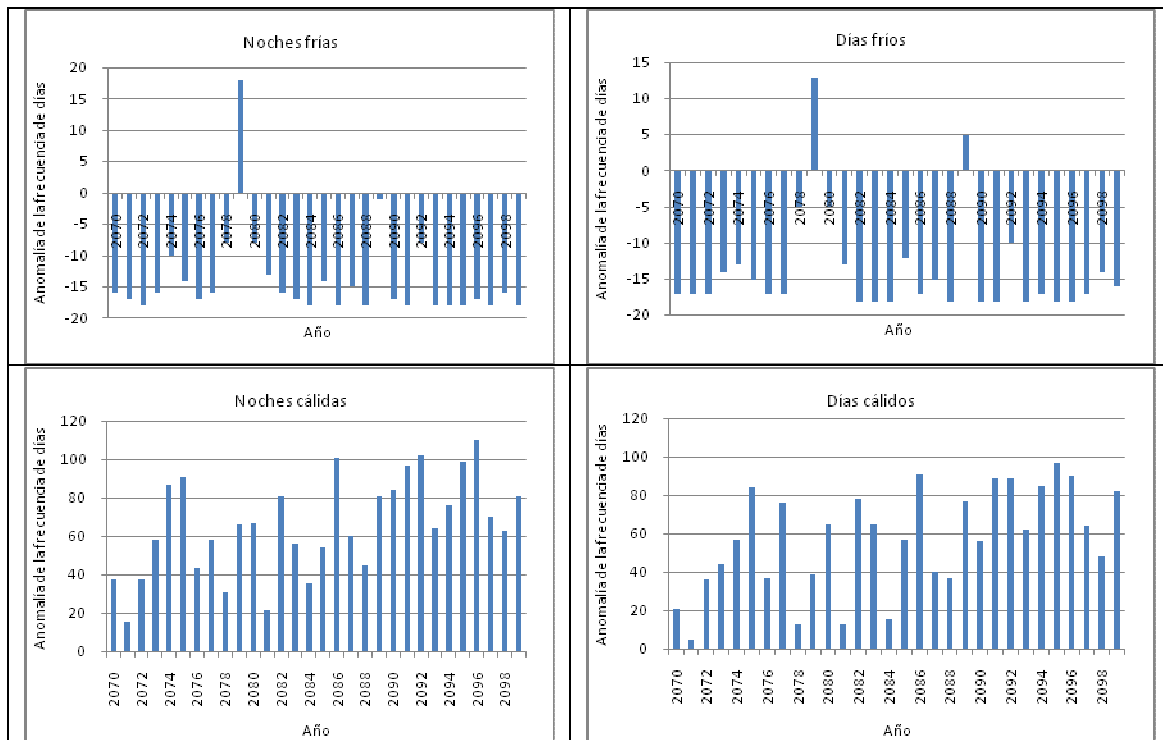


Figura 8. Variación interanual de la anomalía de los días y noches cálidas y frías respecto al periodo de referencia.

Sobre la significación de los resultados obtenidos en el análisis de temperaturas extremas, es de destacar que sólo aparecen tendencias muy significativas para la anomalía de noches y días cálidos con el modelo RACMO2 del KNMI y significativas para los modelos HIRHAM del DMI y CHRM del ETHZ.

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 RAO del SMHI, 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.

17) Análisis de la temperatura

Todos los modelos prevén, a escala anual, un aumento de la temperatura de entre 1 y 4 °C (menor aumento que en el escenario A2).

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 e invierno (disminuciones de hasta 1 °C respecto a la temperatura diaria media del periodo de referencia).

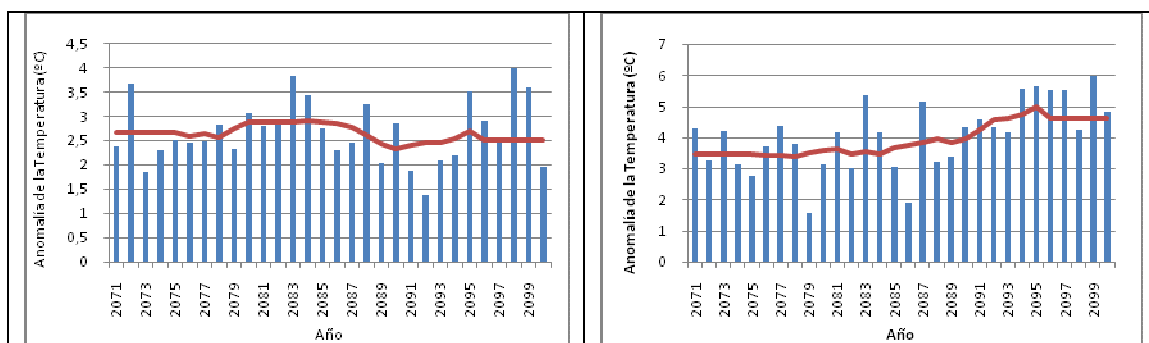


Figura 9. Variación anual de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

18) 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: disminución de la precipitación (más marcada en verano), excepto en invierno, que se observa un ligero aumento.

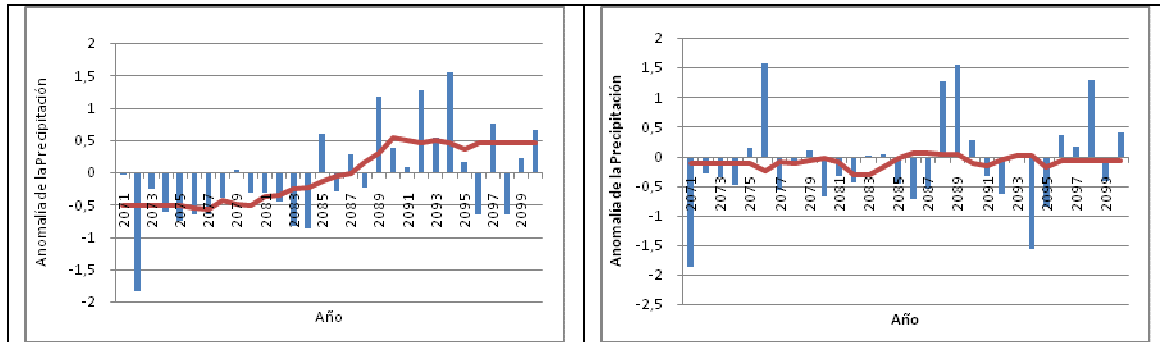


Figura 10. Variación anual de la precipitación total respecto al período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

19) Análisis de la frecuencia de días de lluvia

Observamos una reducción de la frecuencia de días de lluvia ligeramente menor que la esperada según el escenario A2. Por otra parte, se prevé un aumento de los fenómenos de lluvia muy intensa (mayor que 30 mm por día) respecto del período de referencia, aunque también inferior al previsto en 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.

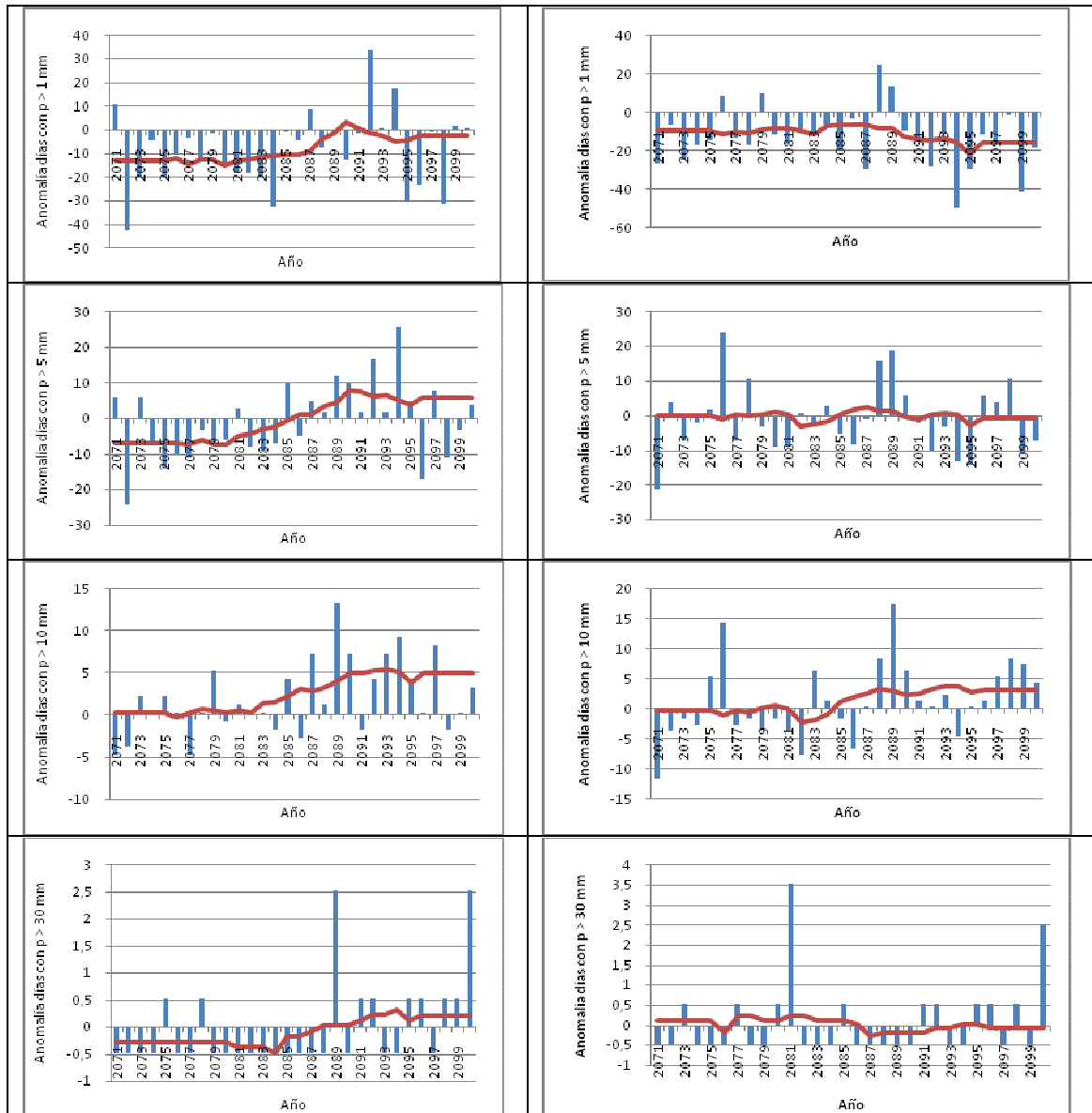


Figura 11. Variación anual de la anomalía en el número de días con precipitación mayor que 1, 5, 10 y 30 mm. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

20) 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 positivas (aumento respecto al período de referencia), siendo éstas menos extremas que las previstas por el escenario A2.

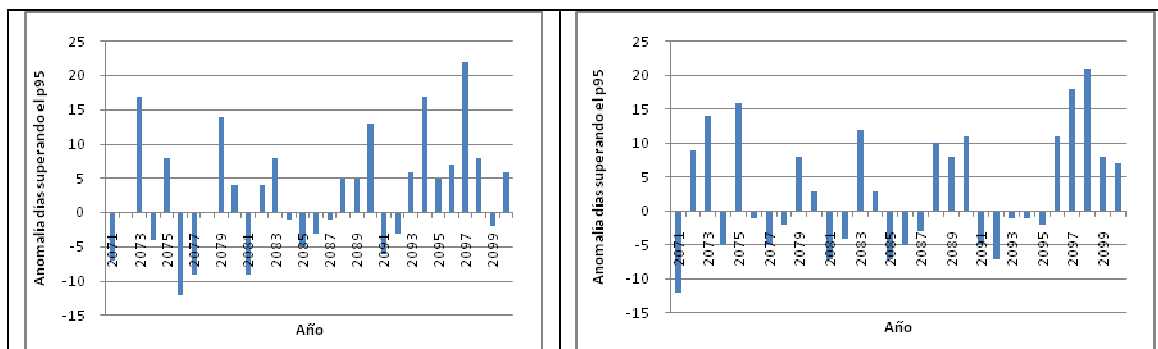
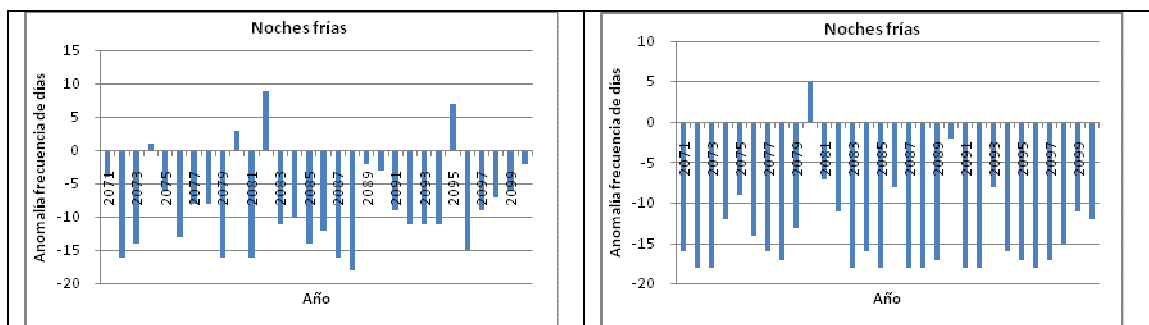


Figura 12. Variación anual de la anomalía en el número de días con precipitación mayor que el percentil 95. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2.

21) 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, apareciendo más años con anomalías positivas para el número de días y noches fríos.



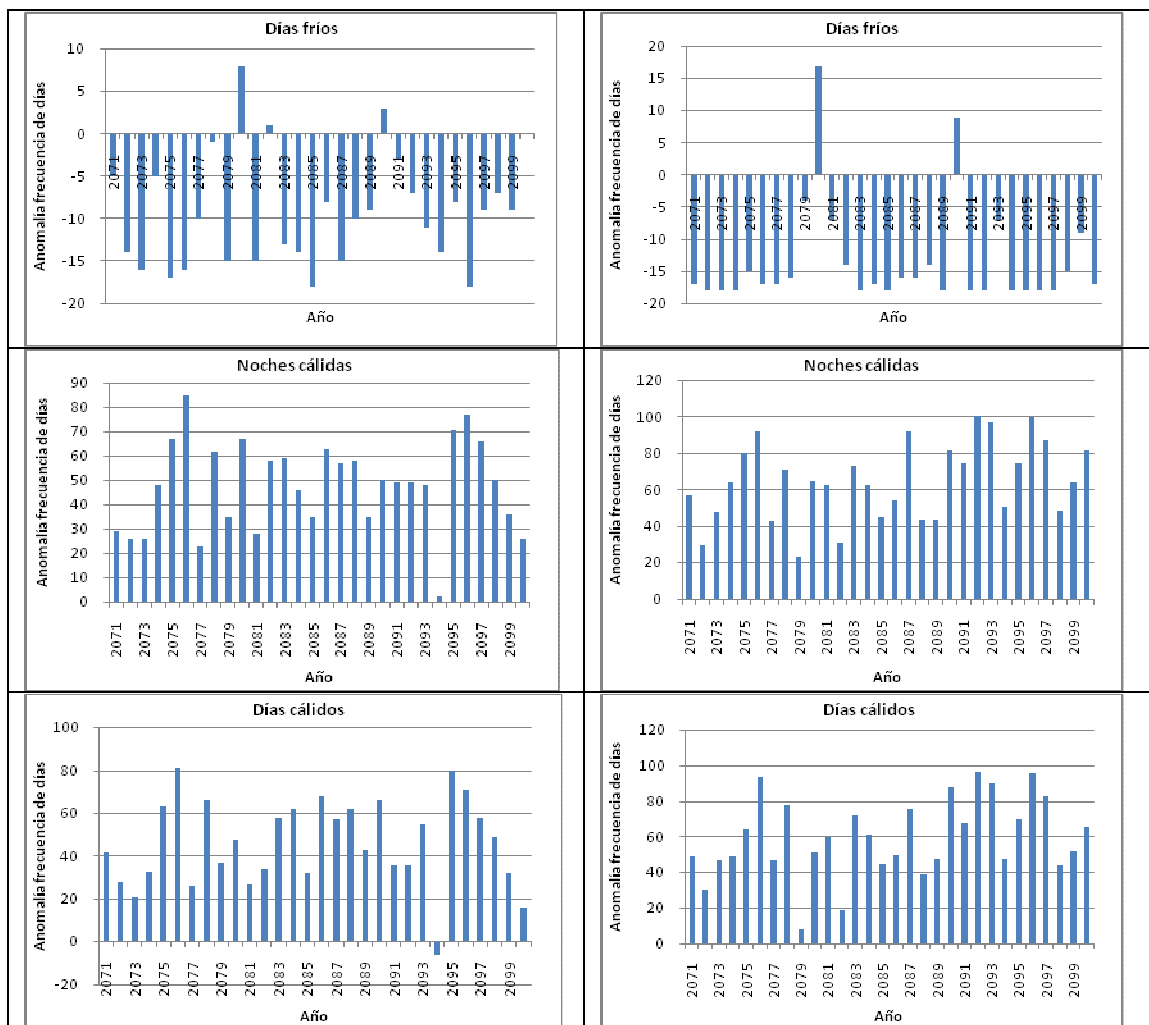


Figura 13. Variación anual de la anomalía de los días y noches cálidas y frías respecto al período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2.

22) Evaporación

A escala anual se observa una disminución de la evaporación respecto a la media del período de referencia en todos los modelos menos el modelo PROMES de la UCM, que prevé un aumento generalizado de la evaporación diaria (0.12 mm más en promedio para el escenario A2 y 0.09 mm para el escenario B2). Señalar también que para esta variable, los modelos que predicen una disminución de la evaporación difieren bastante en la magnitud de esta disminución. Así, por ejemplo, obtenemos tendencias significativas para el modelo HIRHAM del DMI, que prevé una disminución media de 0.28 mm por día para el escenario A2 y de 0.21 mm/día para el B2, y también para el modelo RCAO del SMHI, que predice una disminución de 0.07 mm/día para el A2 y de 0.06 mm/día para el B2.

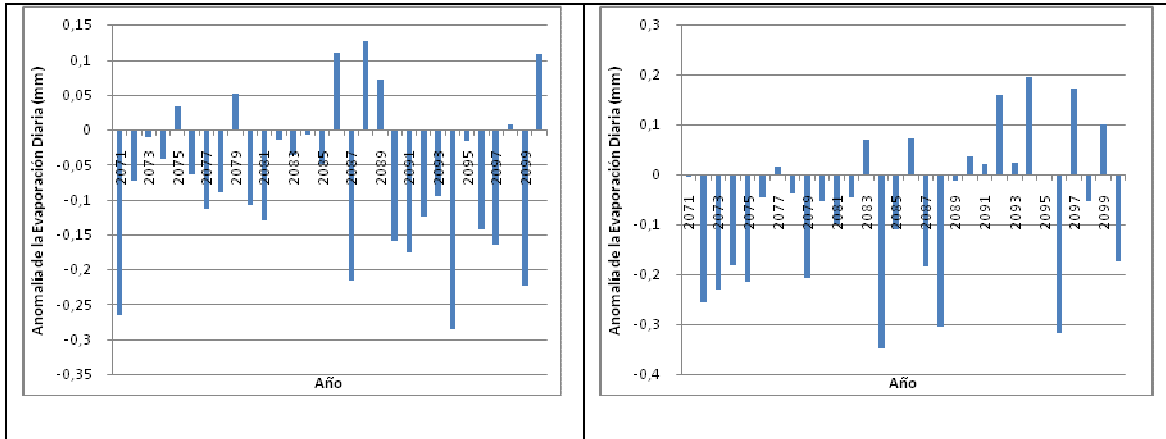


Figura 14. Variación anual de la evaporación diaria total predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

Estacionalmente, en otoño el comportamiento es muy semejante al de la escala anual, mientras que en primavera e invierno predominan los años con anomalías positivas (mayor evaporación que en el periodo de referencia). En verano la disminución de la evaporación es mucho mayor que a escala anual (llegándose a alcanzar reducciones de más de 1 mm por día en ambos escenarios en la mayoría de los modelos).

23) Viento a 10 m

A escala anual se observa un aumento de la velocidad del viento a 10 m en todos los modelos para el escenario A2 (de 0.04 m/s en promedio para todo el periodo 2071-2099 y para todos los modelos) y una leve disminución según el escenario B2 (de 0.02 m/s en promedio).

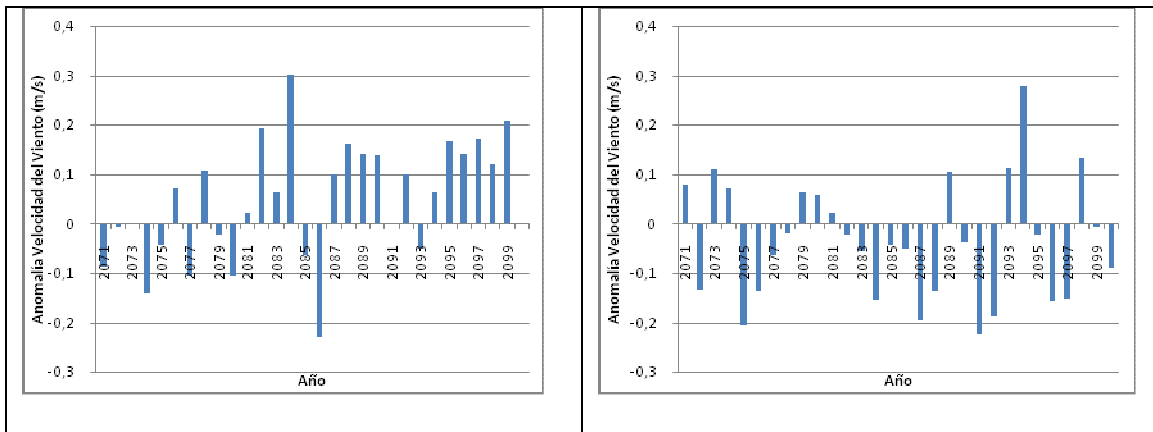


Figura 15. Variación anual de la velocidad diaria media del viento predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

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.

24) 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 (de hasta 25 W/m² diarios en el escenario A2 y 20 W/m² en el escenario B2; excepto el modelo PROMES de la UCM que predice un aumento de hasta 45 W/m² en el A2 y de hasta 37 W/m² en el B2).

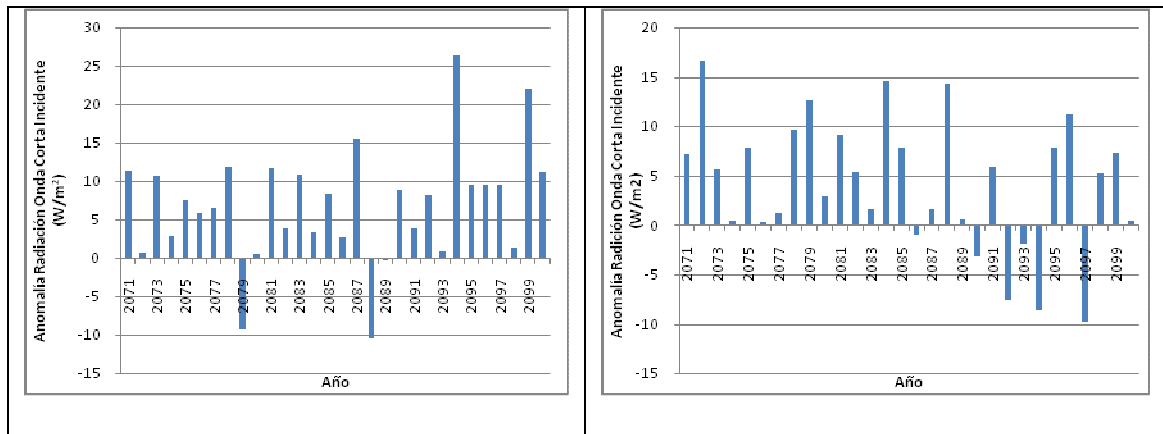


Figura 16. Variación anual de la radiación de onda corta media diaria predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

Estacionalmente, en primavera y verano el aumento es bastante mayor que en las demás estaciones y sólo en invierno se observa un predominio de años con anomalías negativas (reducción de la radiación).

Conclusión

Hemos realizado una estimación de la magnitud del cambio climático en la región de La Lizonne (Francia) 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 entre 1 y 6 °C en el escenario A2 y entre 1 y 4 °C en el escenario B2.
- Disminución generalizada de la precipitación anual de hasta 300 mm para el escenario A2 y 290 mm para el escenario B2. No obstante se observan años con precipitación anual hasta 250 mm por encima de la del período de referencia para ambos escenarios. Disminución también de la precipitación a escala estacional, excepto en invierno.
- Disminución de la frecuencia de días de lluvia que superan los umbrales de 1 mm, 5 mm y 10 mm. Aumento de los que superan los 30 mm (lluvia muy intensa).
- Aumento de los días de lluvia superando el percentil 99 de la precipitación diaria del periodo de referencia (días de lluvia muy intensa).
- Aumento del número de días y noches cálidas (aproximadamente 60 más por año para el escenario A2 y 50 más para el B2) y disminución del número de días y noches frías (aproximadamente 13 menos por año para el escenario A2 y 9 menos para el B2).
- Disminución de la evaporación diaria total a escala anual. Los modelos difieren bastante a la hora de cuantificar la magnitud de esta disminución. Estacionalmente destaca la disminución en verano y sólo se observa un aumento en primavera e invierno.
- Aumento de la velocidad del viento a 10 m. En invierno se observan anomalías bastante elevadas tanto en sentido positivo como negativo y en verano fuertes anomalías positivas.
- Aumento de la radiación de onda corta incidente sobre la superficie. En primavera y verano el aumento es especialmente mayor, mientras que en invierno se produce una disminución de esta variable en la mayoría de los años del periodo estudiado.

Señalamos además que la diferencia entre simulaciones con distintos modelos no es grande, excepto para la evaporación diaria. 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: Anomalía de la temperatura media diaria para todos los modelos y escenarios analizados.

Escenario A2

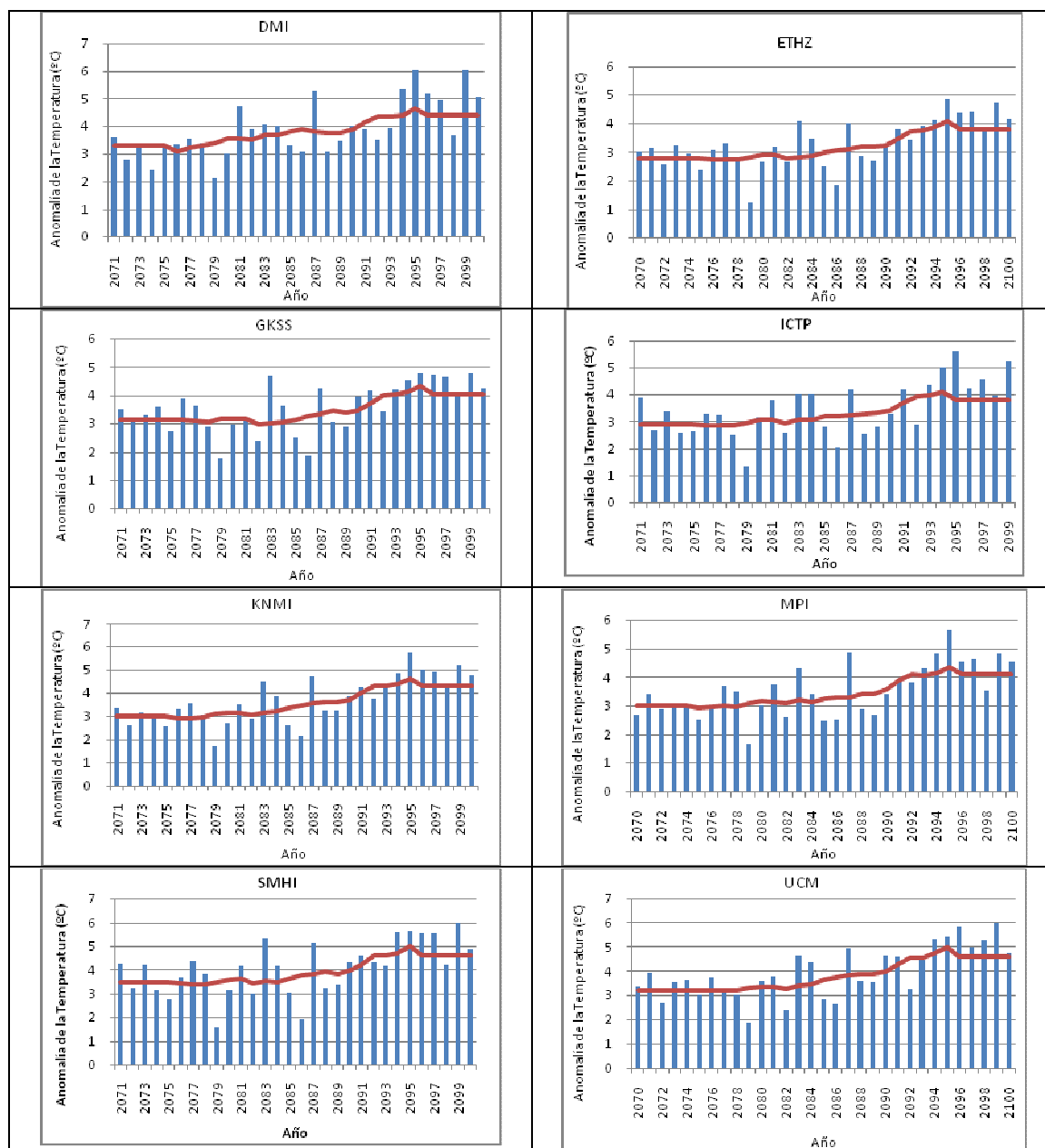


Figura 17. Variación anual de la temperatura media diaria para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Escenario B2

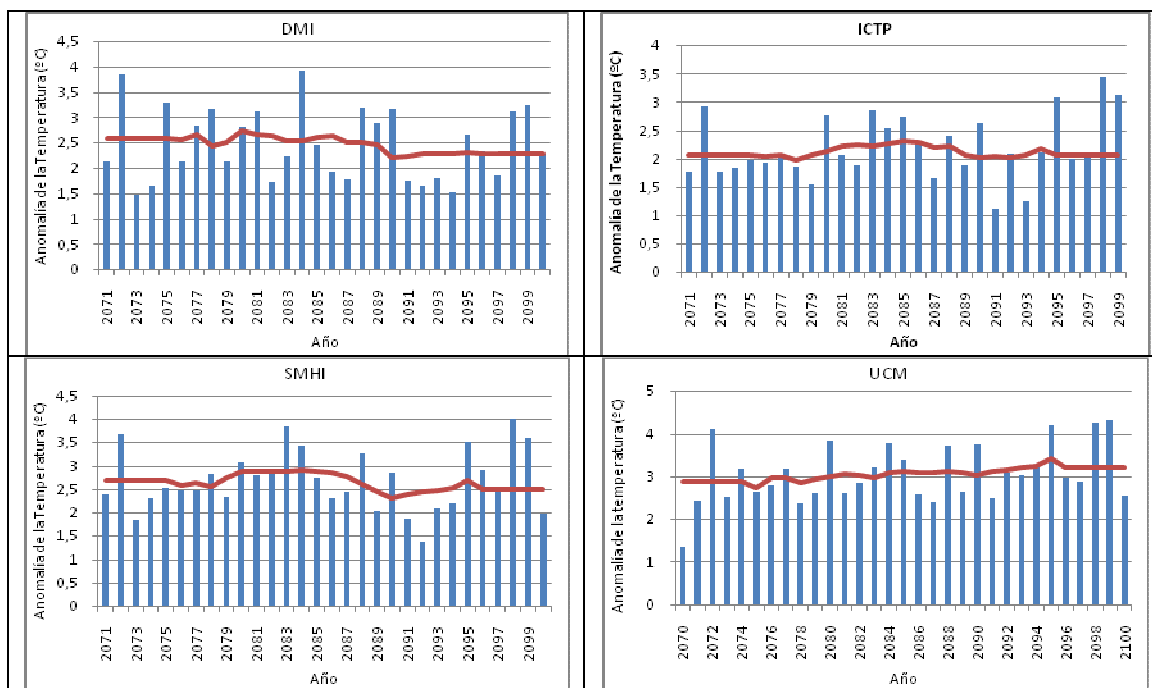


Figura 18. Variación anual de la temperatura media diaria para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones B2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

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

Escenario A2

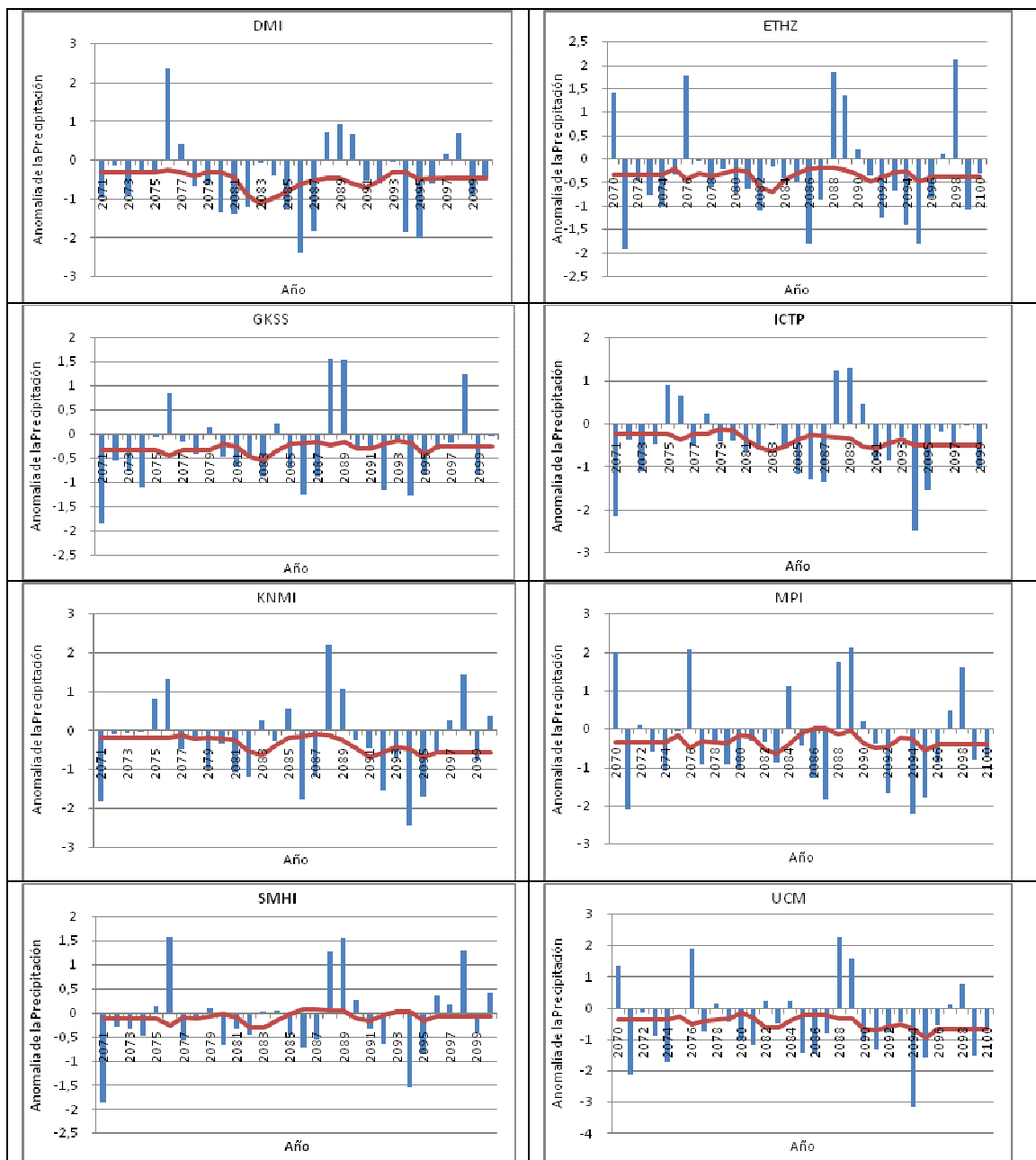


Figura 19. Variación anual de la precipitación anual acumulada para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Escenario B2

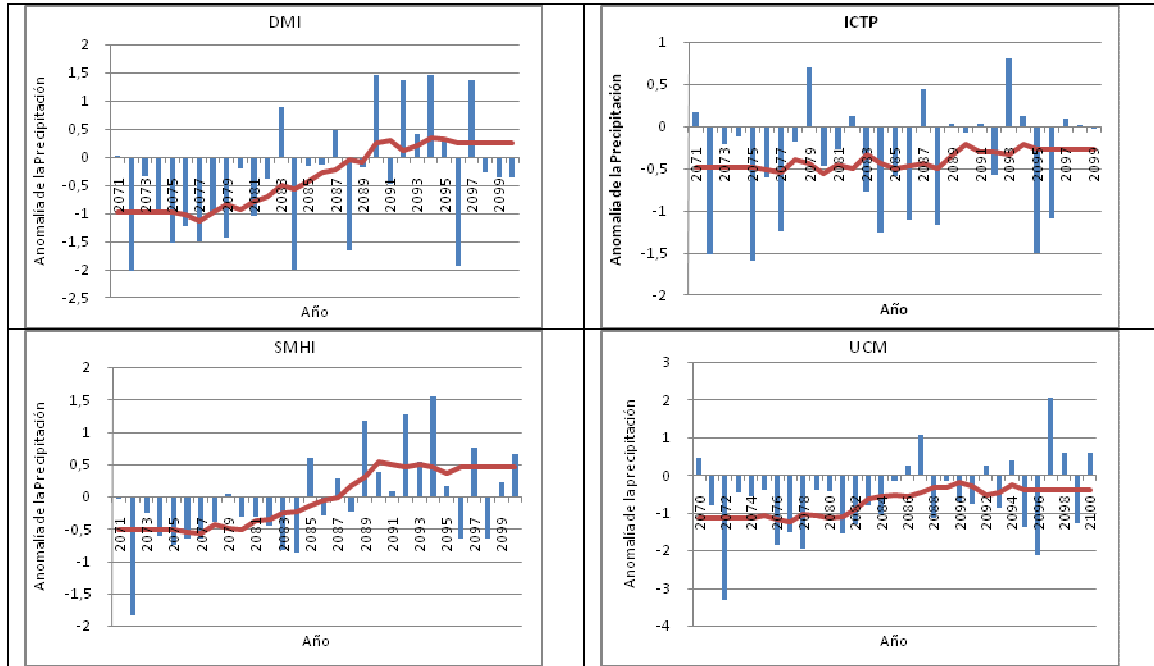


Figura 20. Variación anual de la precipitación anual acumulada para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones B2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

ANEXO IV

Informe sobre impactos en L'Adour - Francia

Procedimiento

En la base de datos del proyecto PRUDENCE, tenemos, entre otros, datos diarios de temperatura media, temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación. Lo que haremos será 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 (L'Adour, Francia).

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.

16) 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.

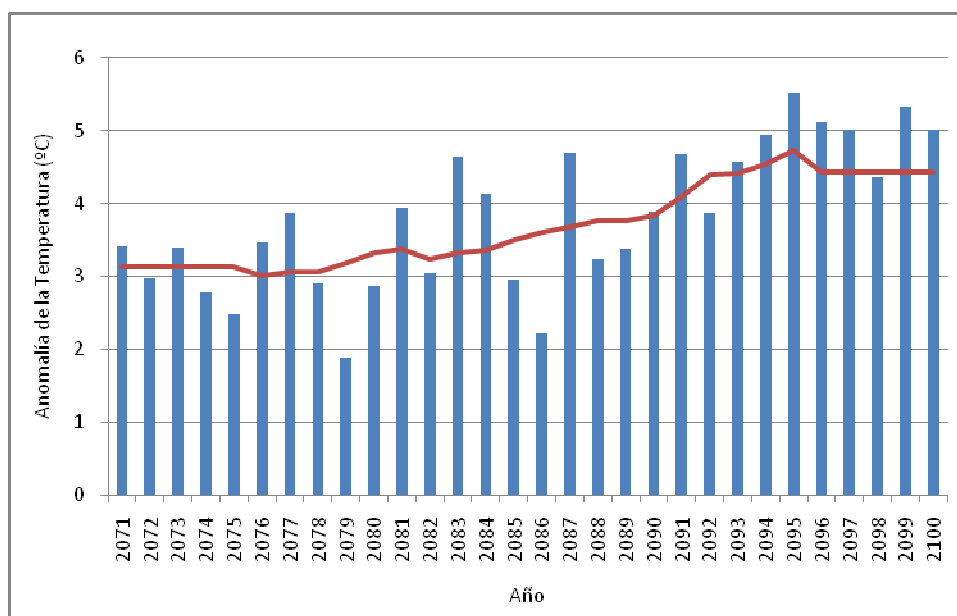


Figura 2. Variación anual de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del periodo 1961-1990. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

En esta gráfica, así como en las obtenidas con los otros siete modelos, observamos una anomalía positiva de la temperatura para todos los años respecto del periodo de referencia. El aumento de la temperatura media anual oscila entre 2 y 6 °C en todos los modelos (ver Anexo I).

Es de resaltar también que todas las gráficas presentan una pendiente positiva, indicando un aumento de temperatura en promedio del orden de 0.71 °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 verano (entre 1 y 9 °C) y otoño (entre 1.5 y 7 °C). Las pendientes son mayores en primavera y verano.

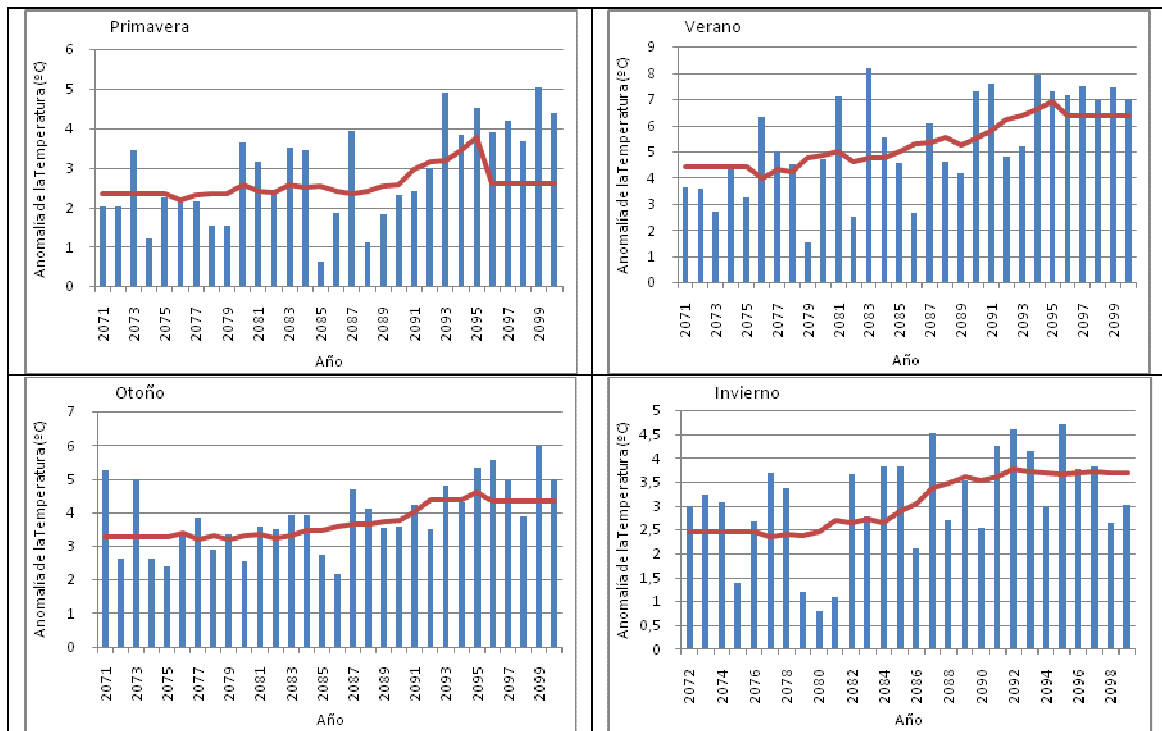


Figura 3. Variación estacional de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del periodo 1961-1990. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

17) 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 bastantes años más lluviosos que en el periodo de referencia.

Para esta variable se observan tendencias significativas a escala anual con los modelos RACMO2 del KNMI, CHRM del ETHZ y CLM del GKSS. En la figura 4 se observan los resultados obtenidos con el modelo RACMO2:

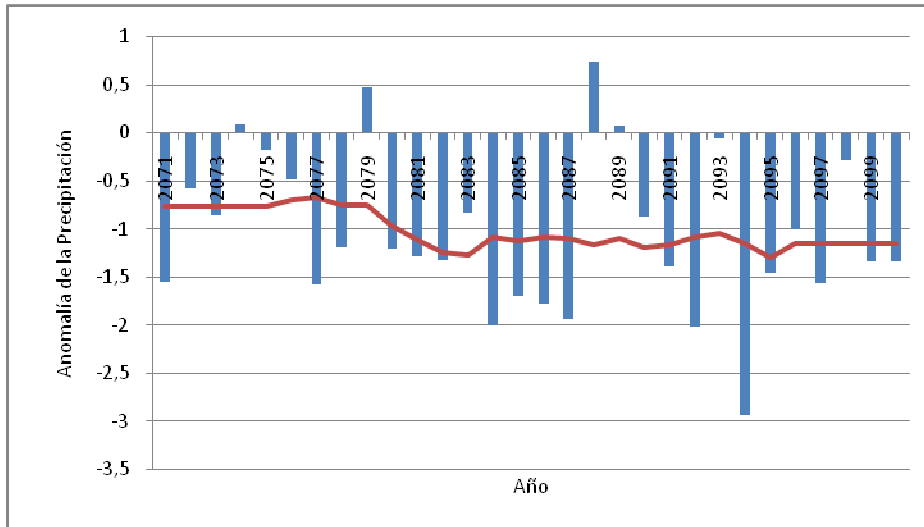


Figura 4. Variación anual de la anomalía de la precipitación total respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Estacionalmente observamos una mayor disminución de la precipitación en verano y en invierno un pequeño aumento del número de años con anomalías positivas (es decir, un aumento de la precipitación respecto de la del periodo de referencia).

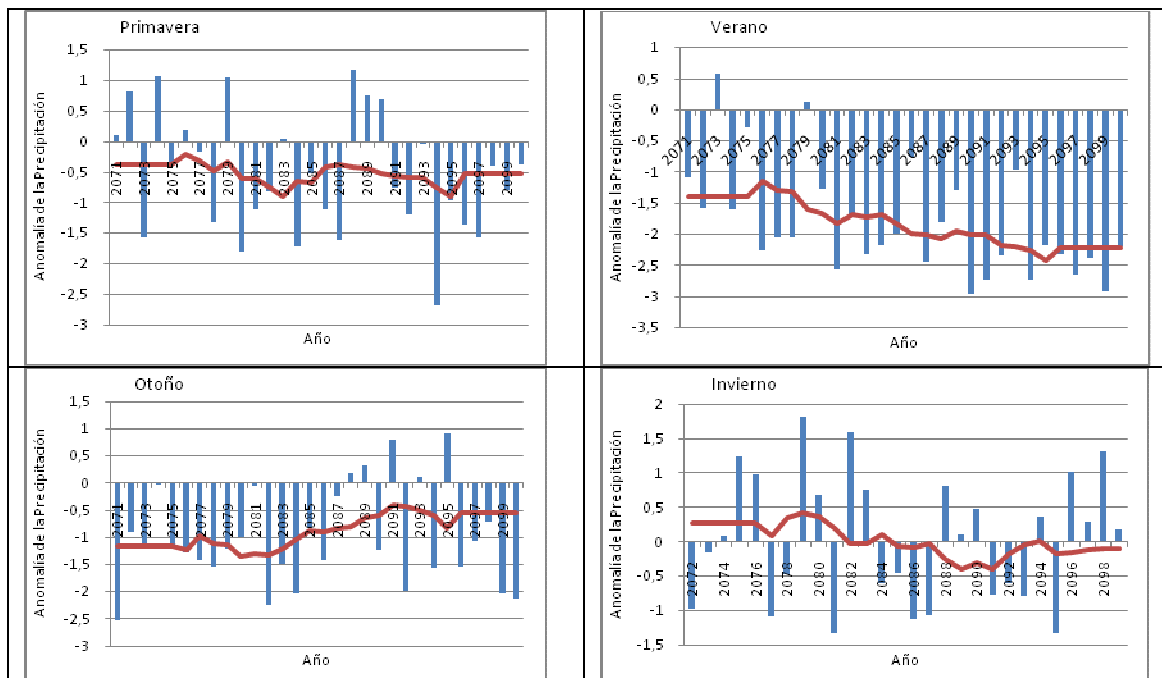


Figura 5. Variación estacional de la anomalía de la precipitación total respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

18) 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 90 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 y verano y sólo en invierno se observa un aumento generalizado de la frecuencia de días de lluvia con respecto al periodo de referencia.

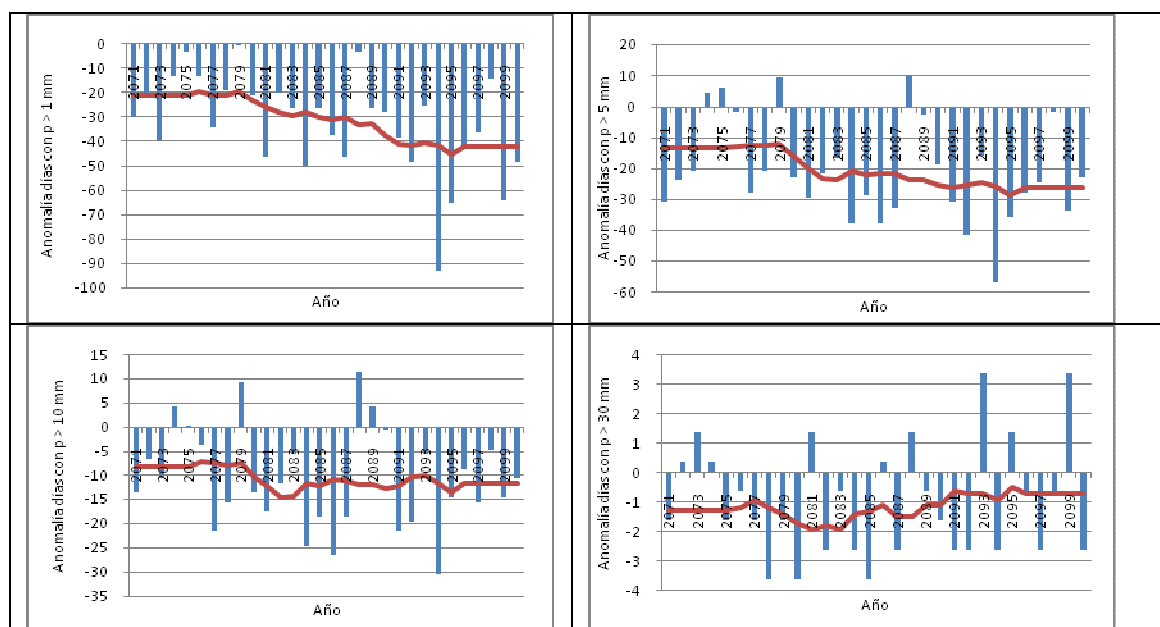


Figura 6. Variación interanual de la anomalía de los días con precipitación mayor que 1, 5, 10 y 30 mm respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

19) 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 claro 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).

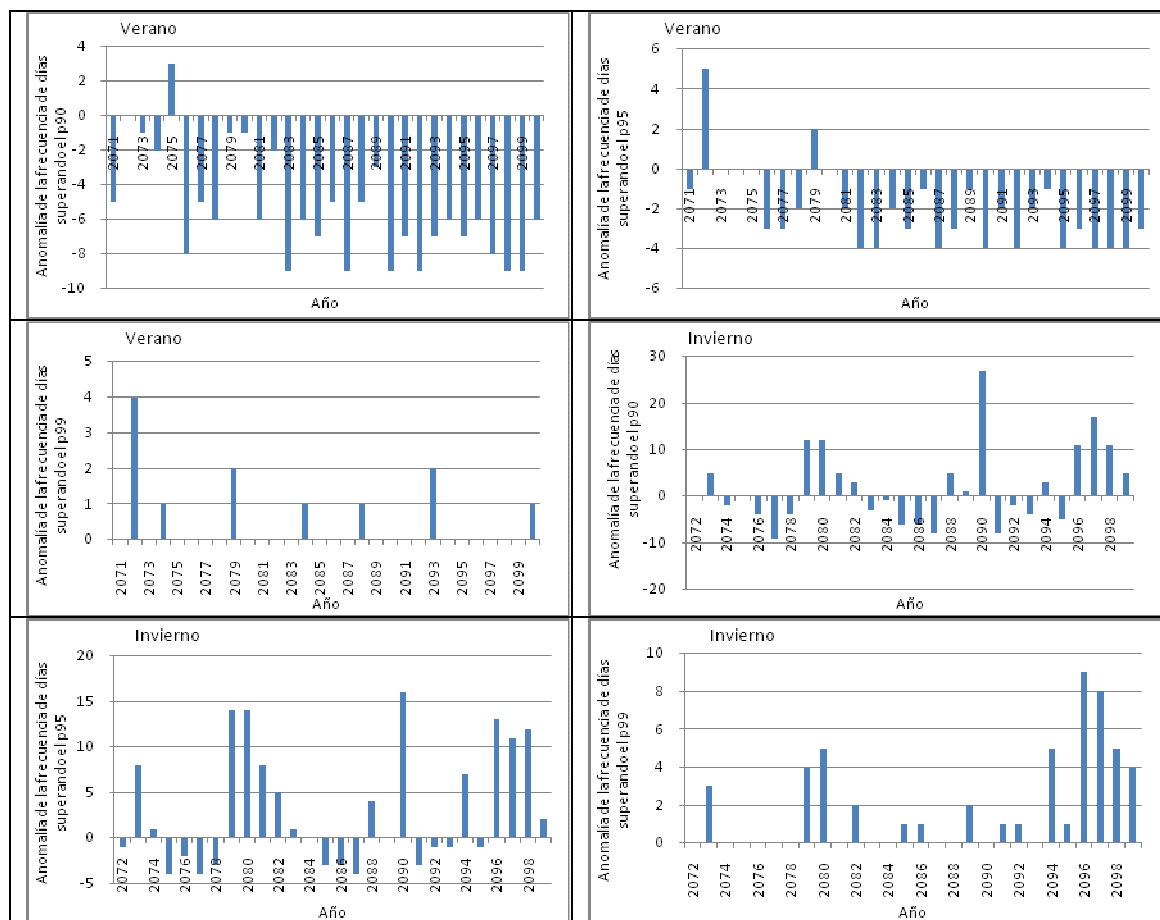


Figura 7. Variación estacional (verano e invierno) de la anomalía de los días con precipitación mayor que los percentiles p90, p95 y p99.

20) 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 80 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.

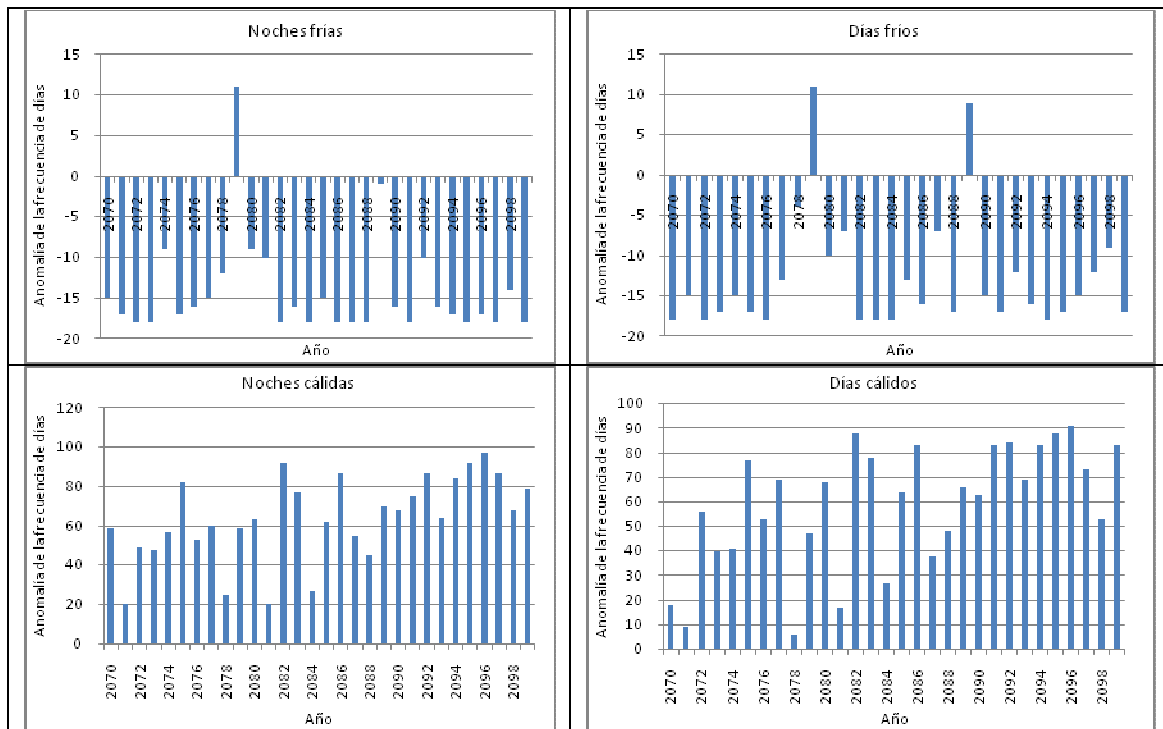


Figura 8. Variación interanual de la anomalía de los días y noches cálidas y frías respecto al periodo de referencia.

Sobre la significación de los resultados obtenidos en el análisis de temperaturas extremas, es de destacar que sólo aparecen tendencias muy significativas para la anomalía de noches y días cálidos con el modelo RACMO2 del KNMI y el RAO del SMHI y significativas para el modelo HIRHAM del DMI.

Escenario B2

Como ya mencionamos en la introducción, para este escenario sólo existen datos publicados 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.

25) Análisis de la temperatura

Todos los modelos prevén, a escala anual, un aumento de la temperatura de entre 1 y 4 °C (menor aumento que en el escenario A2).

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 1 °C respecto a la temperatura diaria media del periodo de referencia).

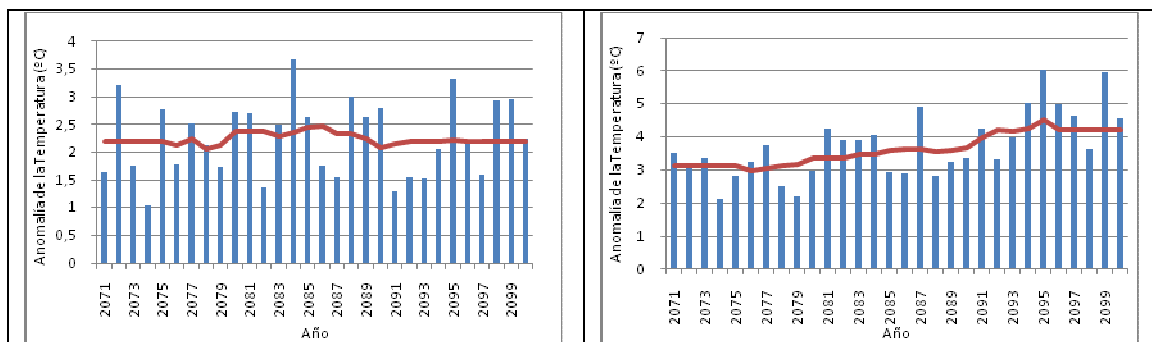


Figura 9. Variación anual de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

26) 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.

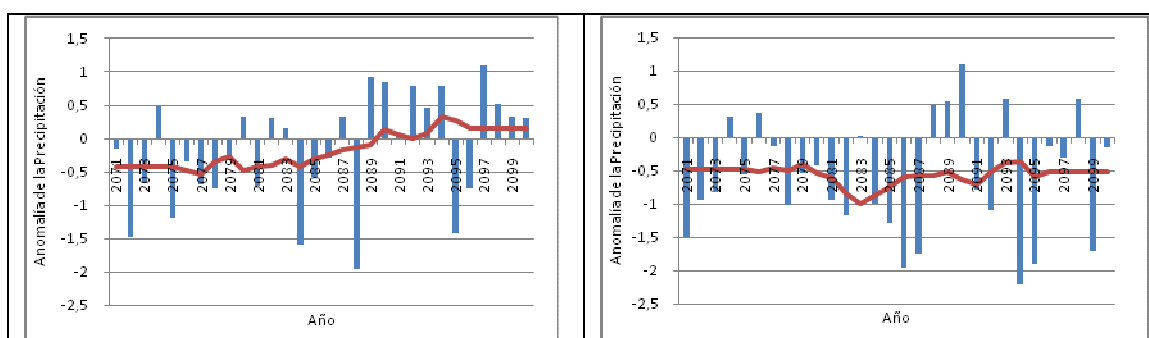


Figura 10. Variación anual de la precipitación total respecto al período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

27) Análisis de la frecuencia de días de lluvia

Observamos una reducción de la frecuencia de días de lluvia ligeramente menor que la esperada según el escenario A2. Por otra parte, se prevé un aumento de los fenómenos de lluvia muy intensa (mayor que 30 mm por día) respecto del período de referencia, aunque también inferior al previsto en 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.

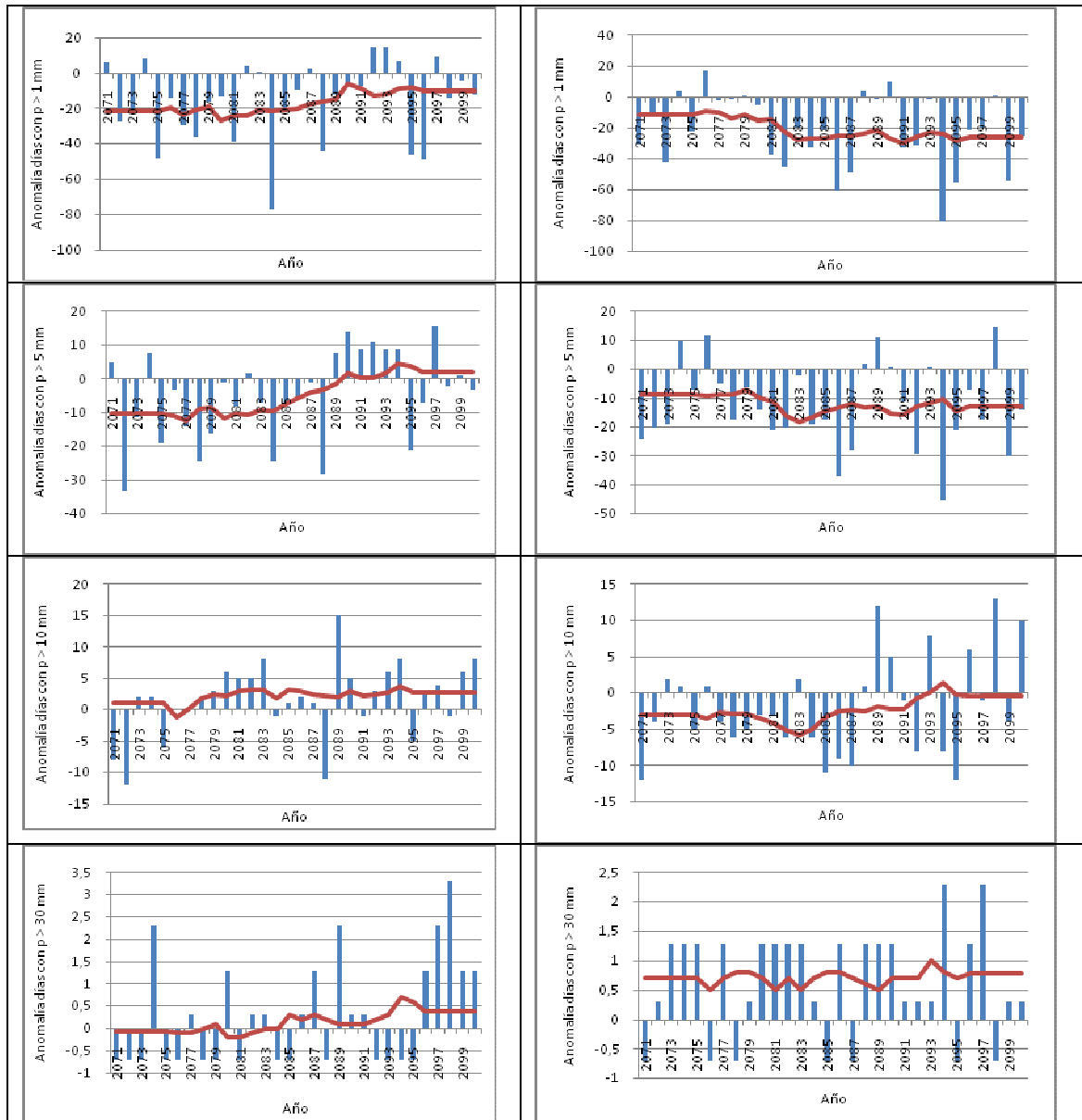


Figura 11. Variación anual de la anomalía en el número de días con precipitación mayor que 1, 5, 10 y 30 mm. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

28) 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 positivas (aumento respecto al período de referencia), siendo éstas menos extremas que las previstas por el escenario A2.

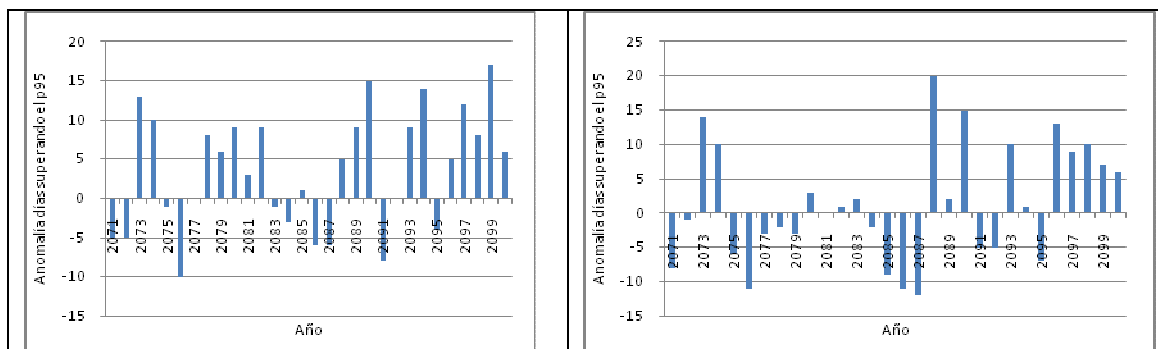
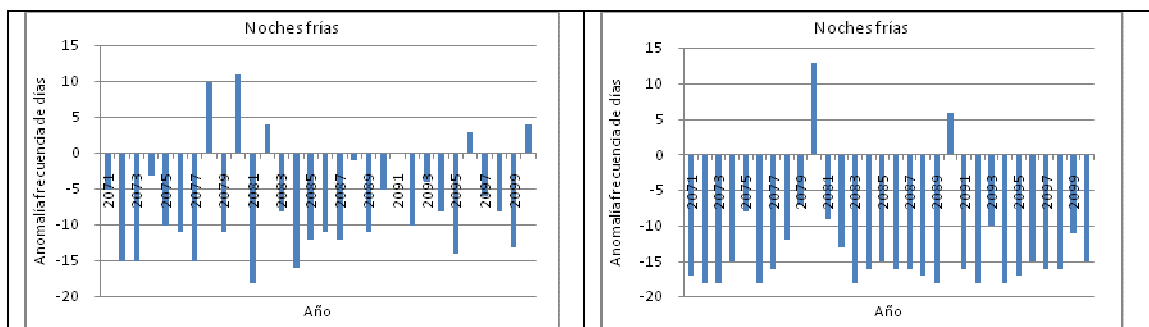


Figura 12. Variación anual de la anomalía en el número de días con precipitación mayor que el percentil 95. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2.

29) 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, apareciendo más años con anomalías positivas para el número de días y noches fríos.



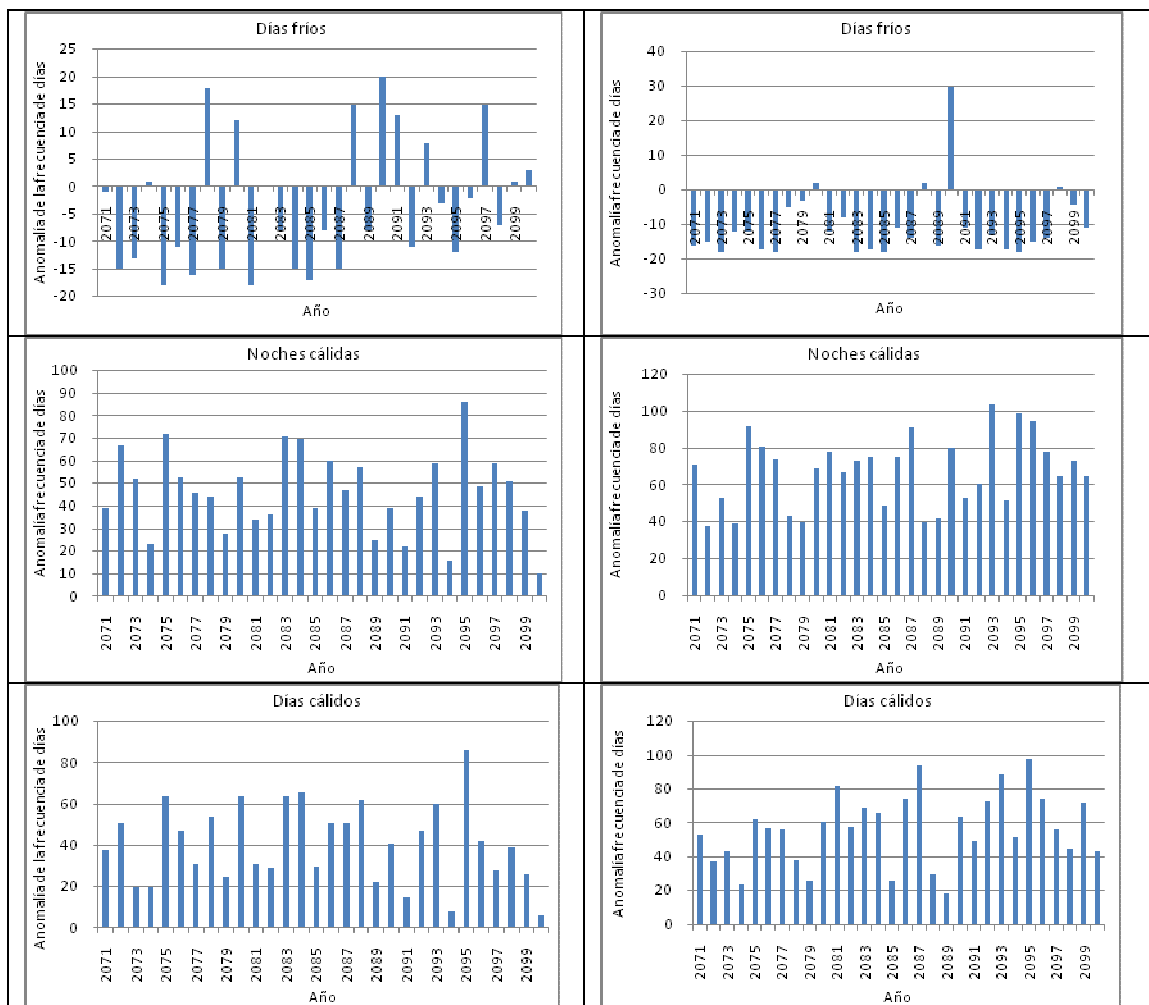


Figura 13. Variación anual de la anomalía de los días y noches cálidas y frías respecto al período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2.

30) Evaporación

A escala anual se observa una disminución de la evaporación respecto a la media del período de referencia en todos los modelos menos el modelo PROMES de la UCM, que prevé un aumento generalizado de la evaporación diaria (0.14 mm más en promedio para el escenario A2 y 0.09 mm para el escenario B2). Señalar también que para esta variable, los modelos que predicen una disminución de la evaporación difieren al estimar la magnitud de esta disminución. La única tendencia significativa se obtiene para el modelo HIRHAM del DMI, que prevé una disminución media de 0.17 mm por día para el escenario A2 y de 0.08 mm por día para el B2 (ver figura 14).

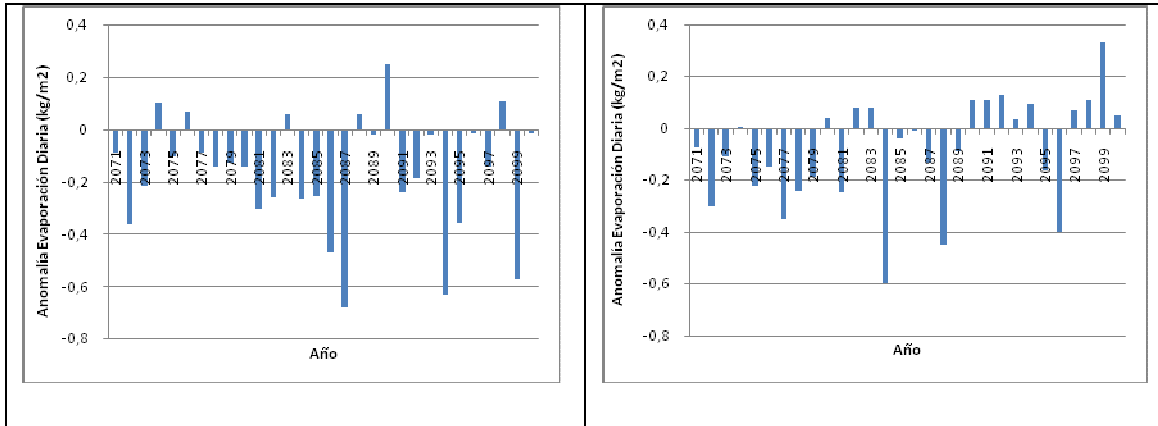


Figura 14. Variación anual de la evaporación diaria total predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

Estacionalmente, en otoño el comportamiento es muy semejante al de la escala anual, mientras que en invierno y, sobre todo, en primavera predominan los años con anomalías positivas (mayor evaporación que en el periodo de referencia). En verano la disminución de la evaporación es mucho mayor que a escala anual (llegándose a alcanzar reducciones de más de 1 mm por día en ambos escenarios en la mayoría de los modelos).

31) Viento a 10 m

A escala anual los modelos del DMI y del SMHI prevén un ligerísimo aumento de la velocidad del viento para el escenario A2 y un aumento un poco mayor para el escenario B2. Por su parte, el modelo PROMES de la UCM prevé exactamente lo contrario: una ligerísima disminución de la velocidad del viento para el escenario A2 y una disminución un poco menor para el escenario B2.

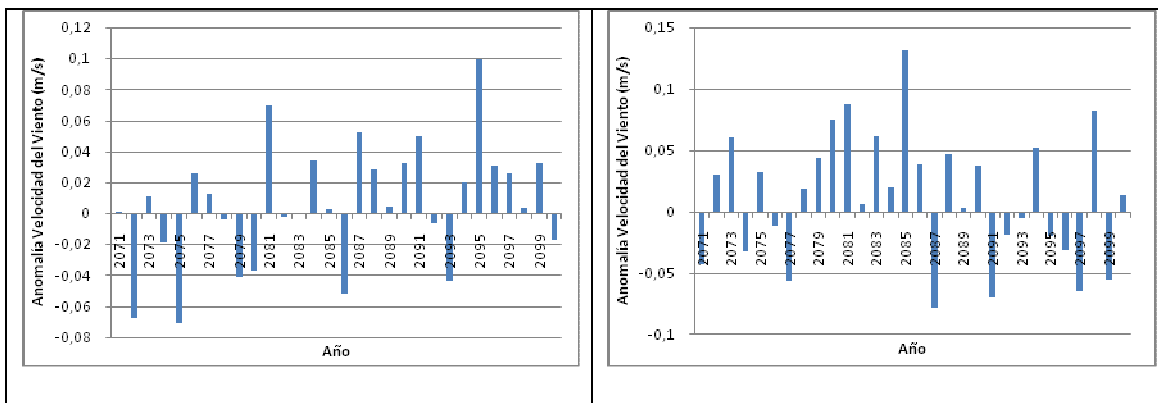


Figura 15. Variación anual de la velocidad diaria media del viento predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

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 y primavera se observa un predominio de anomalías positivas (aumento de la velocidad del viento) también mayores que las observadas a escala anual.

32) 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 35 W/m² diarios en el escenario A2 y 30 W/m² en el escenario B2).

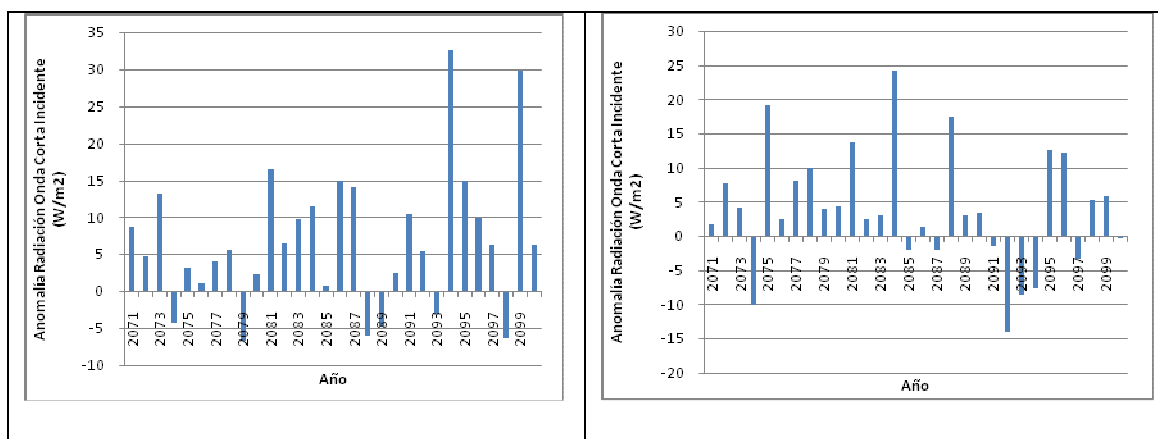


Figura 16. Variación anual de la radiación de onda corta media diaria predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

Estacionalmente, en primavera y verano el aumento es bastante mayor que en las demás estaciones y sólo en invierno se observa un predominio de años con anomalías negativas (reducción de la radiación).

Conclusión

Hemos realizado una estimación de la magnitud del cambio climático en la región de L'Adour (Francia), 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 entre 2 y 6 °C en el escenario A2 y entre 1 y 4 °C en el escenario B2.
- Disminución generalizada de la precipitación anual de hasta 455 mm para el escenario A2 y 400 mm para el escenario B2. No obstante se observan años con precipitación anual hasta 180 mm por encima de la del período de referencia para el escenario A2 y de hasta 250 mm para el B2. Disminución también de la precipitación a escala estacional, excepto en invierno.
- Disminución de la frecuencia de días de lluvia. Aumento de los días de lluvia superando el percentil 99 de la precipitación diaria del periodo de referencia (días de lluvia muy intensa).
- Aumento del número de días y noches cálidas (aproximadamente 60 más por año para el escenario A2 y 45 más para el B2) y muy ligera disminución del número de días y noches frías.
- Respecto a la evaporación diaria total y a la velocidad del viento a 10 m, los modelos difieren bastante a la hora de estimar las tendencias y magnitudes de estas variables a escala anual. Estacionalmente se observa una disminución de la evaporación en verano y un aumento en primavera e invierno, mientras que para la velocidad del viento se prevé una disminución en otoño y un aumento en verano y primavera.
- Aumento de la radiación de onda corta incidente sobre la superficie. En primavera y verano el aumento es especialmente mayor, mientras que en invierno se produce una disminución de esta variable en la mayoría de los años del periodo estudiado.

Señalamos además que la diferencia entre simulaciones con distintos modelos no es grande, excepto para la evaporación diaria y la velocidad del viento a 10 m. 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: Anomalía de la temperatura media diaria para todos los modelos y escenarios analizados.

Escenario A2

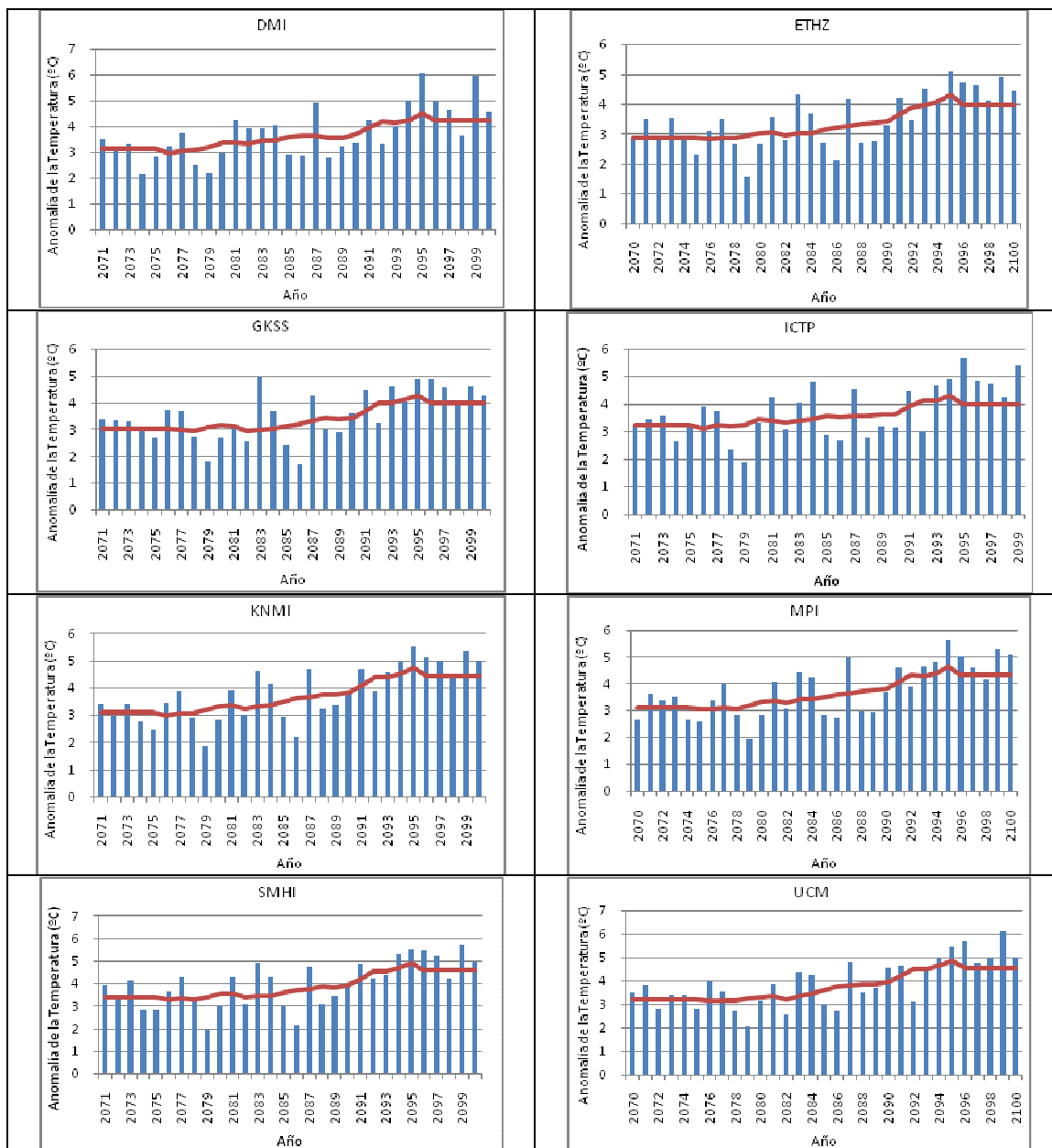


Figura 17. Variación anual de la temperatura media diaria para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Escenario B2

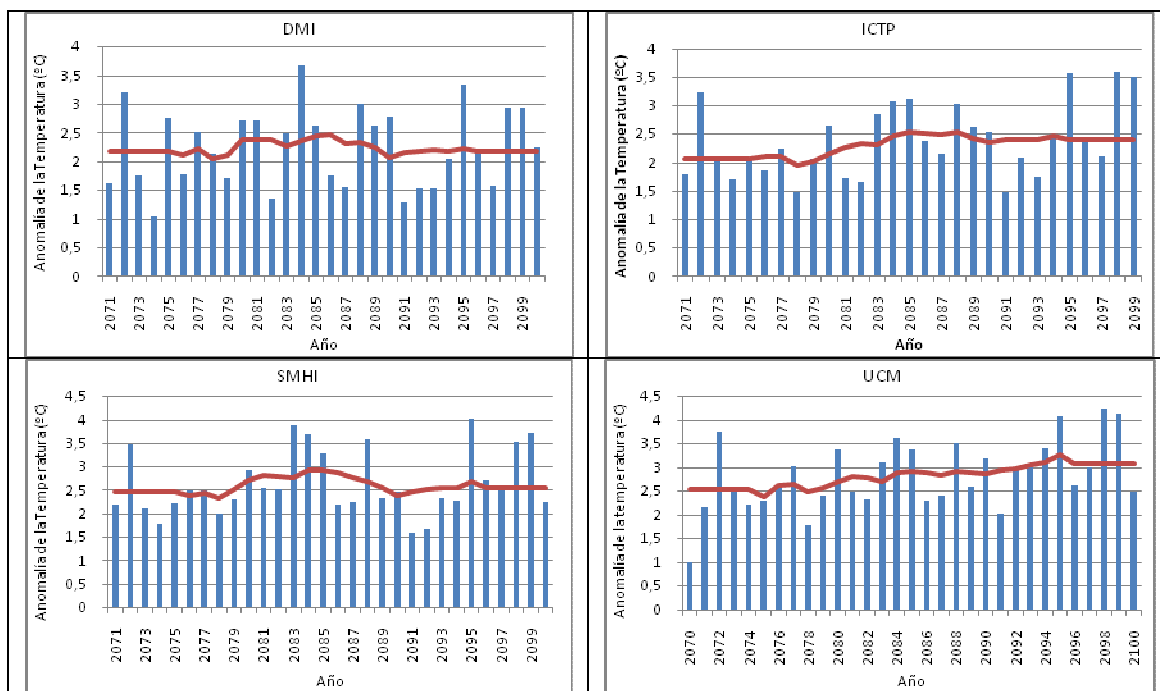


Figura 18. Variación anual de la temperatura media diaria para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones B2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

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

Escenario A2

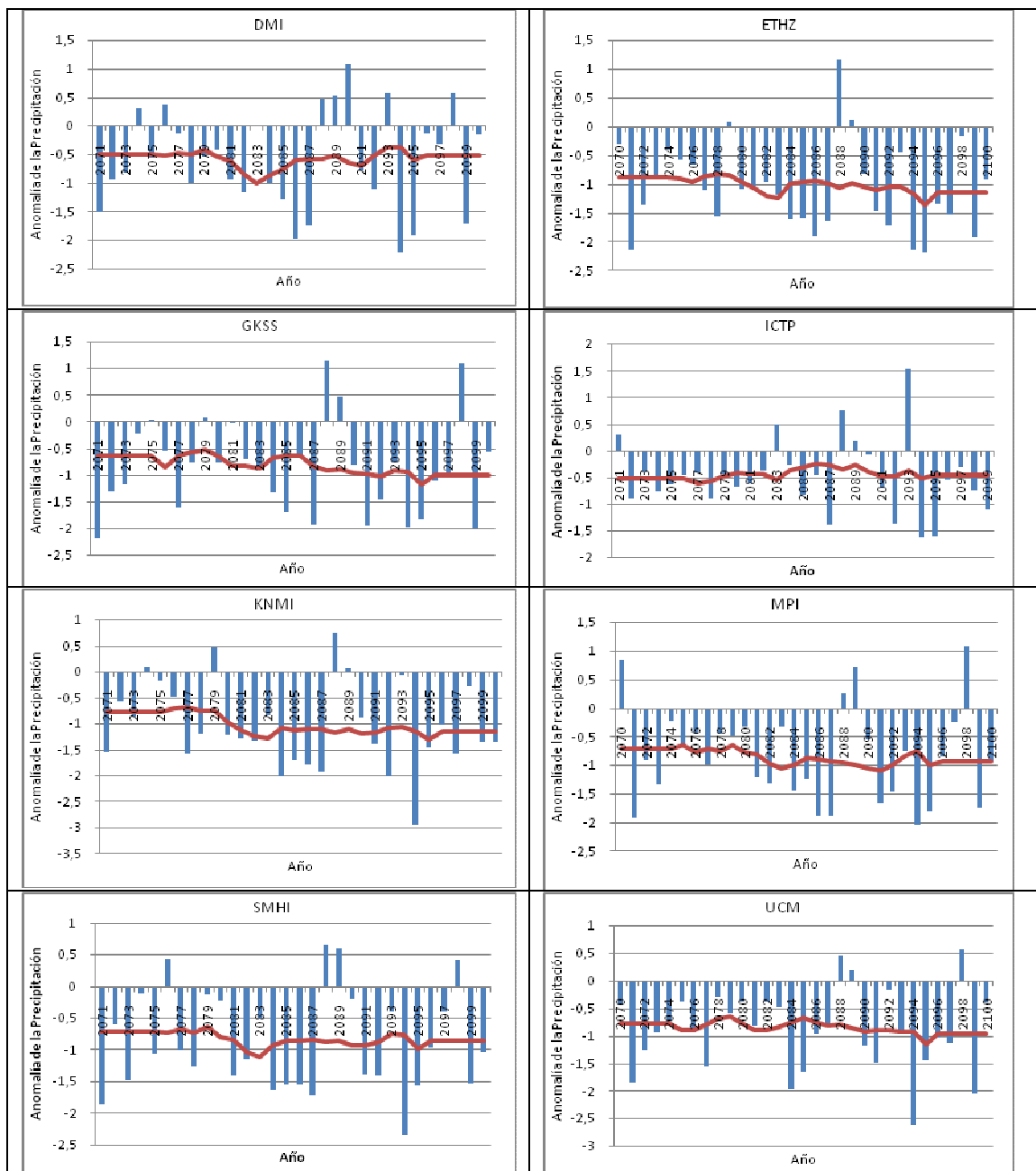


Figura 19. Variación anual de la precipitación anual acumulada para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Escenario B2

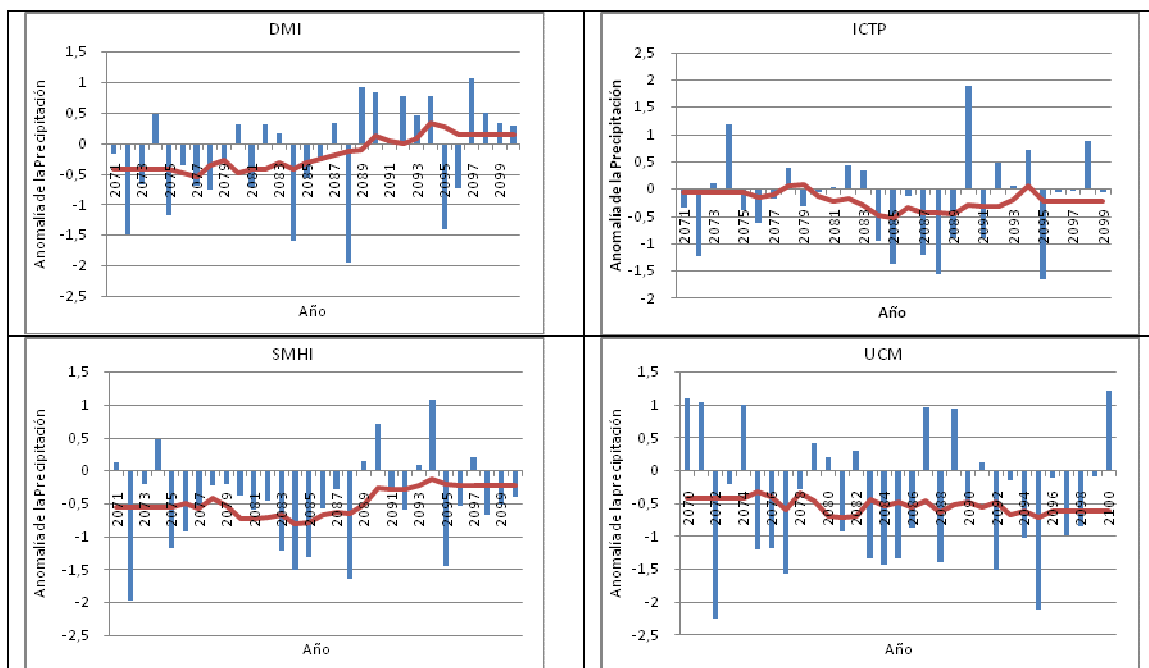


Figura 20. Variación anual de la precipitación anual acumulada para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones B2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

ANEXO V

Informe sobre impactos en las marismas de Santoña, Victoria y Joyel – Cantabria

Procedimiento

En la base de datos del proyecto PRUDENCE, tenemos, entre otros, datos diarios de temperatura media, temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación. Lo que haremos será 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 (marismas de Santoña, Victoria y Joyel, en Cantabria).

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 vamos a muestran las gráficas de resultados obtenidas con el modelo RACMO2 del KNMI, pues éste es para el que se obtienenenemos 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.

21) 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.

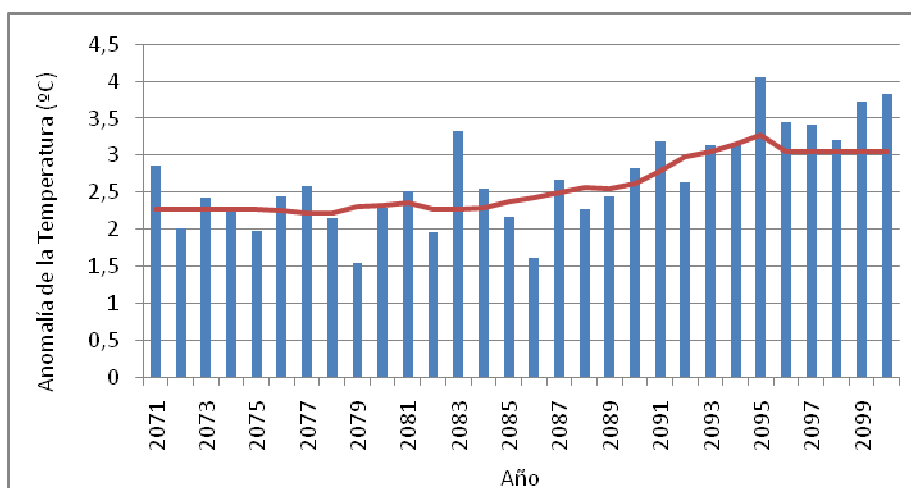


Figura 2. Variación anual de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del periodo 1961-1990. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

En esta gráfica, así como en las obtenidas con los otros siete modelos, observamos una anomalía positiva de la temperatura para todos los años respecto del periodo de referencia. El aumento de la temperatura media anual oscila entre 1 y 4 °C en todos los modelos, excepto en el RegCM del ICTP, que predice un aumento mayor (entre 2 y 6 °C).

Es de resaltar también que todas las gráficas presentan una pendiente positiva, indicando un aumento de temperatura en promedio del orden de 0.47 °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 verano (entre 1 y 5 °C; entre 1 y 8 °C según el modelo RegCM del ICTP) y otoño (entre 1.5 y 4.5 °C; entre 1.75 y 6.5 °C según el modelo RegCM del ICTP).

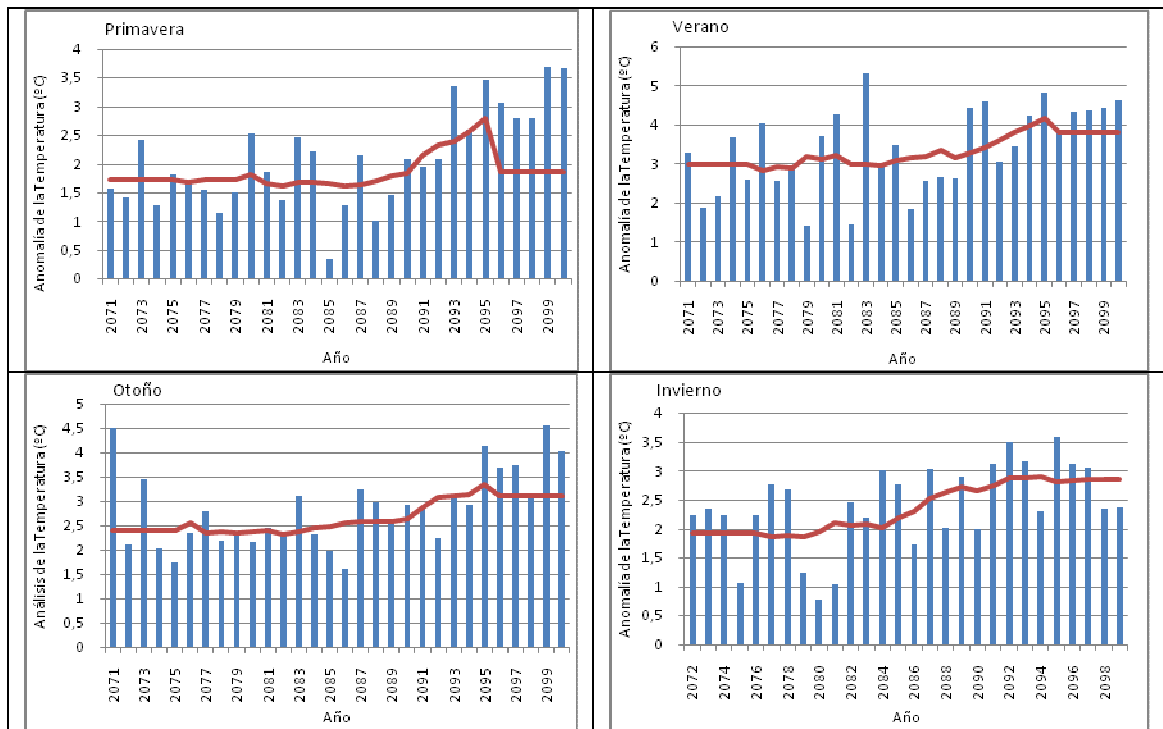


Figura 3. Variación estacional de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del periodo 1961-1990. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

22) 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.

Para esta variable no se observan tendencias significativas a escala anual con ninguno de los modelos analizados. En la figura 4 se observan los resultados obtenidos con el modelo RACMO2:

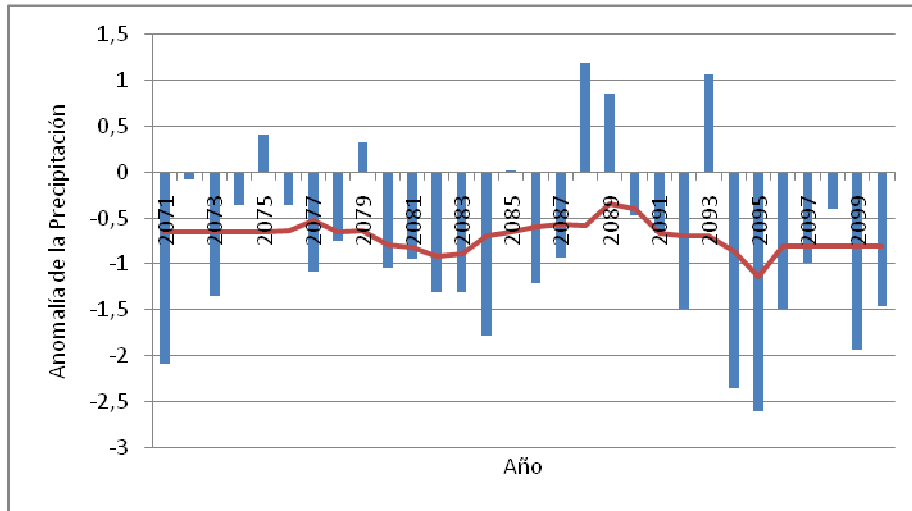


Figura 4. Variación anual de la anomalía de la precipitación total respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Estacionalmente observamos un comportamiento muy parecido al de la escala anual (figura 5), excepto en invierno, estación para la que casi todos los modelos predicen un pequeño aumento del número de años anomalías positivas (es decir, un aumento de la precipitación respecto de la del periodo de referencia).

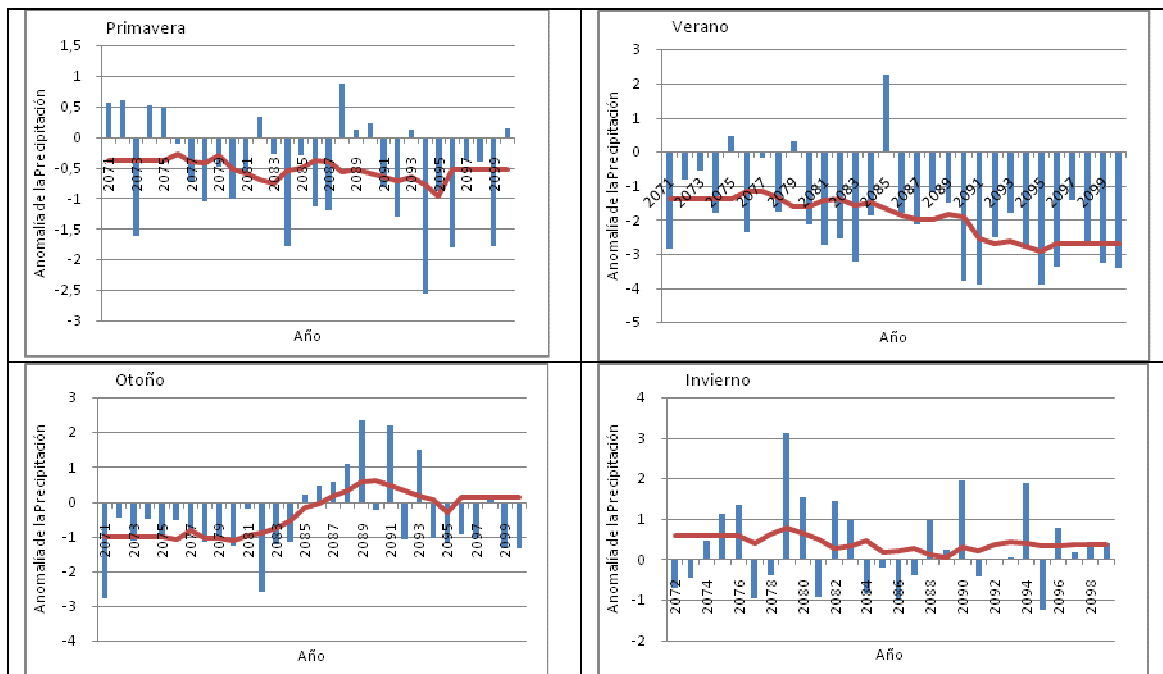


Figura 5. Variación estacional de la anomalía de la precipitación total respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

23) 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 60 días de precipitación por año), apareciendo más anomalías positivas para los umbrales de precipitación diaria más extrema (figura 6). Según el test Tau-b las tendencias no son significativas para ningún modelo.

Estacionalmente, los resultados son muy similares a los obtenidos a escala anual (figura 6). Sólo en invierno se observa en casi todos modelos un aumento de la frecuencia de días de lluvia con respecto al periodo de referencia.

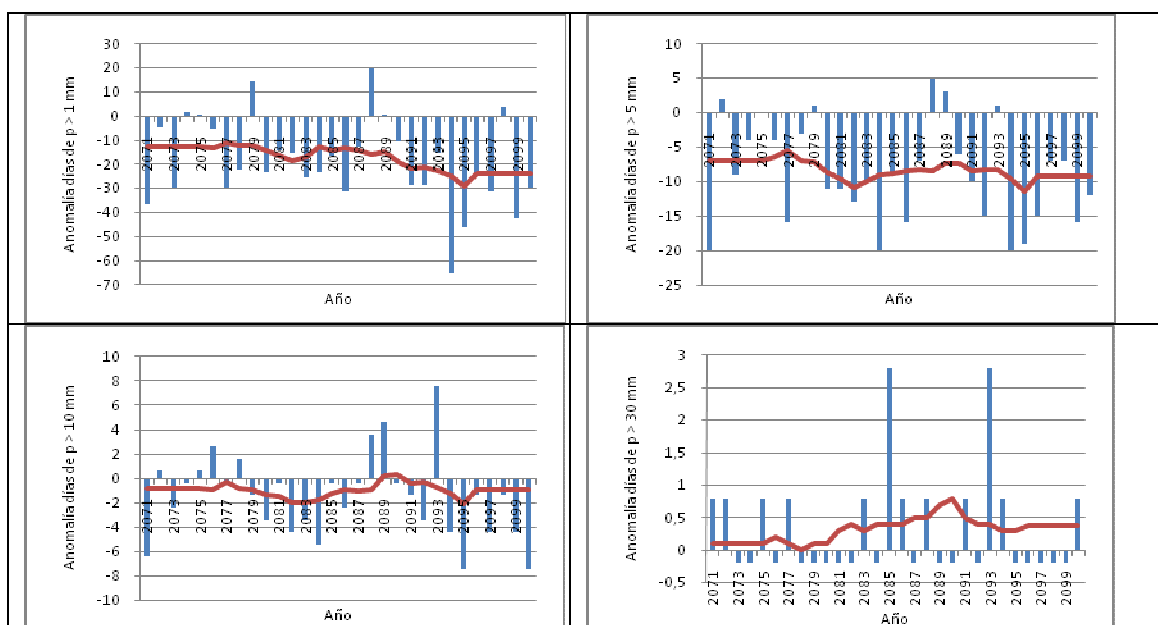


Figura 6. Variación interanual de la anomalía de los días con precipitación mayor que 1, 5, 10 y 30 mm respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

24) 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 claro 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 observan una disminución del número de días superando el p90 y una situación intermedia para el p95 (figura 7).

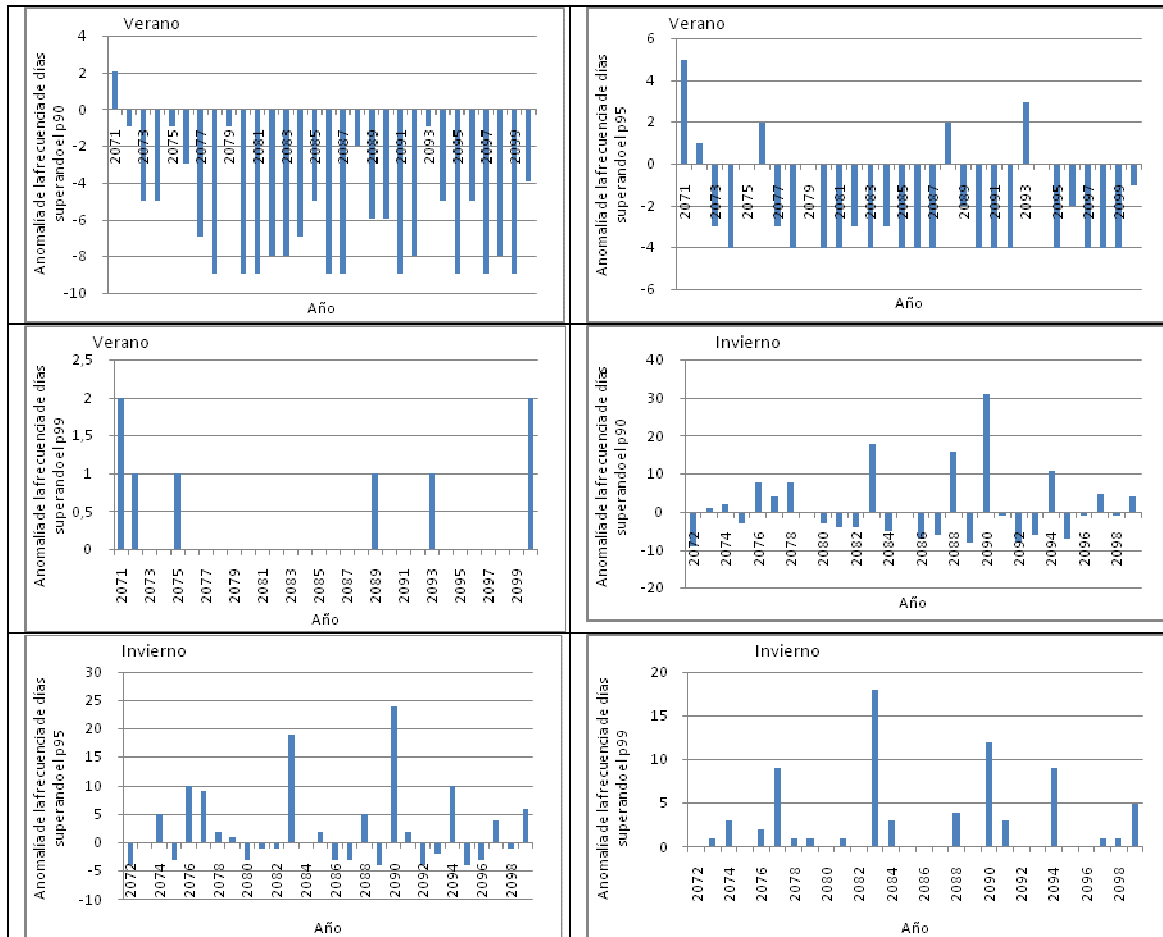


Figura 7. Variación estacional (verano e invierno) de la anomalía de los días con precipitación mayor que los percentiles p90, p95 y p99.

25) 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 120 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 y menor en invierno), con lo cual sólo mostramos los gráficos a escala anual.

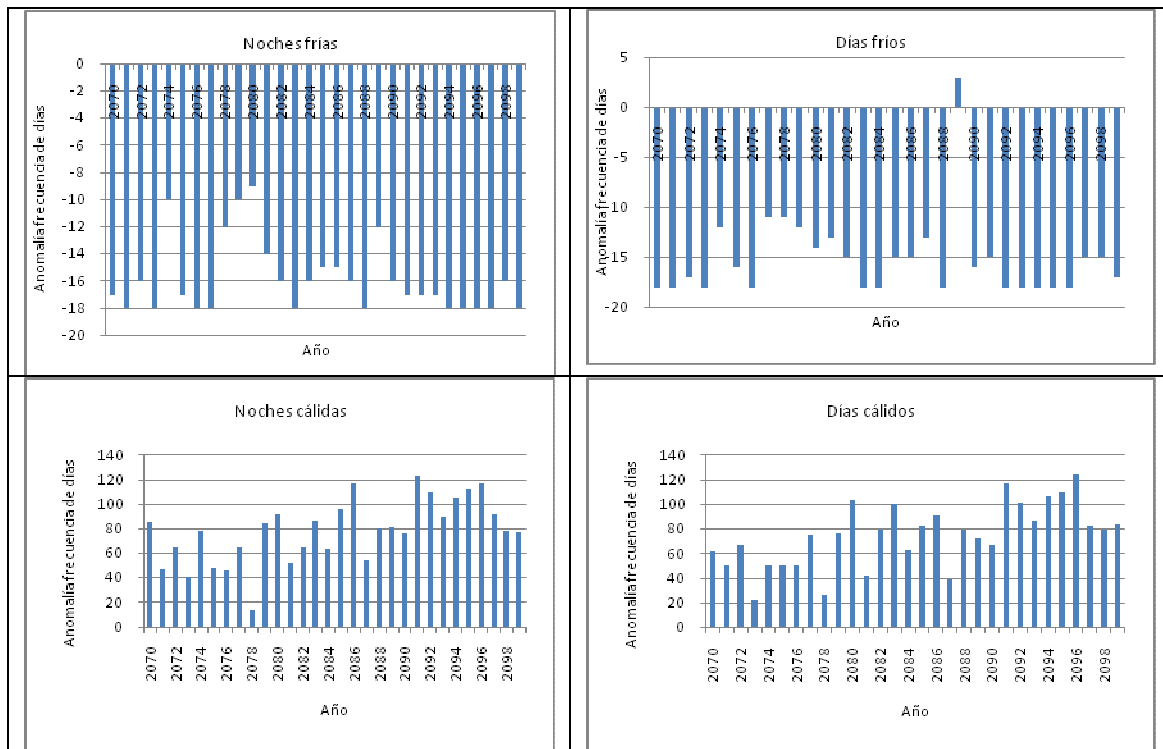


Figura 8. Variación interanual de la anomalía de los días y noches cálidas y frías respecto al periodo de referencia.

Sobre la significación de los resultados obtenidos en el análisis de temperaturas extremas, es de destacar que sólo aparecen tendencias significativas para la anomalía de noches y días cálidos con el modelo RACMO2 del KNMI.

Escenario B2

Como ya mencionamos en la introducción, para este escenario sólo existen datos publicados 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.

33) Análisis de la temperatura

Todos los modelos prevén, a escala anual, un aumento de la temperatura de entre 0.5 y 2.5 °C (menor aumento que en el escenario A2), excepto el modelo RegCM del ICTP que prevé un aumento algo mayor que los demás (entre 1.25 y 3.65 °C).

Estacionalmente, también se prevén aumentos de temperatura menores que en el escenario A2 en todas las estaciones, llegándose a observar algún año con anomalías negativas en primavera e invierno (disminuciones de hasta 0.5 °C respecto a la temperatura diaria media del periodo de referencia).

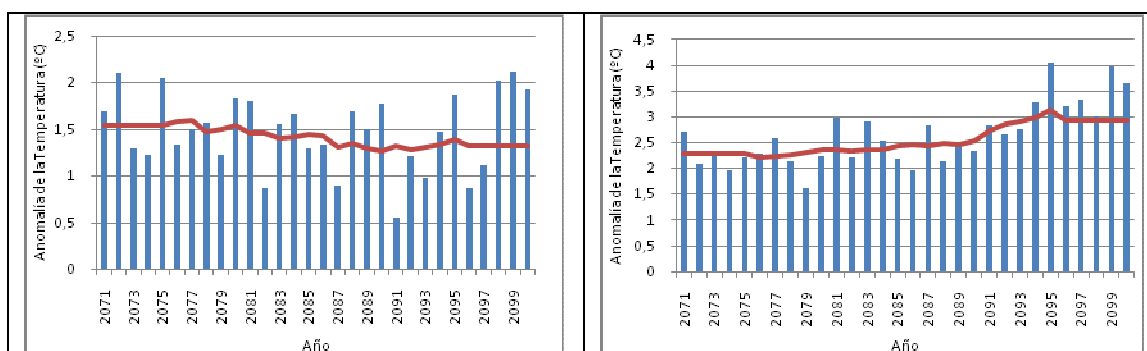


Figura 9. Variación anual de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

34) 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 más positivas. Estacionalmente el comportamiento es análogo al del escenario A2 aunque más conservador: disminución de la precipitación (más marcada en verano), excepto en invierno, que se observa un ligero aumento.

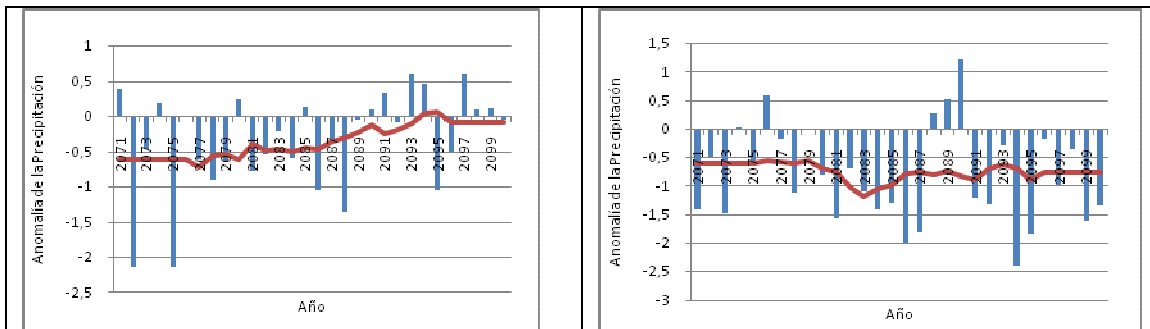


Figura 10. Variación anual de la precipitación total respecto al período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

35) Análisis de la frecuencia de días de lluvia

Observamos una reducción de la frecuencia de días de lluvia ligeramente menor que la esperada según el escenario A2. Se prevé, sin embargo, un aumento de los fenómenos de lluvia muy intensa (mayor que 30 mm por día) respecto del período de referencia. 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.

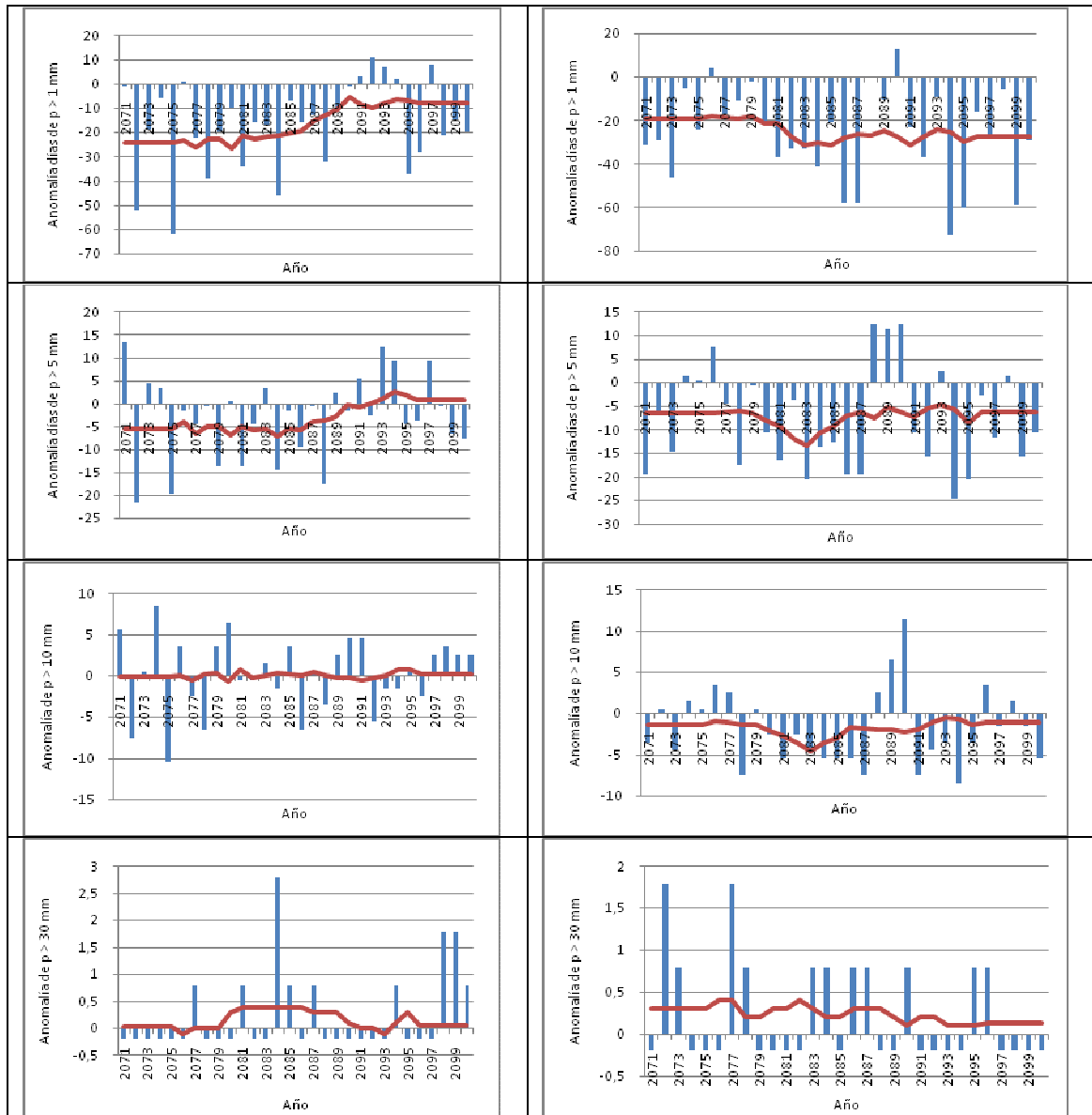


Figura 11. Variación anual de la anomalía en el número de días con precipitación mayor que 1, 5, 10 y 30 mm. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

36) 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 positivas (aumento respecto al período de referencia), siendo éstas menos extremas que las previstas por el escenario A2.

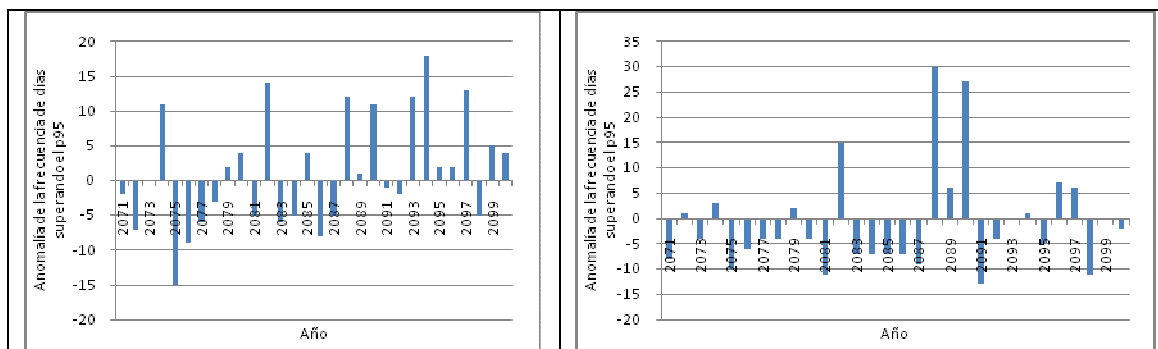
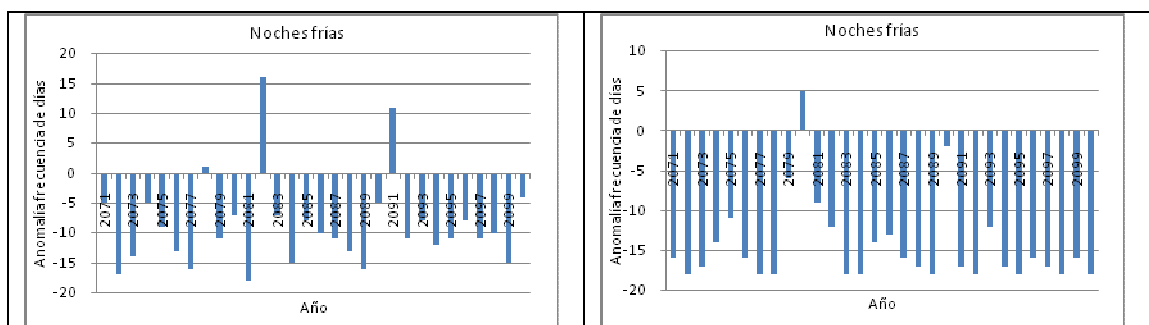


Figura 12. Variación anual de la anomalía en el número de días con precipitación mayor que el percentil 95. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2.

37) 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, apareciendo más años con anomalías positivas para el número de días y noches fríos.



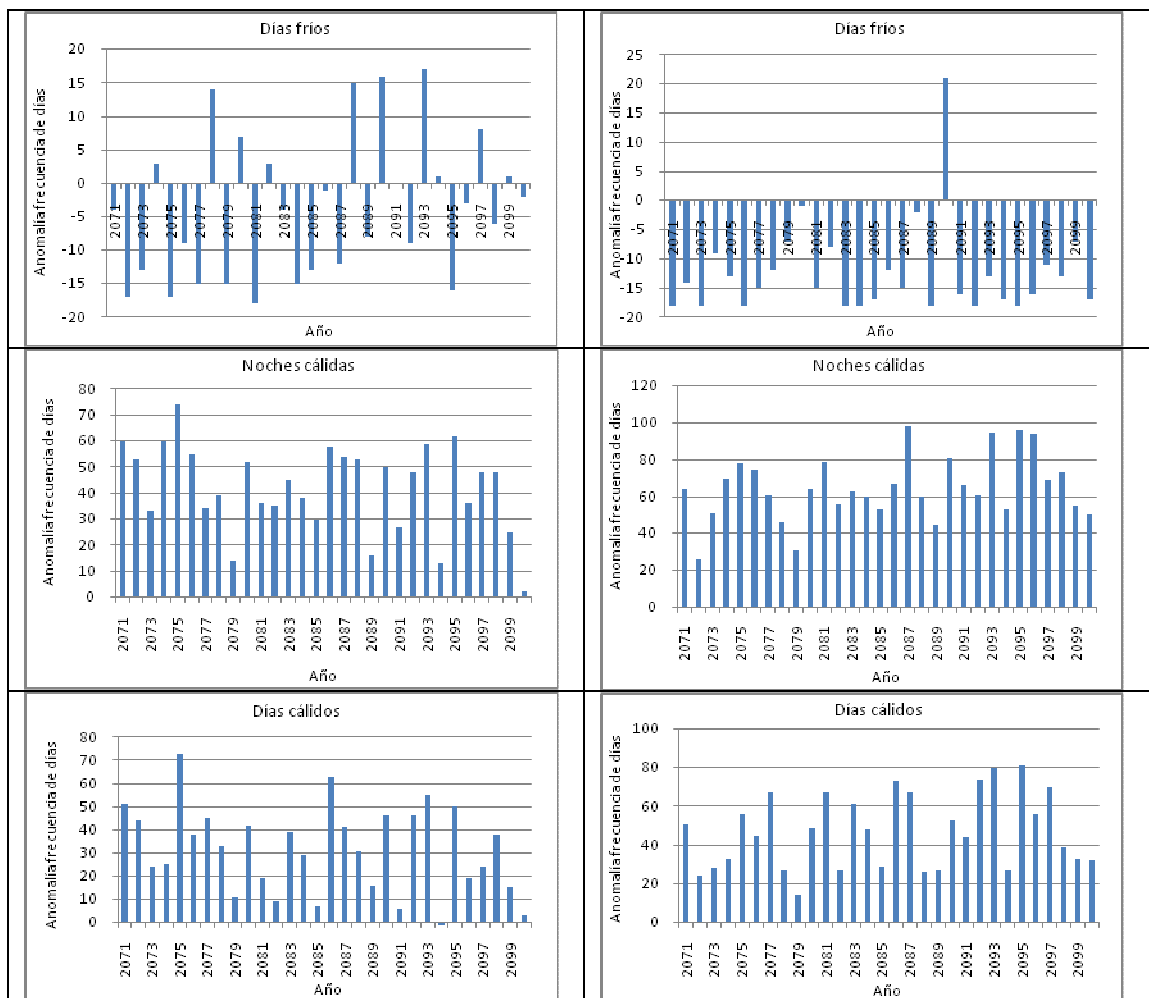


Figura 13. Variación anual de la anomalía de los días y noches cálidas y frías respecto al período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2.

38) Evaporación

A escala anual se observa una disminución de la evaporación respecto a la media del período de referencia en todos los modelos (llegando a reducirse 0.9 mm por día en el escenario A2 y 0.8 mm en el B2).

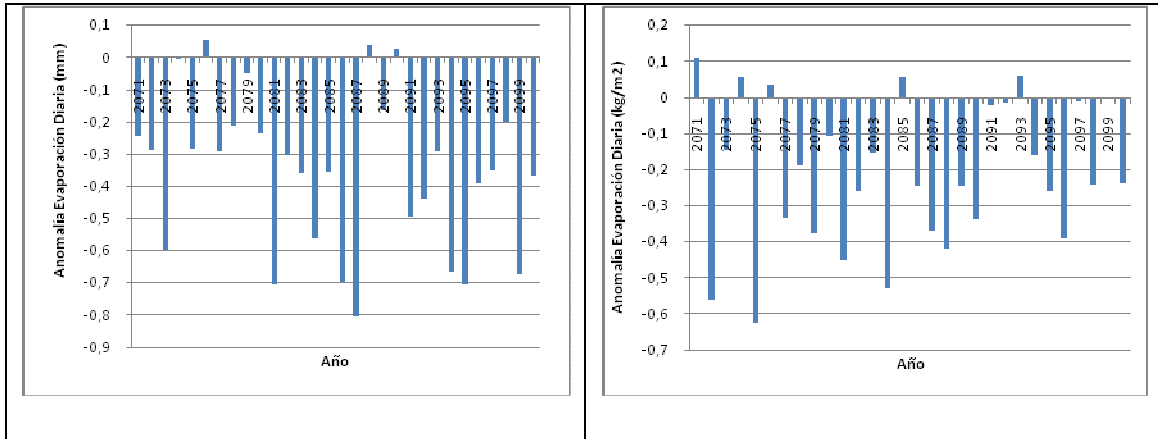


Figura 14. Variación anual de la evaporación diaria total predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

Estacionalmente, en otoño el comportamiento es muy semejante al de la escala anual, en primavera e invierno la disminución es menor, apareciendo muchos más años con anomalías positivas (mayor evaporación que en el periodo de referencia), mientras que en verano la disminución de la evaporación es mucho mayor que a escala anual (llegándose a alcanzar reducciones de 1.6 mm por día en el escenario A2 y 1.3 mm por día en el B2).

39) Viento a 10 m

A escala anual se observa una disminución del viento a 10 m en todos los modelos (de hasta 0.4 m/s para la media diaria en el escenario A2 y de hasta 0.3 m/s en el B2).

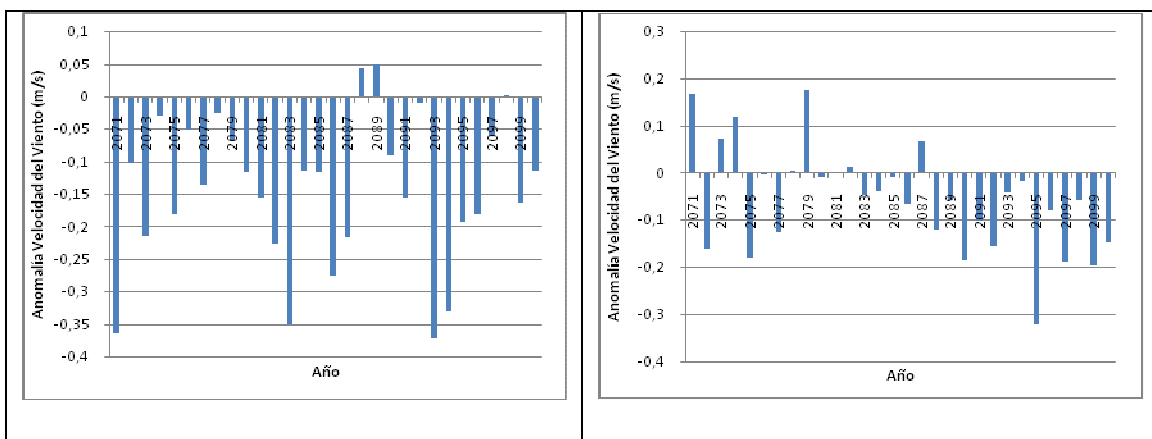


Figura 15. Variación anual de la velocidad diaria media del viento predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

En cuanto a la escala estacional, destacar que las anomalías son especialmente negativas en otoño, indicando una disminución del viento mucho más fuerte que en el resto de las estaciones. En el resto de las estaciones se observan años con anomalías positivas y negativas, siendo éstas más extremas en invierno.

40) 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 (de hasta 30 W/m² diarios en el escenario A2 y 20 W/m² en el escenario B2; excepto el modelo PROMES de la UCM que predice un aumento de hasta 35 W/m² en ambos escenarios).

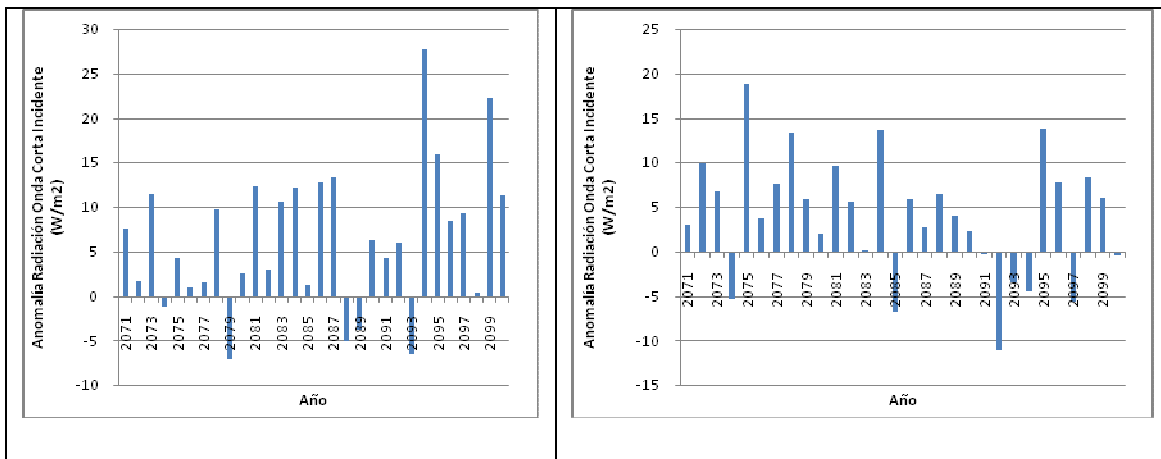


Figura 16. Variación anual de la radiación de onda corta media diaria predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

Estacionalmente, en verano el aumento es mayor que en las demás estaciones y sólo en invierno se observa un predominio de años con anomalías negativas (reducción de la radiación).

Conclusión

Hemos realizado una estimación de la magnitud del cambio climático en las marismas de Santoña, Victoria y Joyel (Cantabria) 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 entre 1 y 4 °C en el escenario A2 y entre 0.5 y 2.5 °C en el escenario B2.
- Disminución generalizada de la precipitación anual de hasta 400 mm para el escenario A2 y 320 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 150 mm para el B2. Disminución también de la precipitación a escala estacional, excepto en invierno.
- Disminución de la frecuencia de días de lluvia que superan los umbrales de 1 mm, 5 mm y 10 mm. Aumento de los que superan los 30 mm (lluvia muy intensa).
- Aumento de los días de lluvia superando el percentil 99 de la precipitación diaria del periodo de referencia (días de lluvia muy intensa).
- Aumento del número de días y noches cálidas (aproximadamente 50 más por año para el escenario A2 y 40 más para el B2) y disminución del número de días y noches frías (aproximadamente 13 menos por año para el escenario A2 y 9 menos para el B2).
- Disminución generalizada de la evaporación diaria total a escala anual. Estacionalmente destaca la disminución en verano y sólo se observa un aumento en primavera e invierno.
- Disminución de la velocidad del viento a 10 m, sobre todo en otoño. En invierno se observan anomalías bastante elevadas tanto en sentido positivo como negativo.
- Aumento de la radiación de onda corta incidente sobre la superficie. En verano el aumento es especialmente mayor, mientras que en invierno se produce una disminución en la mayoría de los años del periodo estudiado.

Señalamos además que la diferencia entre simulaciones con distintos modelos no es grande, excepto para el caso del modelo RegCM del ICTP que prevé un mayor aumento de las precipitaciones y mayores anomalías (tanto positivas como negativas) en la precipitación. 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: Anomalía de la temperatura media diaria para todos los modelos y escenarios analizados.

Escenario A2

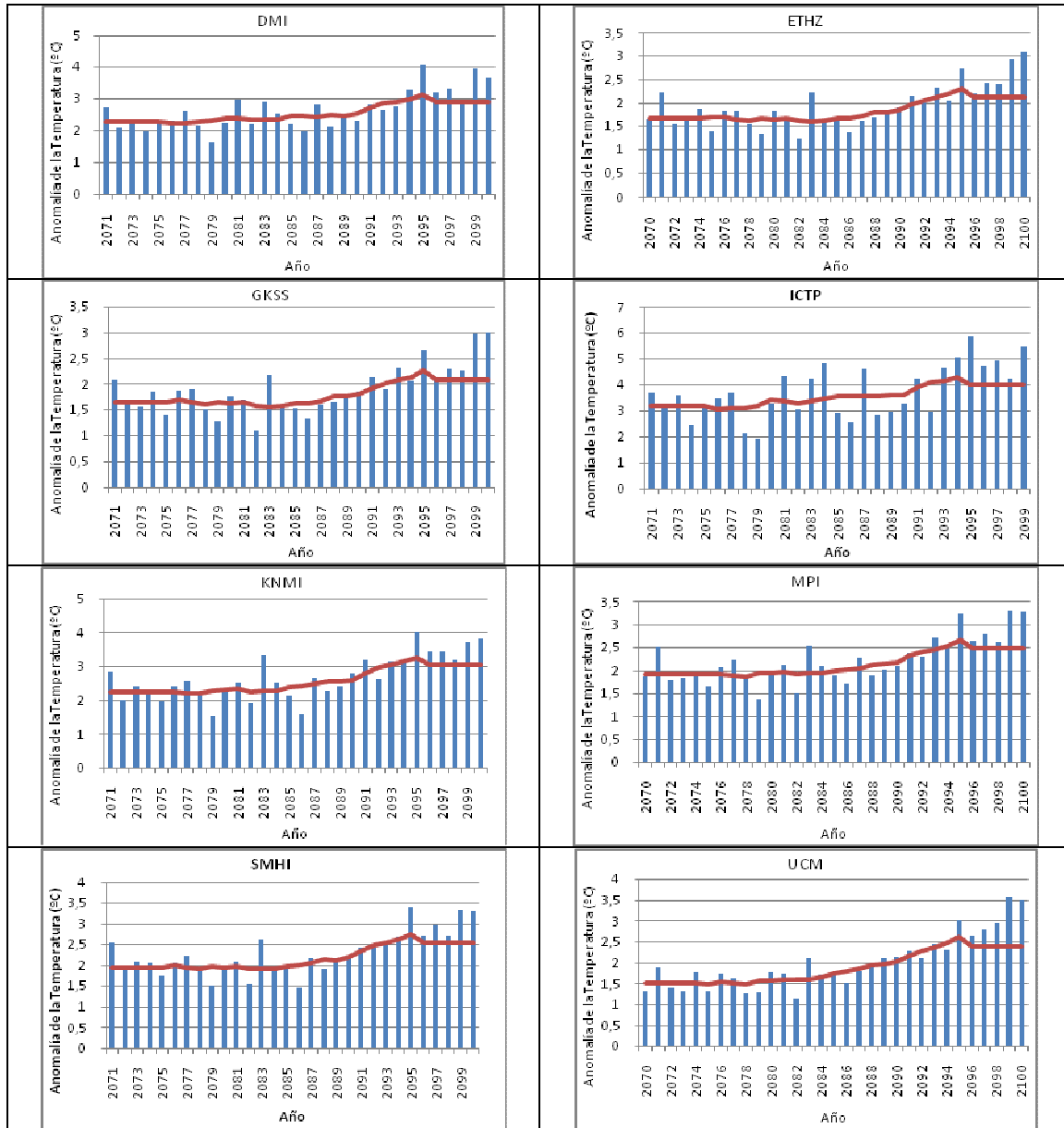


Figura 17. Variación anual de la temperatura media diaria para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Escenario B2

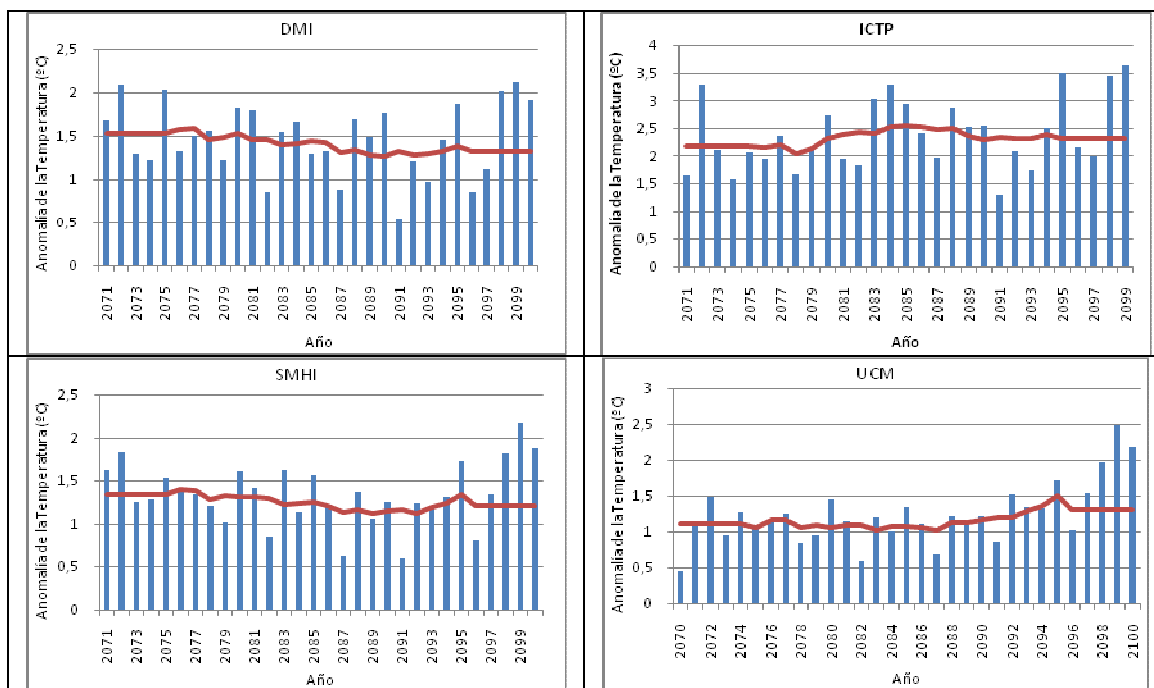


Figura 18. Variación anual de la temperatura media diaria para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones B2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

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

Escenario A2

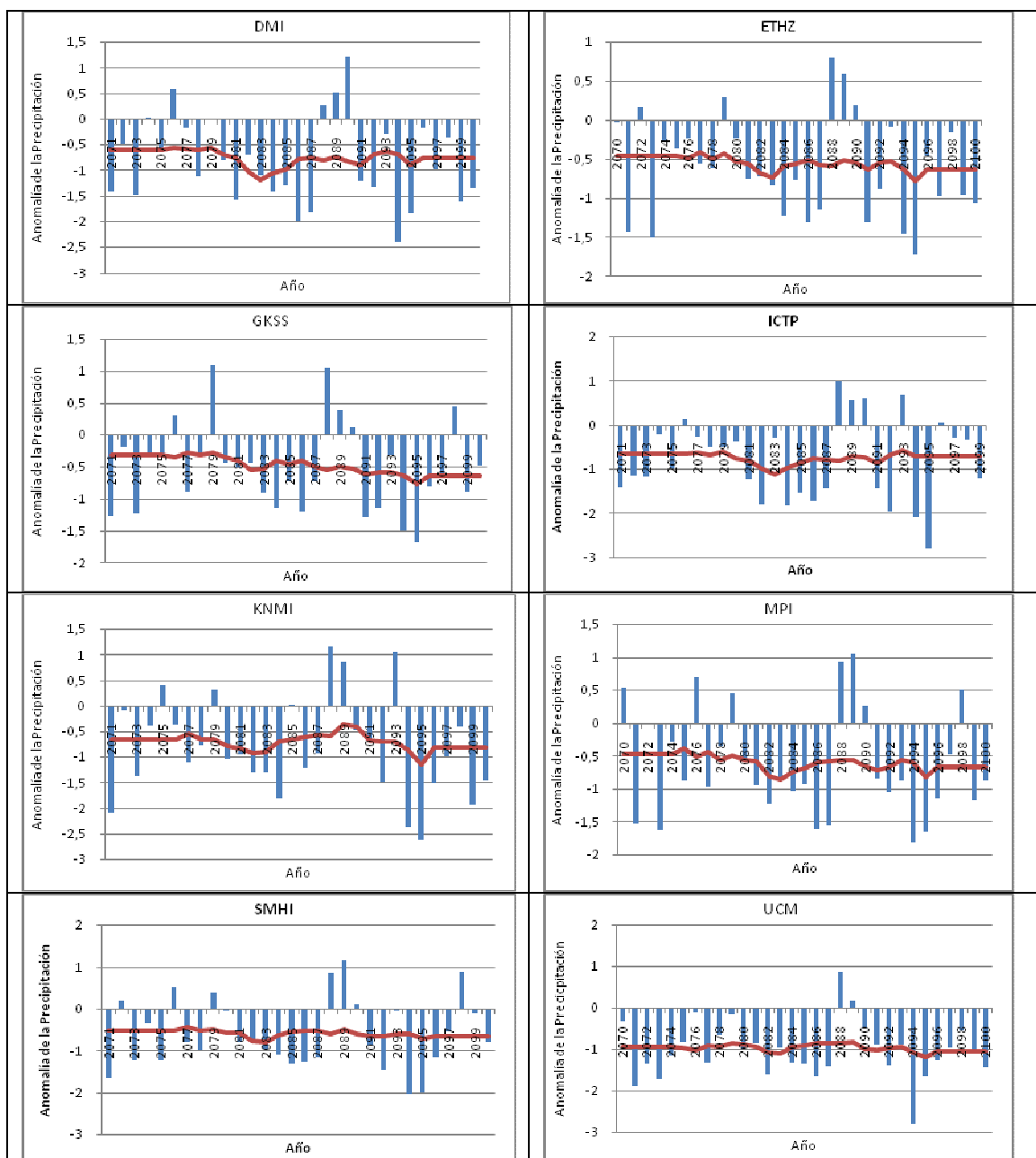


Figura 19. Variación anual de la precipitación anual acumulada para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Escenario B2

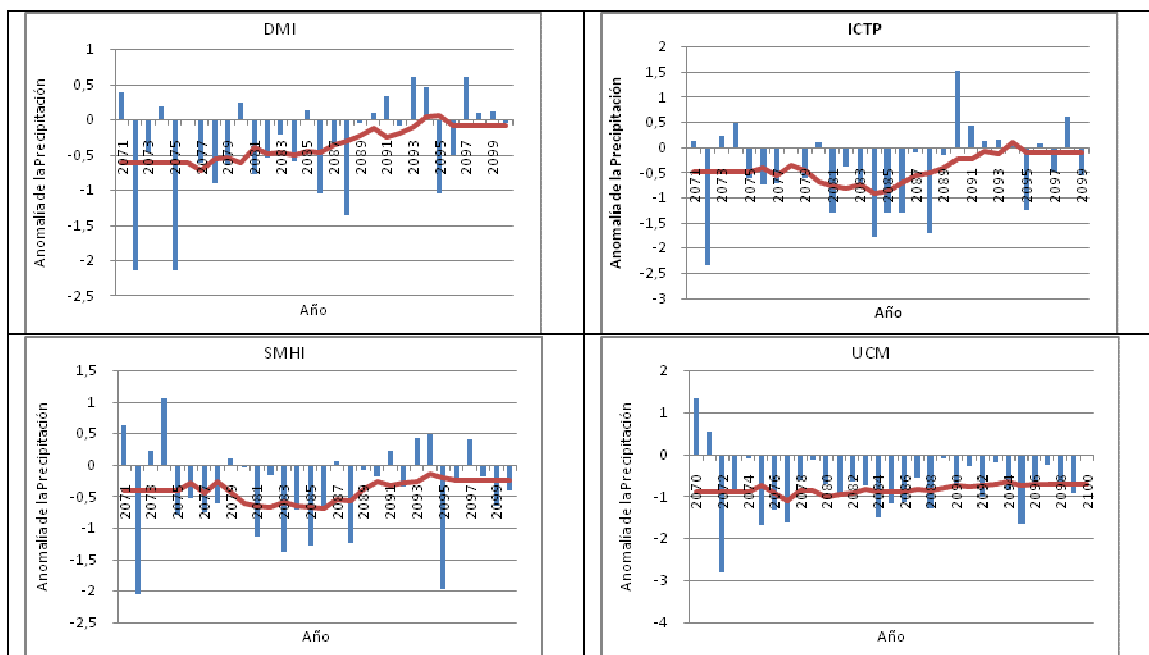


Figura 20. Variación anual de la precipitación anual acumulada para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones B2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

ANEXO VI

Informe sobre impactos en el Val do Ave - Portugal

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 (Val do Ave, Portugal).

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.

26) 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.

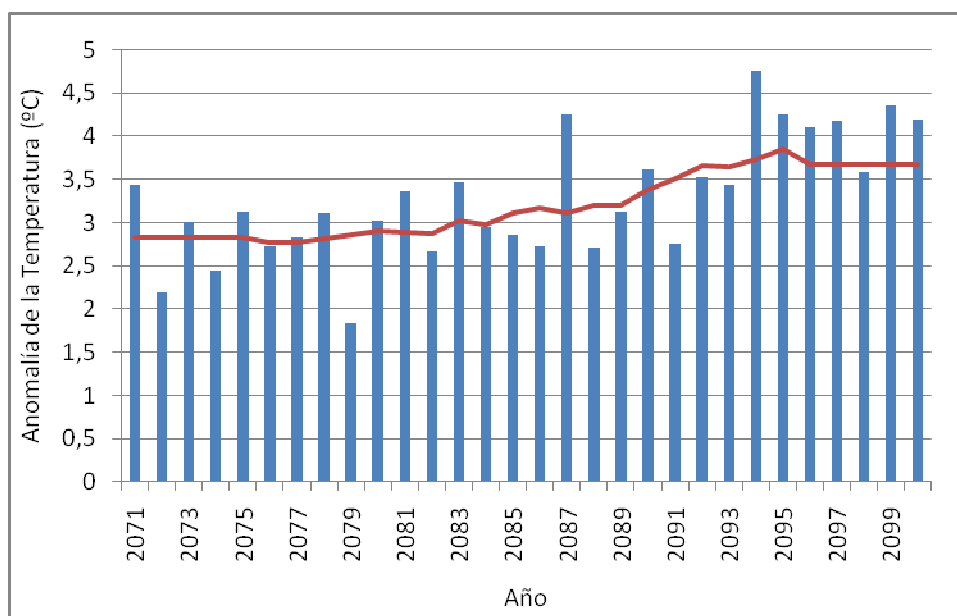


Figura 2. Variación anual de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del periodo 1961-1990. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

En esta gráfica, así como en las obtenidas con los otros siete modelos, observamos una anomalía positiva de la temperatura para todos los años respecto del periodo de referencia. Todos los modelos prevén un aumento de la temperatura media anual de entre 1,5 y 5 °C, excepto el modelo PROMES de la UCM que prevé un aumento un poco mayor, entre 2 y 6 °C (ver Anexo I).

Es de resaltar también que todas las gráficas presentan una pendiente positiva, indicando un aumento de temperatura en promedio del orden de 0,56 °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 verano (entre 1,5 y 8 °C, según el modelo PROMES entre 2 y 10°C). Las pendientes son mayores en primavera y verano.

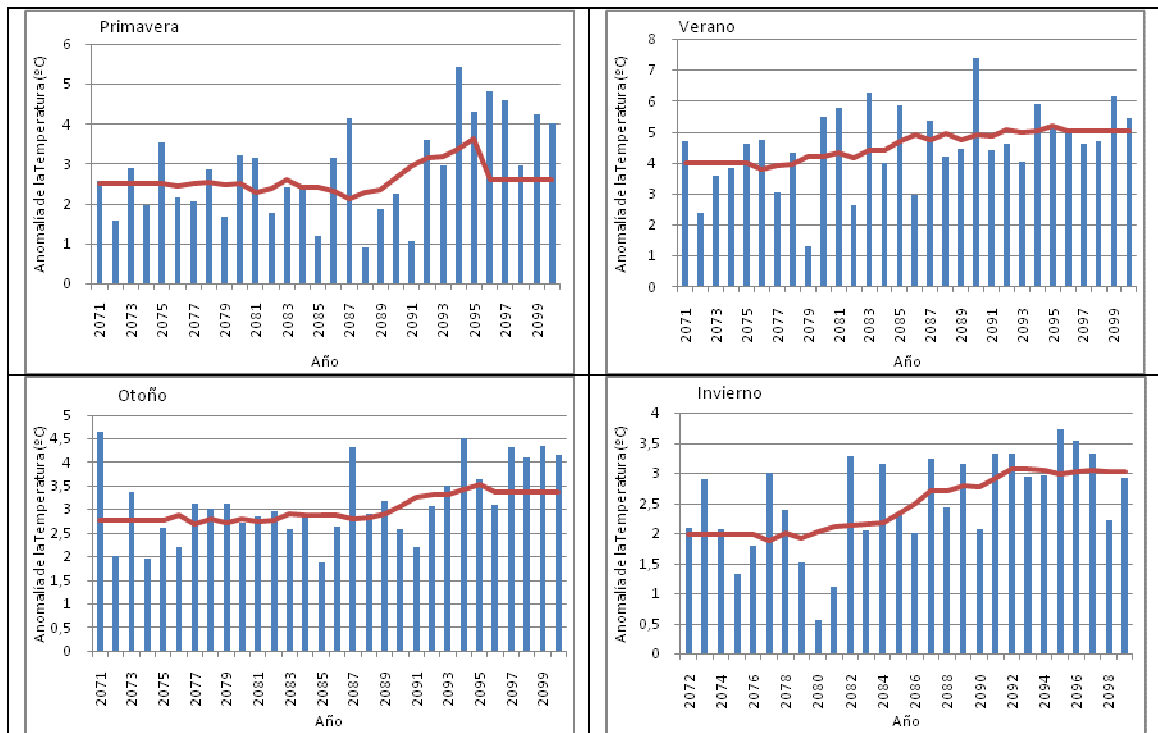


Figura 3. Variación estacional de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del periodo 1961-1990. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

27) 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 bastantes años más lluviosos que en el periodo de referencia.

Para esta variable no se observan tendencias significativas con ningún modelo. En la figura 4 se observan los resultados obtenidos con el modelo RACMO2:

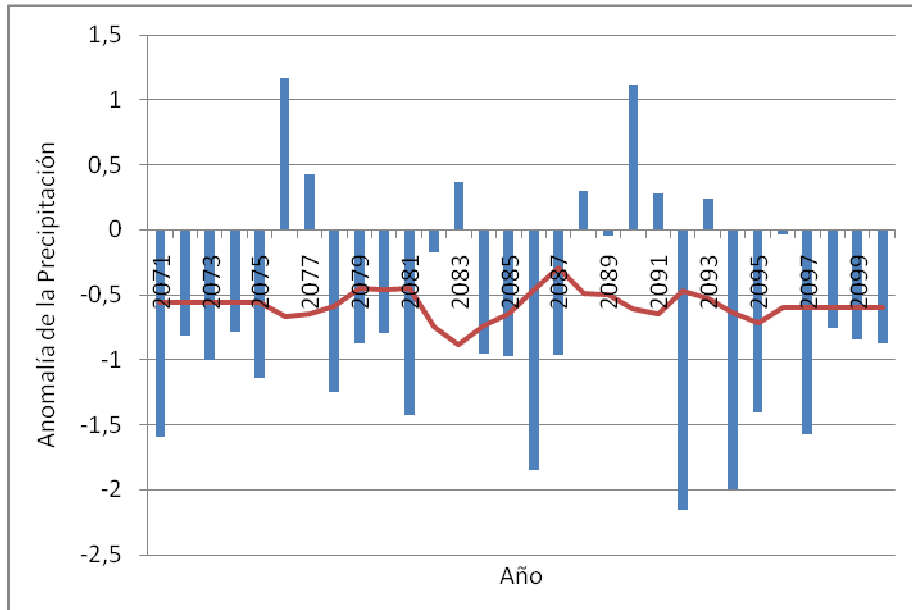


Figura 4. Variación anual de la anomalía de la precipitación total respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Estacionalmente observamos una mayor disminución de la precipitación en verano y 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).

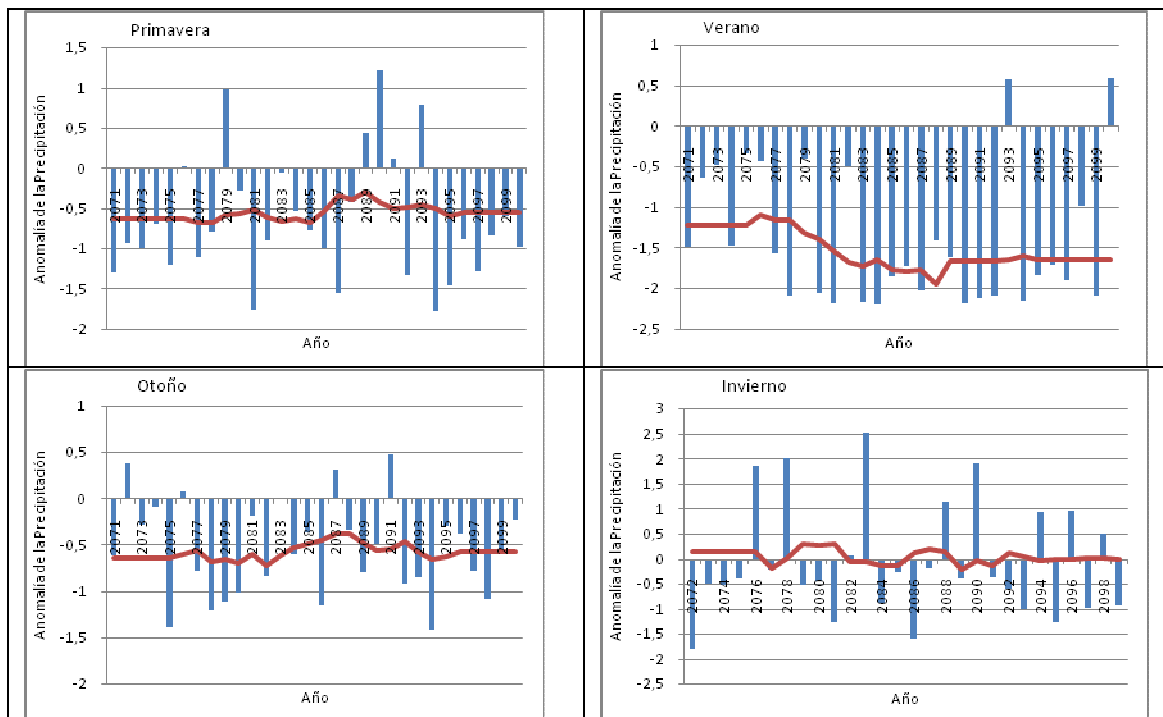


Figura 5. Variación estacional de la anomalía de la precipitación total respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

28) 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 70 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, mientras que en invierno se observa una alternancia de años con anomalías muy positivas y muy negativas.

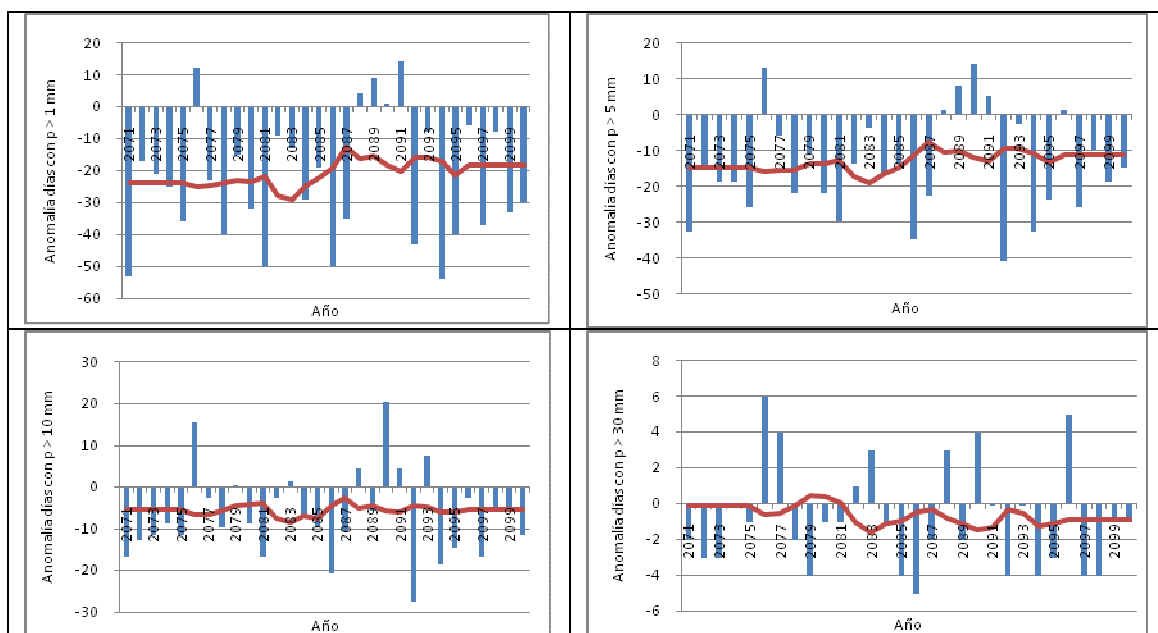


Figura 6. Variación interanual de la anomalía de los días con precipitación mayor que 1, 5, 10 y 30 mm respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

29) 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 claro 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).

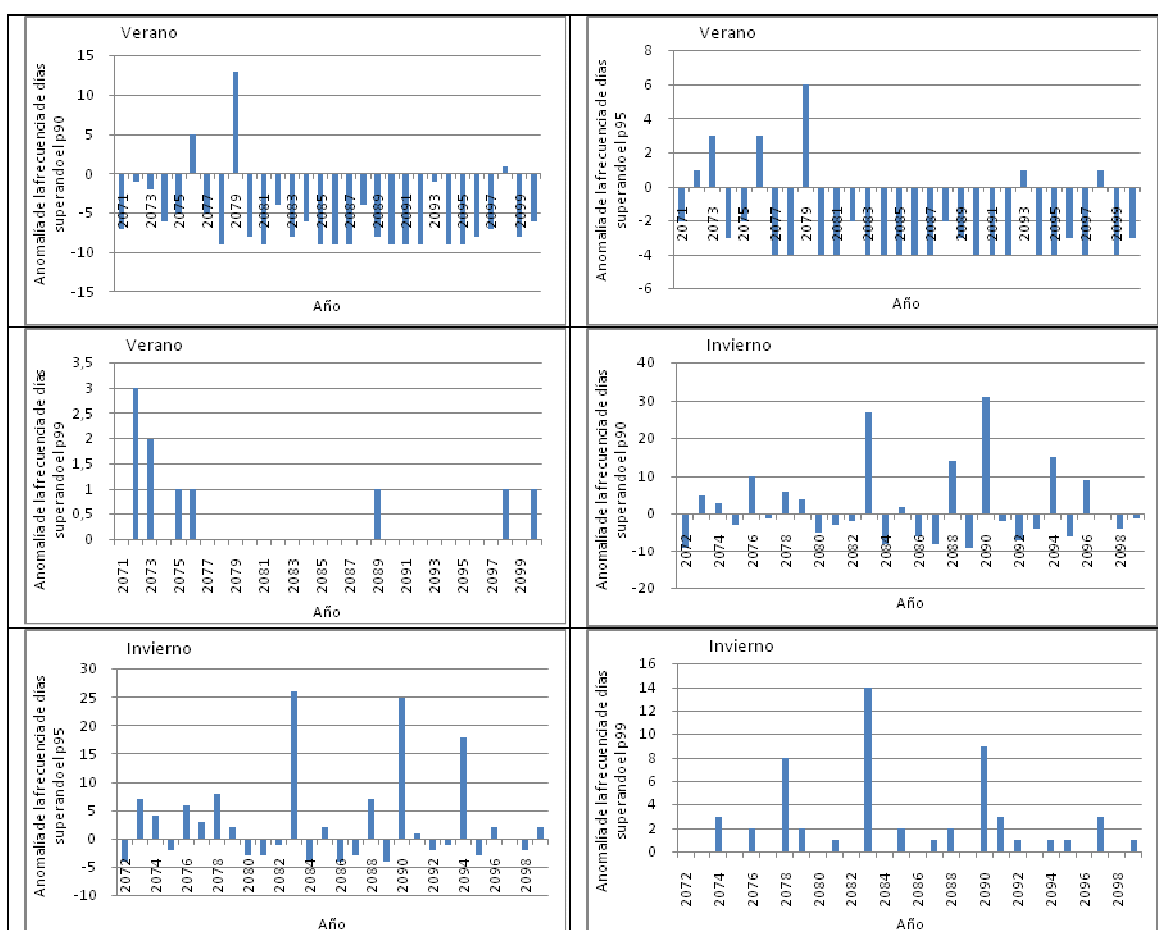


Figura 7. Variación estacional (verano e invierno) de la anomalía de los días con precipitación mayor que los percentiles p90, p95 y p99.

30) 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.

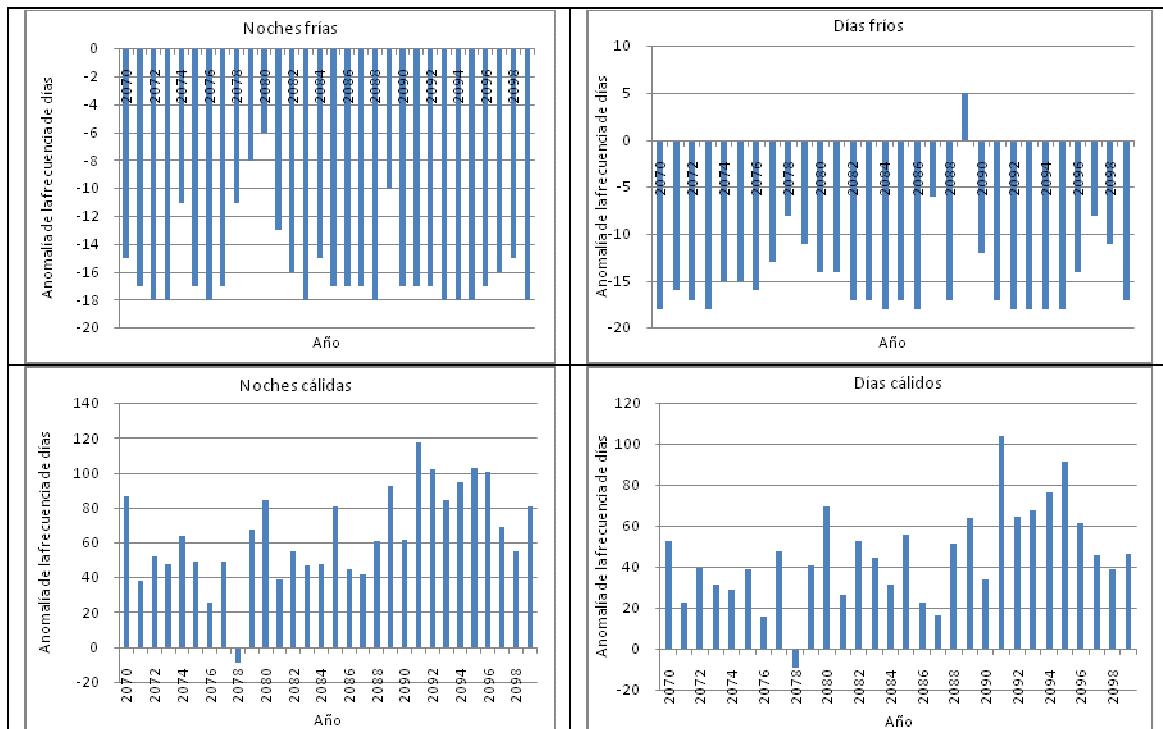


Figura 8. Variación interanual de la anomalía de los días y noches cálidas y frías respecto al periodo de referencia.

Sobre la significación de los resultados obtenidos en el análisis de temperaturas extremas, es de destacar que sólo aparecen tendencias muy significativas para la anomalía de noches y días cálidos con el modelo RACMO2 del KNMI y el RAO del SMHI.

Escenario B2

Como ya mencionamos en la introducción, para este escenario sólo existen datos publicados 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 RAO del SMHI, 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.

41) Análisis de la temperatura

Todos los modelos prevén, a escala anual, un aumento de la temperatura de entre 1.25 y 4 °C (menor aumento que en el escenario A2).

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 1 °C respecto a la temperatura diaria media del periodo de referencia).

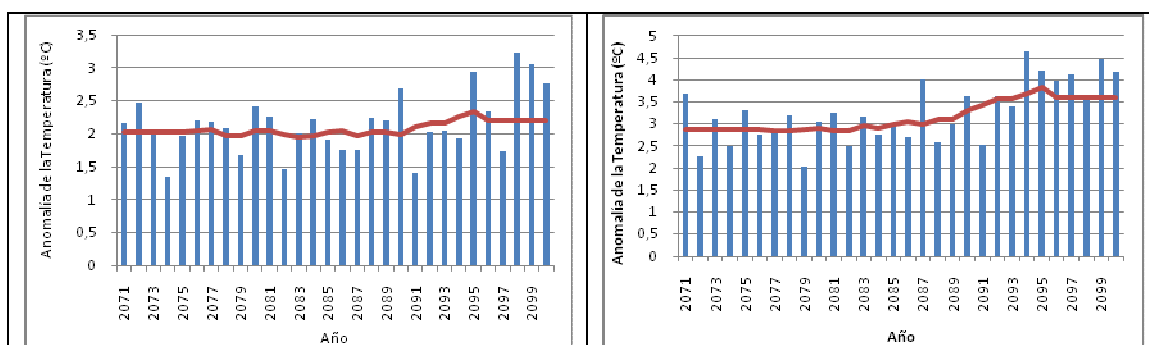


Figura 9. Variación anual de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

42) 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.

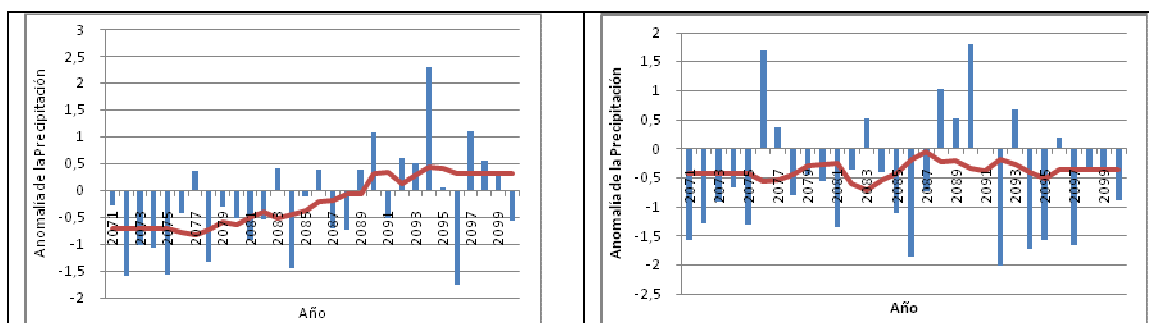


Figura 10. Variación anual de la precipitación total respecto al período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

43) 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. Por otra parte, se prevé un aumento de los fenómenos de lluvia muy intensa (mayor que 30 mm por día) respecto del período de referencia, aunque también inferior al previsto en 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.

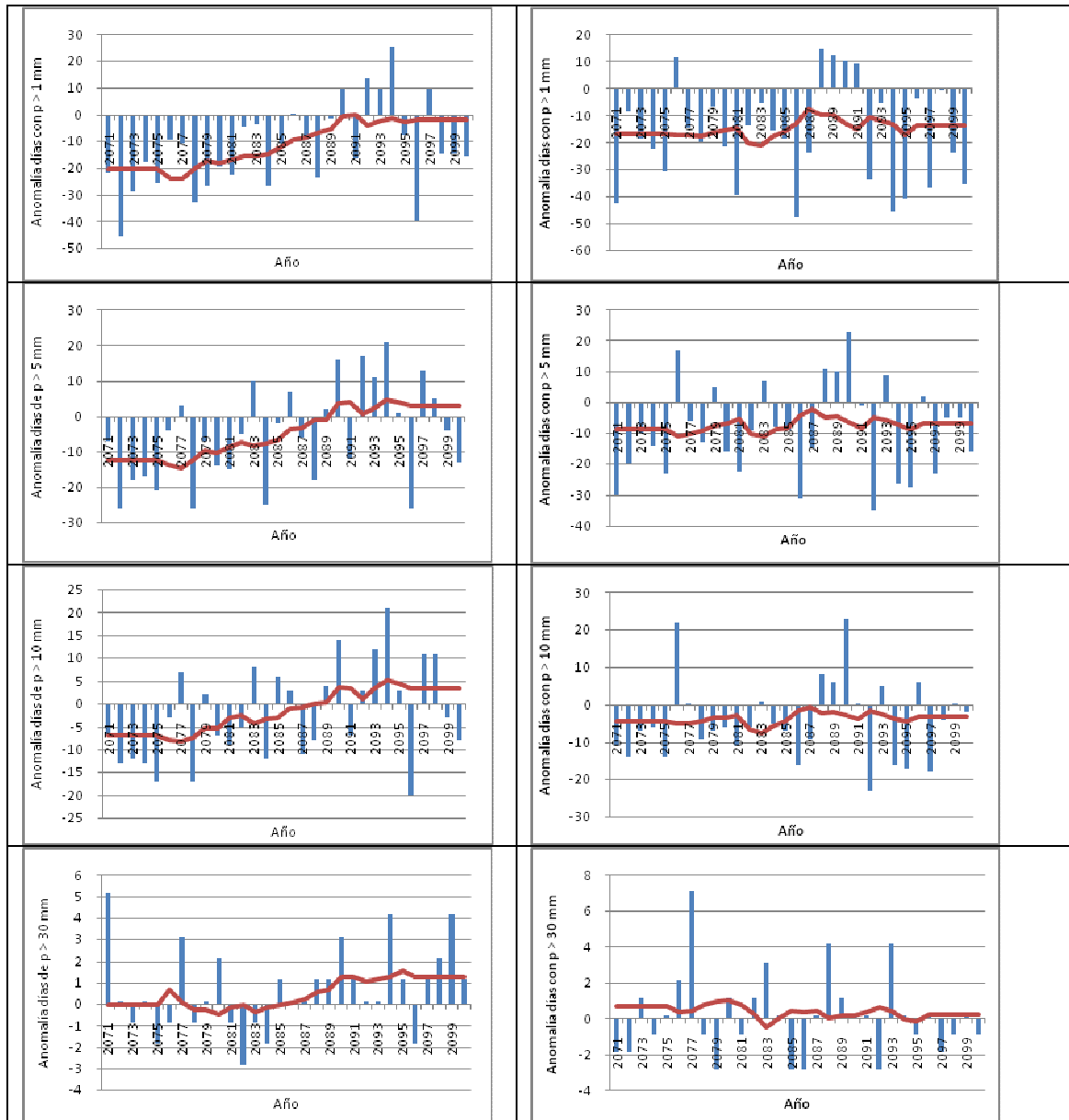


Figura 11. Variación anual de la anomalía en el número de días con precipitación mayor que 1, 5, 10 y 30 mm. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

44) 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 positivas (aumento respecto al período de referencia), siendo éstas menos extremas que las previstas por el escenario A2.

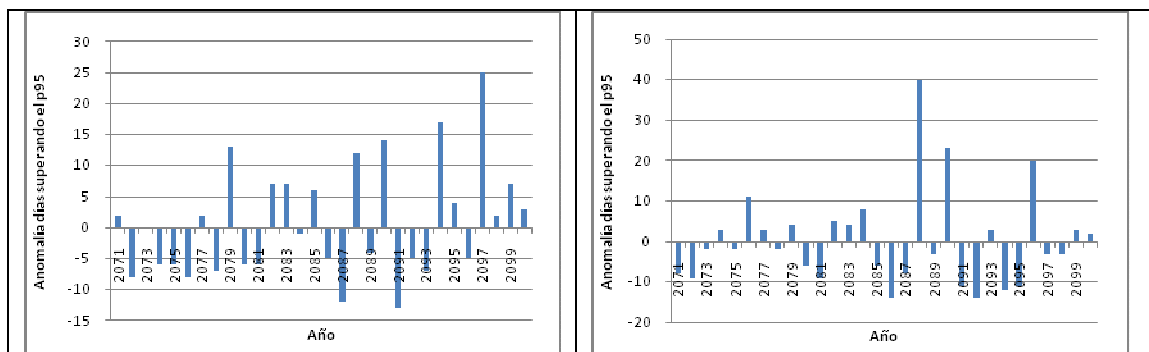
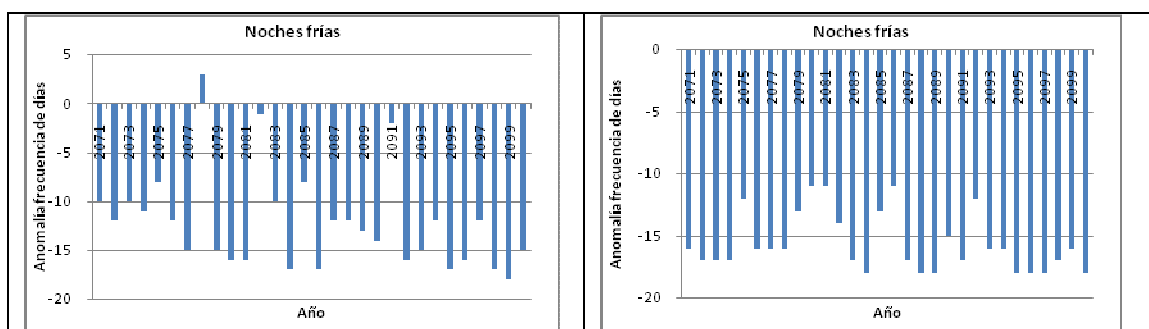


Figura 12. Variación anual de la anomalía en el número de días con precipitación mayor que el percentil 95. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2.

45) 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, apareciendo incluso años con anomalías positivas para el número de días y noches fríos.



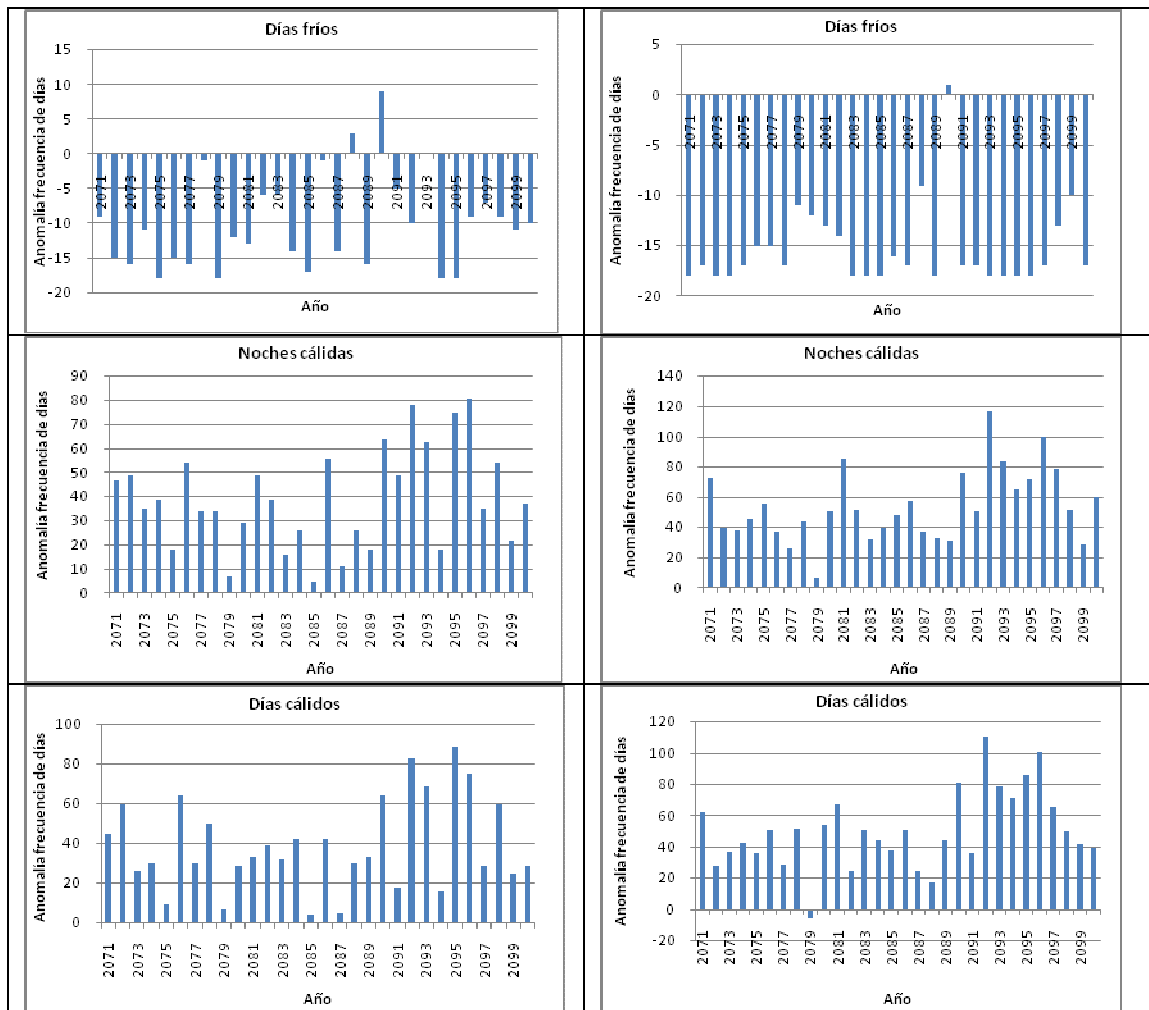


Figura 13. Variación anual de la anomalía de los días y noches cálidas y frías respecto al período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2.

46) Evaporación

A escala anual se observa una disminución de la evaporación respecto a la media del período de referencia en todos los modelos menos el modelo PROMES de la UCM, que prevé un aumento generalizado de la evaporación diaria (0.15 mm más en promedio para el escenario A2 y 0.09 mm para el escenario B2). Señalar también que para esta variable, los modelos que predicen una disminución de la evaporación difieren al estimar la magnitud de esta disminución.

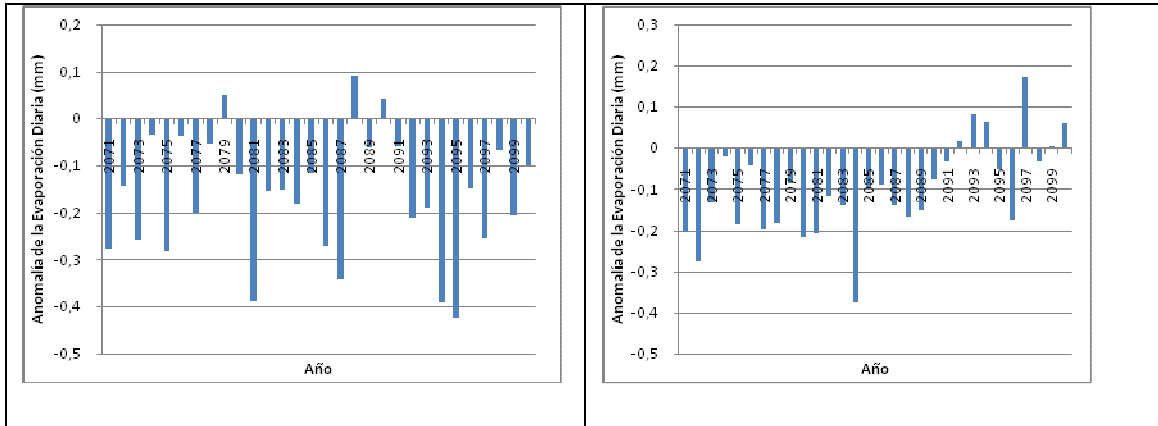


Figura 14. Variación anual de la evaporación diaria total predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

Estacionalmente, en otoño el comportamiento es muy semejante al de la escala anual, mientras que en invierno y, sobre todo, en primavera predominan los años con anomalías positivas (mayor evaporación que en el periodo de referencia). En verano la disminución de la evaporación es mucho mayor que a escala anual (llegándose a alcanzar reducciones de más de 1 mm por día en ambos escenarios en la mayoría de los modelos).

47) 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.

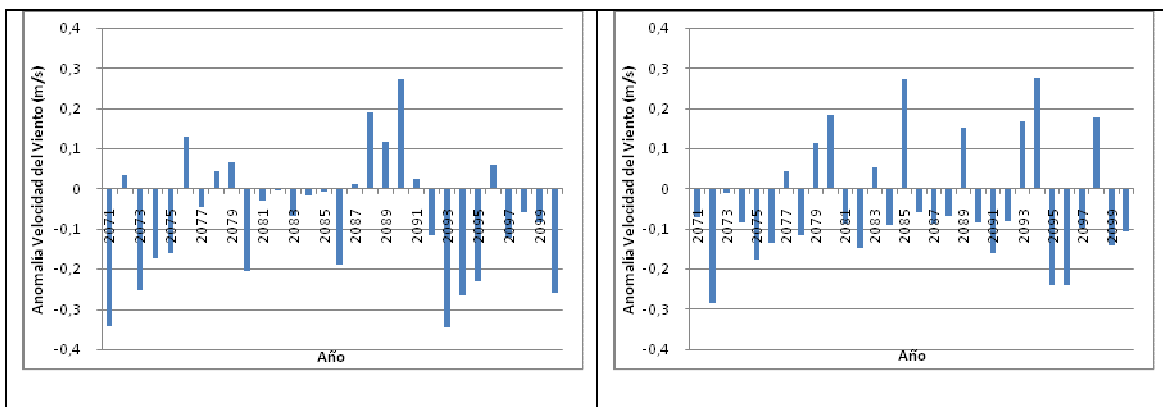


Figura 15. Variación anual de la velocidad diaria media del viento predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

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 y primavera se observa un predominio de anomalías positivas (aumento de la velocidad del viento) también mayores que las observadas a escala anual.

48) 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 25 W/m² diarios en el escenario A2 y 22 W/m² en el escenario B2).

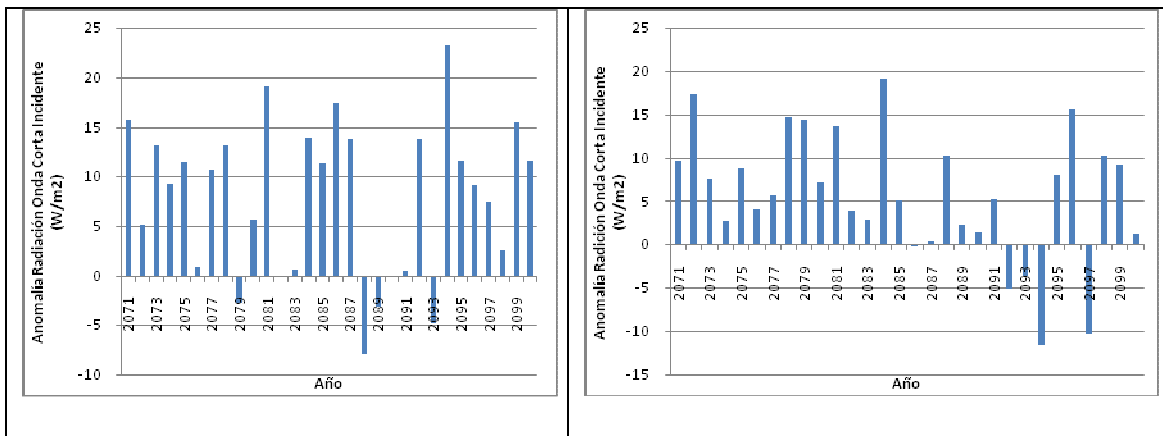


Figura 16. Variación anual de la radiación de onda corta media diaria predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

Estacionalmente, en primavera el aumento es bastante mayor que en las demás estaciones y sólo en invierno se observa un predominio de años con anomalías negativas (reducción de la radiación).

Conclusión

Hemos realizado una estimación de la magnitud del cambio climático en la región de L'Adour (Francia), 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 entre 1.5 y 5 °C en el escenario A2 y entre 1.25 y 4 °C en el escenario B2.
- Disminución generalizada de la precipitación anual de hasta 650 mm para el escenario A2 y 625 mm para el escenario B2. No obstante se observan años con precipitación anual hasta 425 mm por encima de la del período de referencia para el escenario A2 y de hasta 550 mm para el B2. Disminución también de la precipitación a escala estacional, excepto en invierno.
- Disminución de la frecuencia de días de lluvia. Aumento de los días de lluvia superando el percentil 99 de la precipitación diaria del periodo de referencia (días de lluvia muy intensa).
- Aumento del número de días y noches cálidas (aproximadamente 60 más por año para el escenario A2 y 45 más para el B2) y ligera disminución del número de días y noches frías.
- Respecto a la evaporación diaria total, los modelos difieren bastante a la hora de estimar la tendencia y magnitud de esta variable. Estacionalmente se observa una disminución de la evaporación en verano y un aumento en primavera e invierno respecto a lo previsto anualmente.
- Ligerísima disminución de la velocidad del viento a 10 m en el escenario A2. Según el escenario B2, apenas habrá variación de esta variable, alternándose 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, mientras que en invierno se produce una disminución de esta variable en la mayoría de los años del periodo estudiado.

Señalamos además que la diferencia entre simulaciones con distintos modelos no es grande, excepto para la evaporación diaria. 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: Anomalía de la temperatura media diaria para todos los modelos y escenarios analizados.

Escenario A2

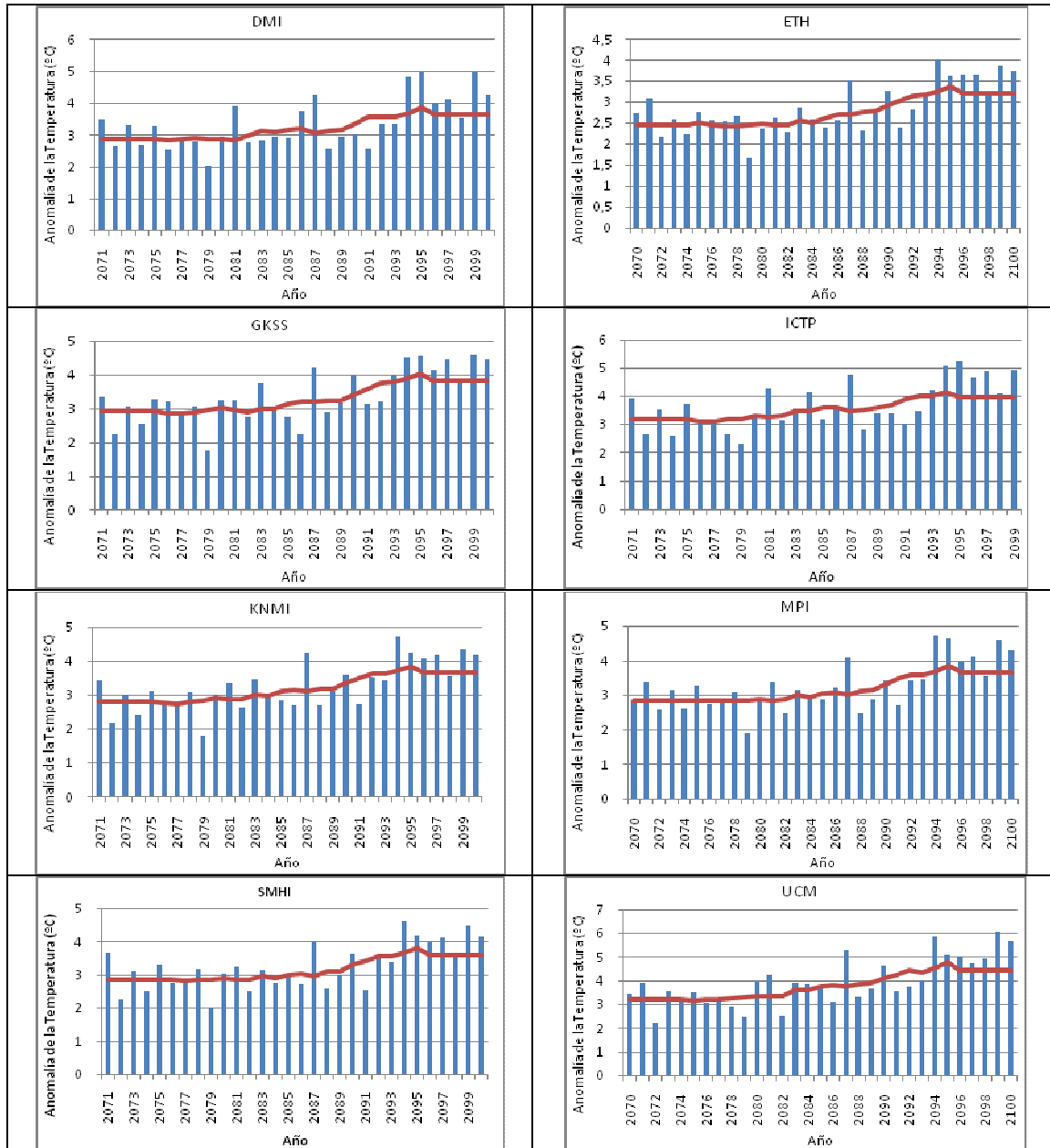


Figura 17. Variación anual de la temperatura media diaria para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Escenario B2

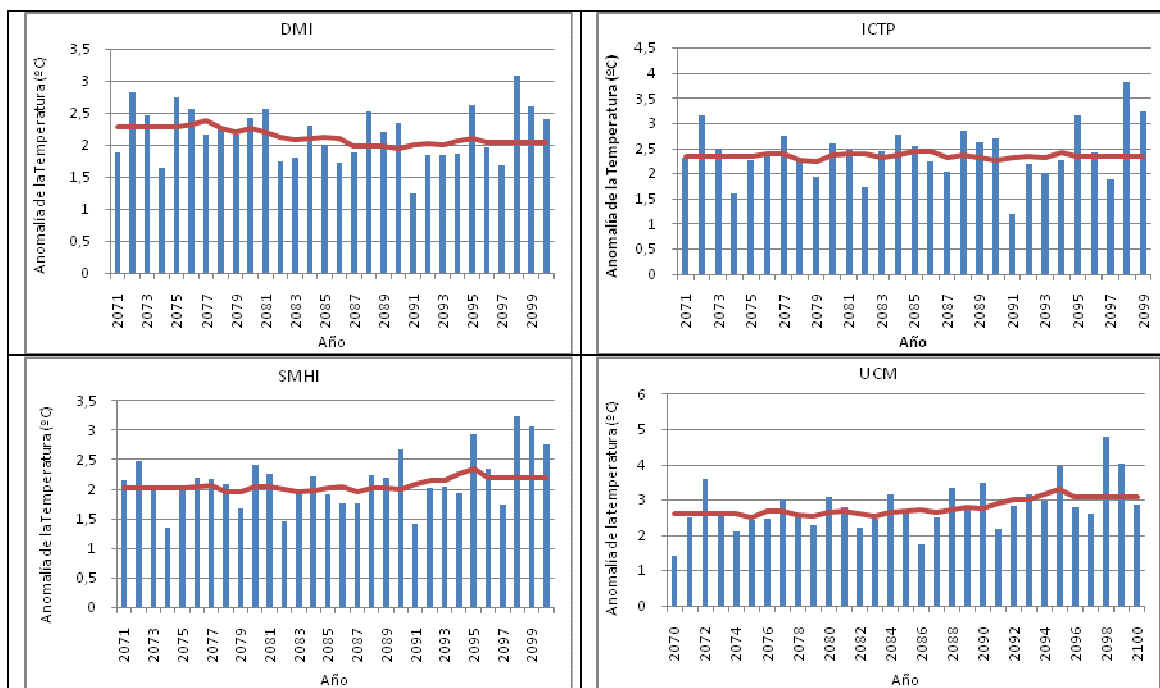


Figura 18. Variación anual de la temperatura media diaria para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones B2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

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

Escenario A2

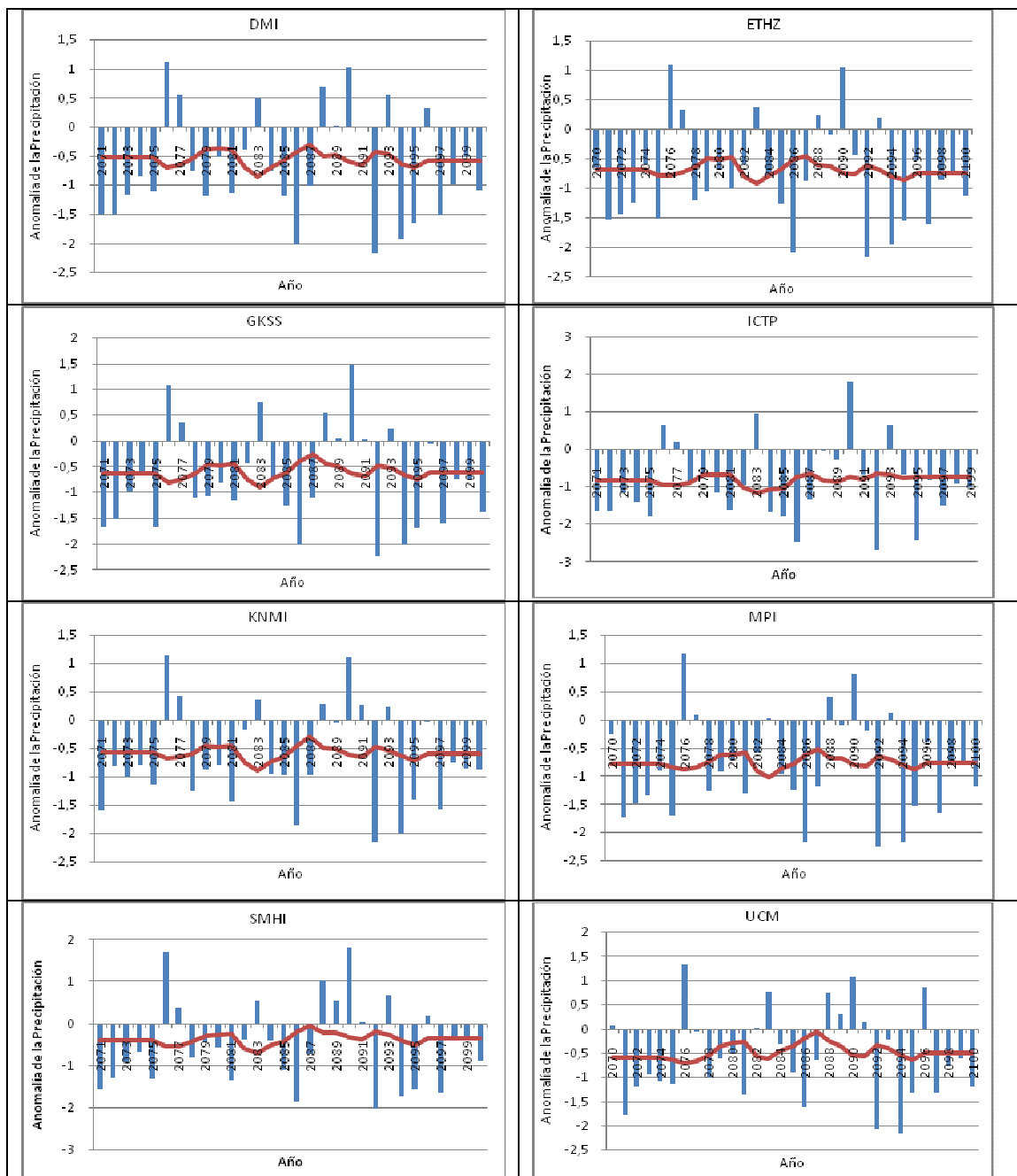


Figura 19. Variación anual de la precipitación anual acumulada para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Escenario B2

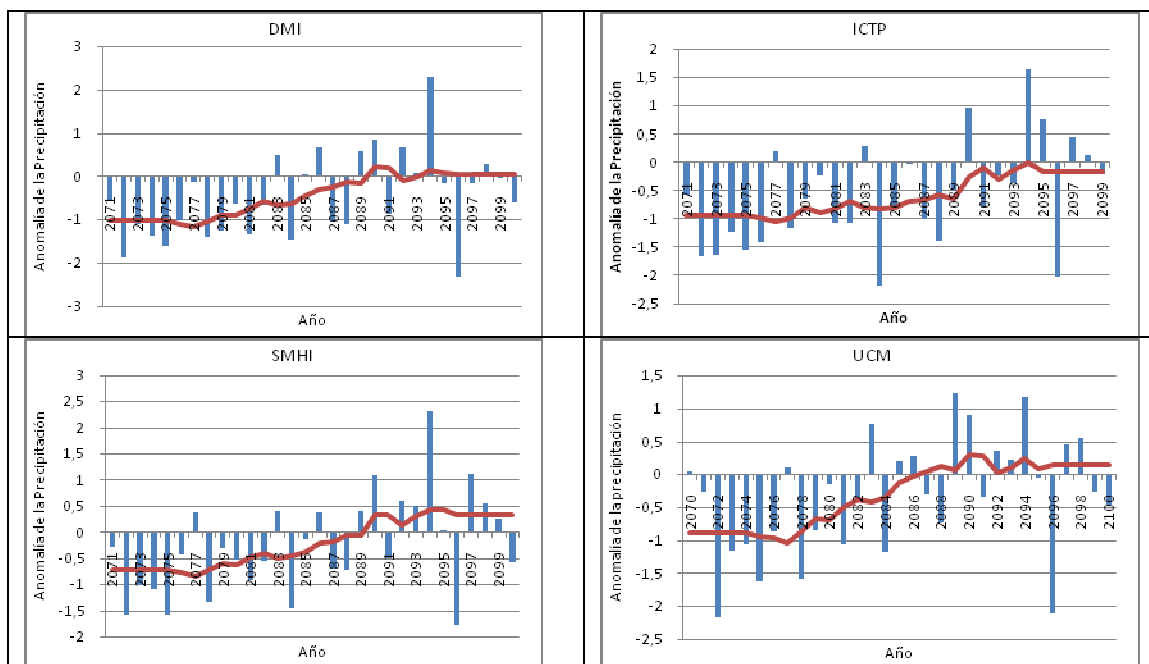


Figura 20. Variación anual de la precipitación anual acumulada para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones B2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

ANEXO VII

Informe sobre impactos en Córdoba - Andalucía

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.

31) 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.

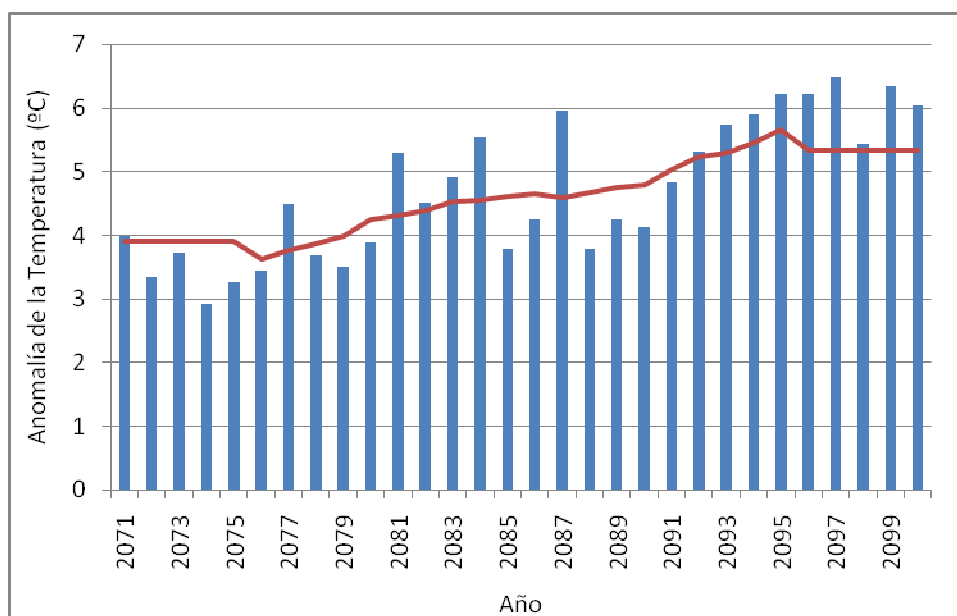


Figura 2. Variación anual de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del periodo 1961-1990. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

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.

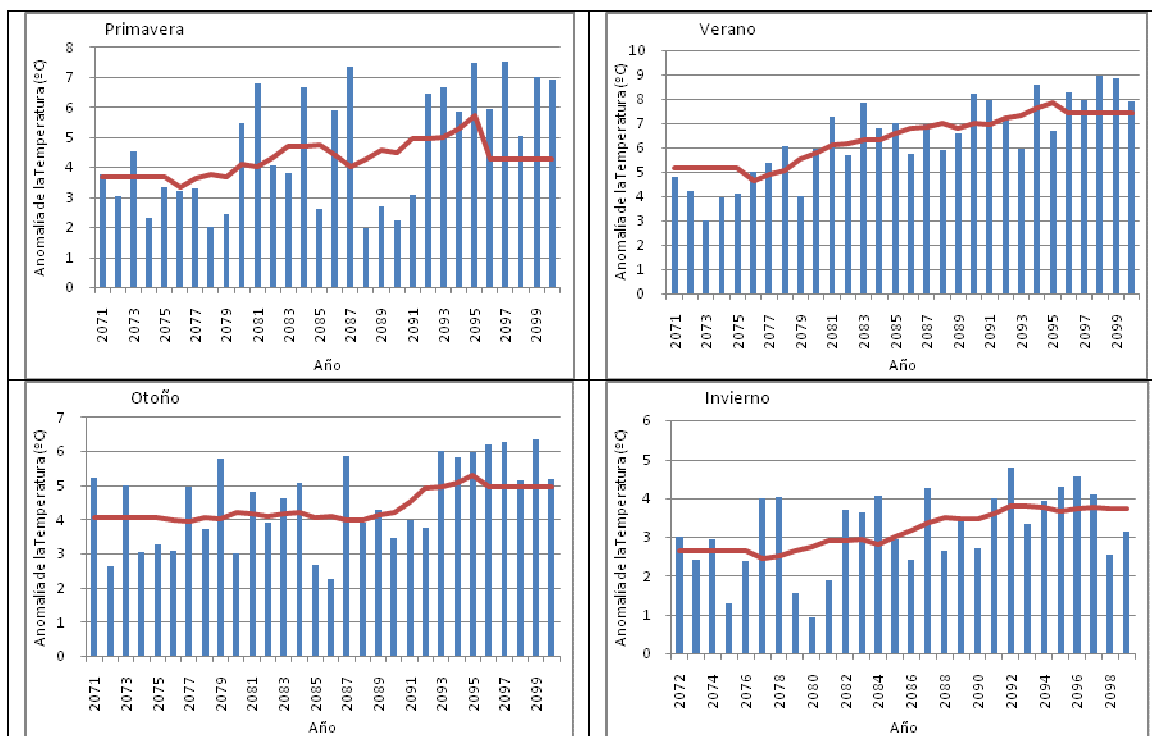


Figura 3. Variación estacional de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del periodo 1961-1990. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

32) 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:

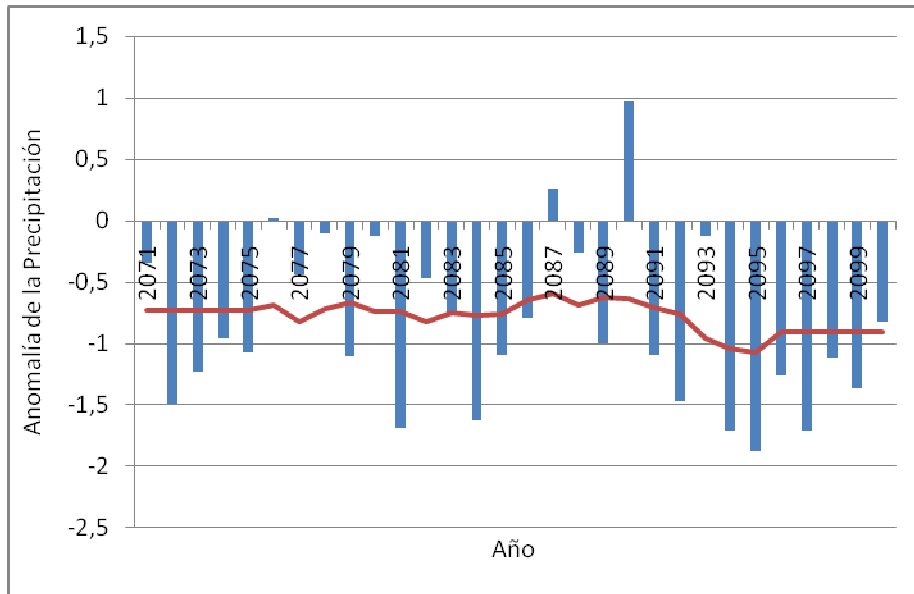
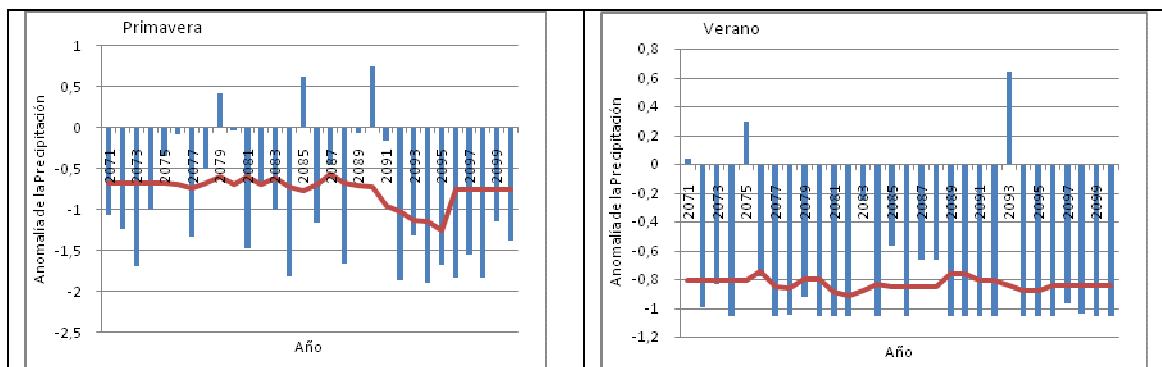


Figura 4. Variación anual de la anomalía de la precipitación total respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

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).



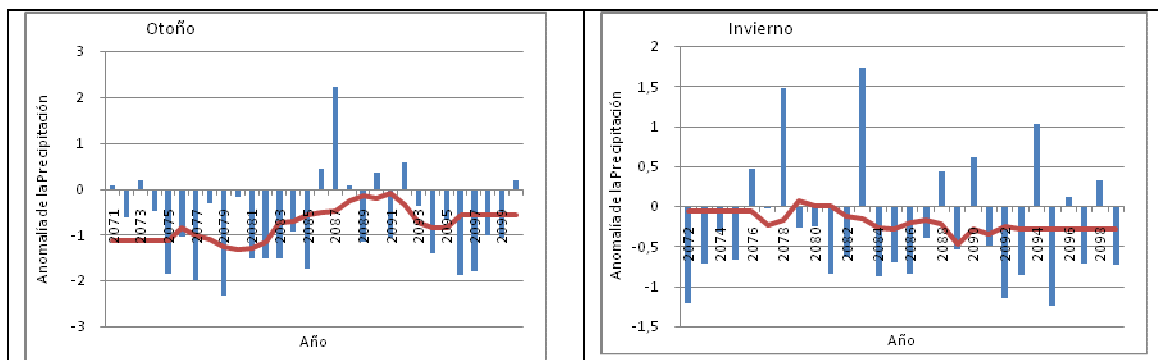


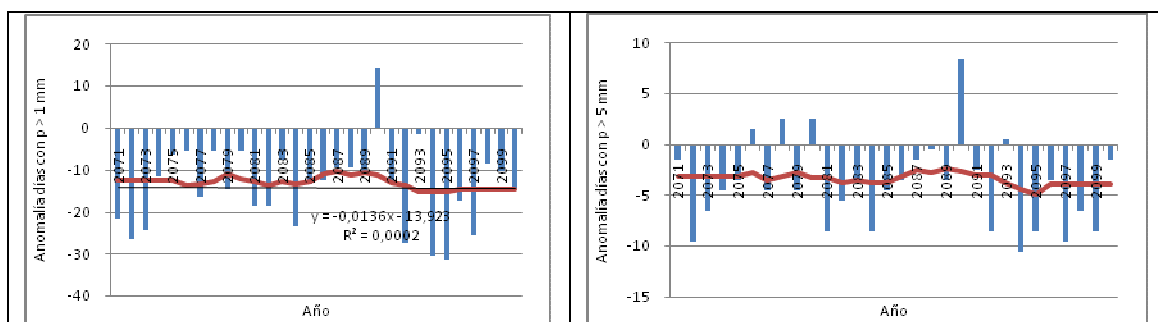
Figura 5. Variación estacional de la anomalía de la precipitación total respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

33) 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.



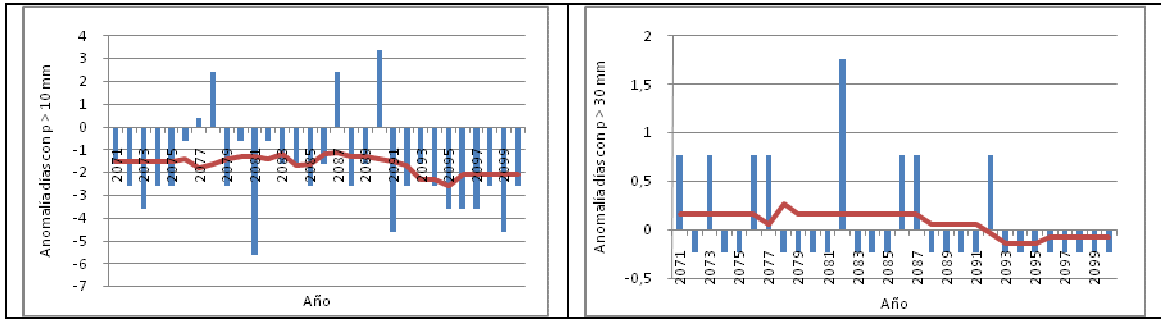
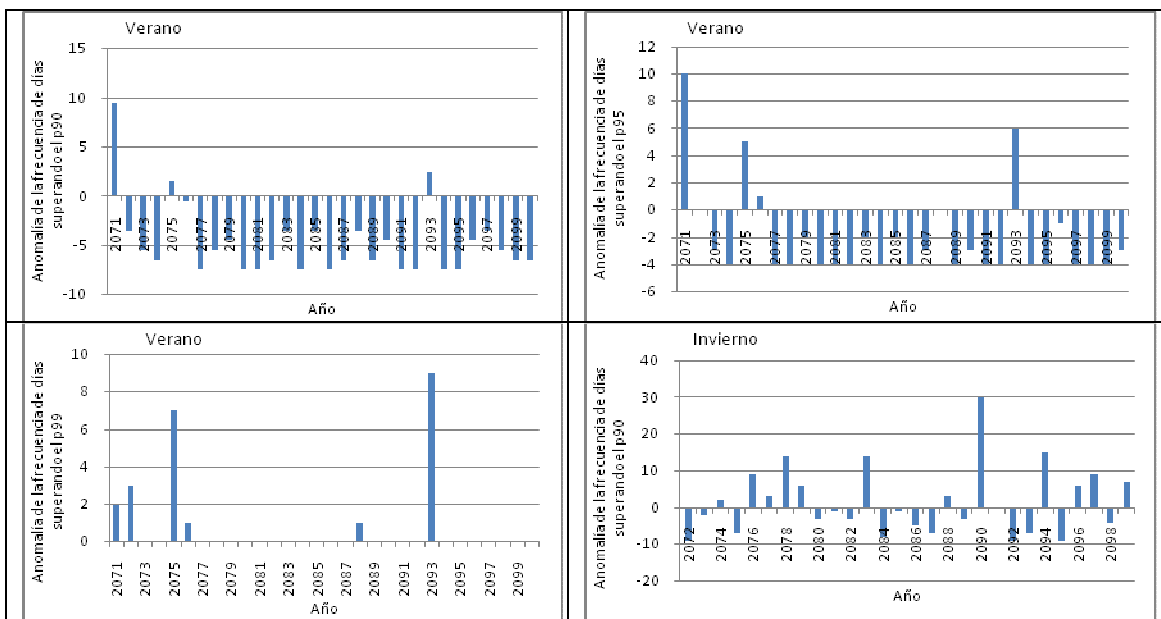


Figura 6. Variación interanual de la anomalía de los días con precipitación mayor que 1, 5, 10 y 30 mm respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

34) 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).



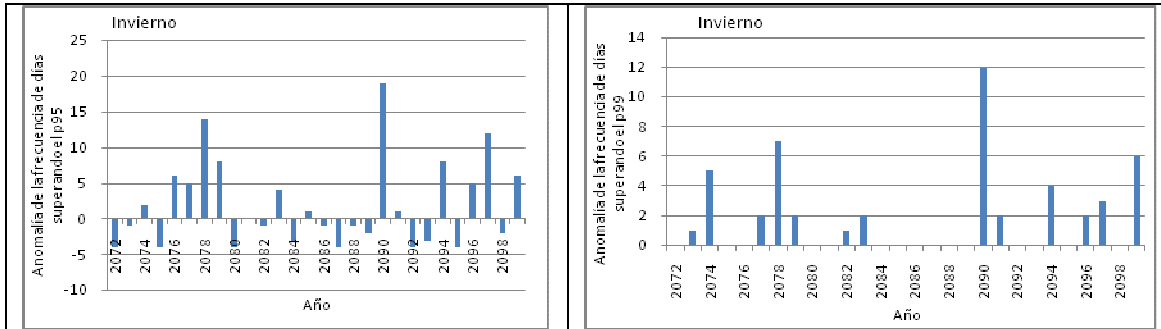
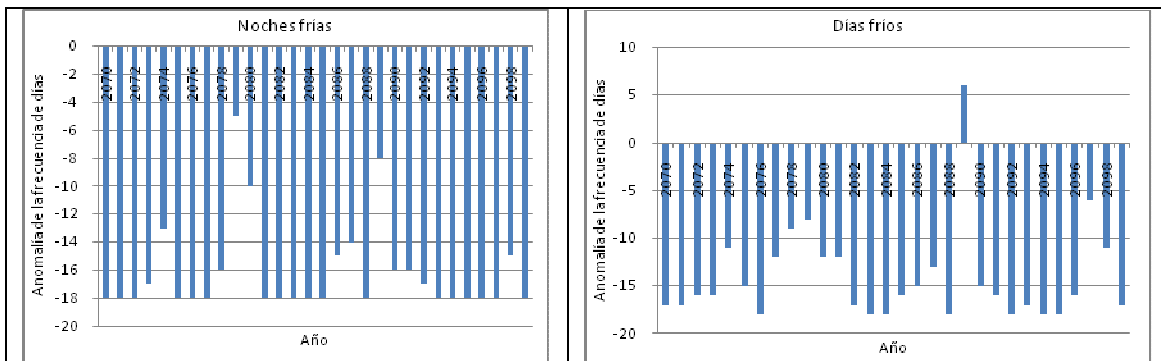


Figura 7. Variación estacional (verano e invierno) de la anomalía de los días con precipitación mayor que los percentiles p90, p95 y p99.

35) 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.



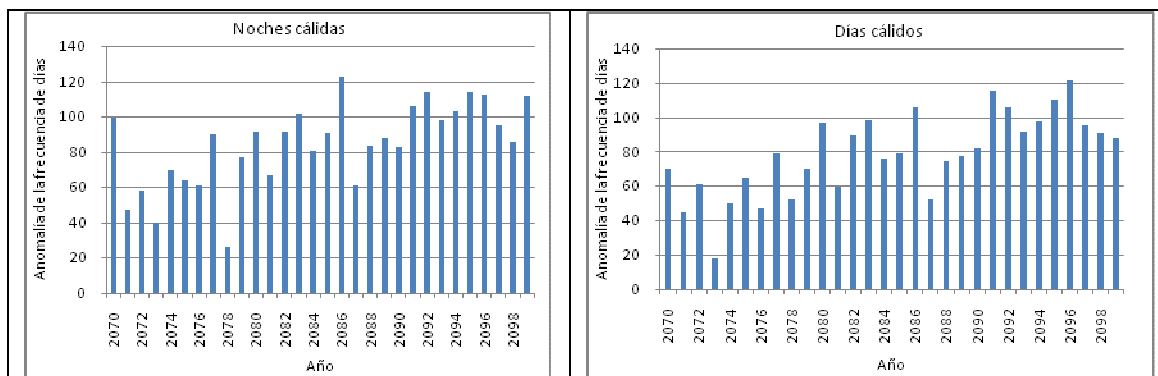


Figura 8. Variación interanual de la anomalía de los días y noches cálidas y frías respecto al periodo de referencia.

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.

49) 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).

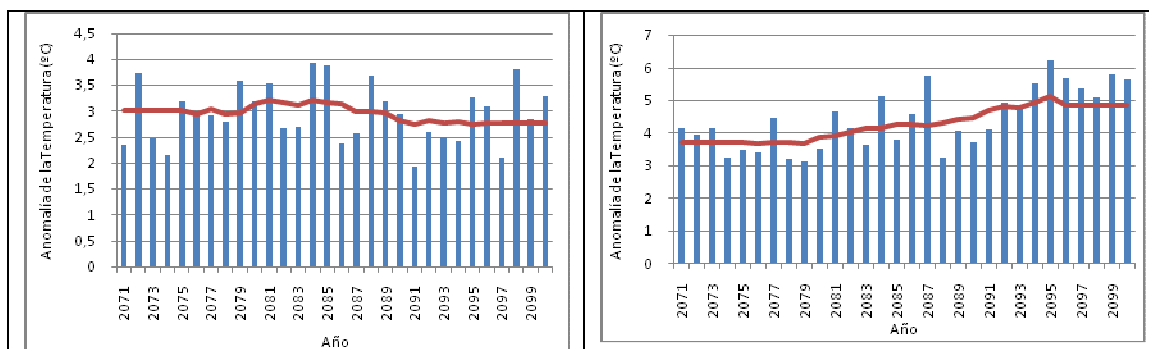


Figura 9. Variación anual de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años

50) 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.

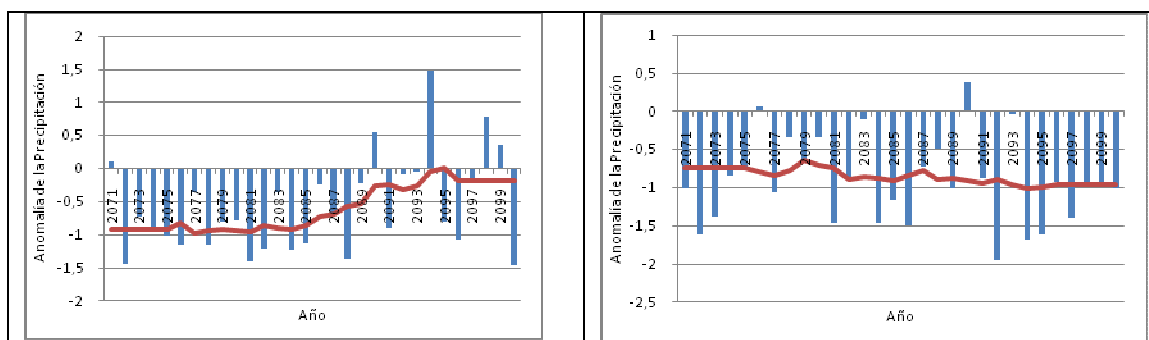


Figura 10. Variación anual de la precipitación total respecto al período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

51) 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.

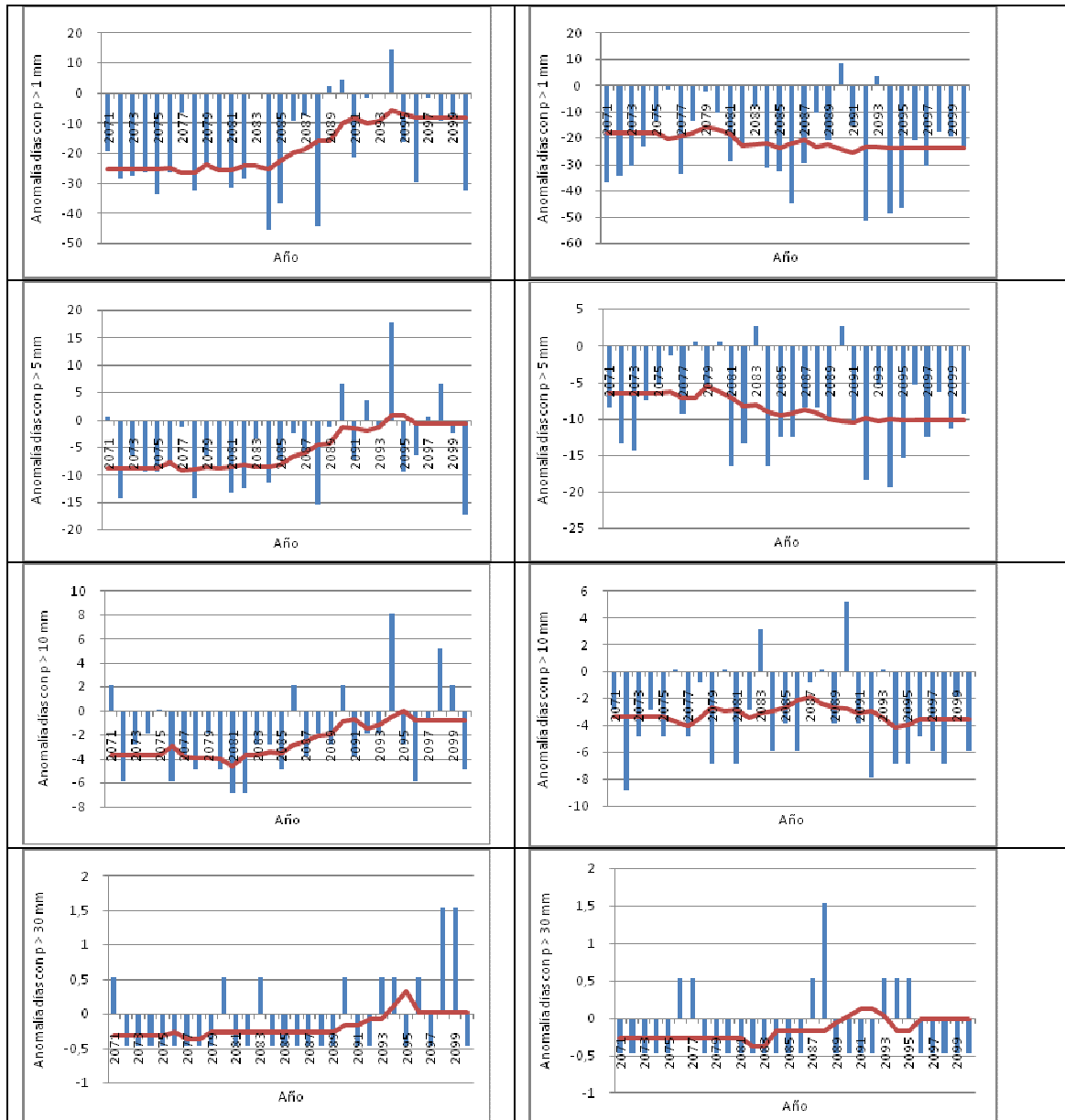


Figura 11. Variación anual de la anomalía en el número de días con precipitación mayor que 1, 5, 10 y 30 mm. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

52) 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.

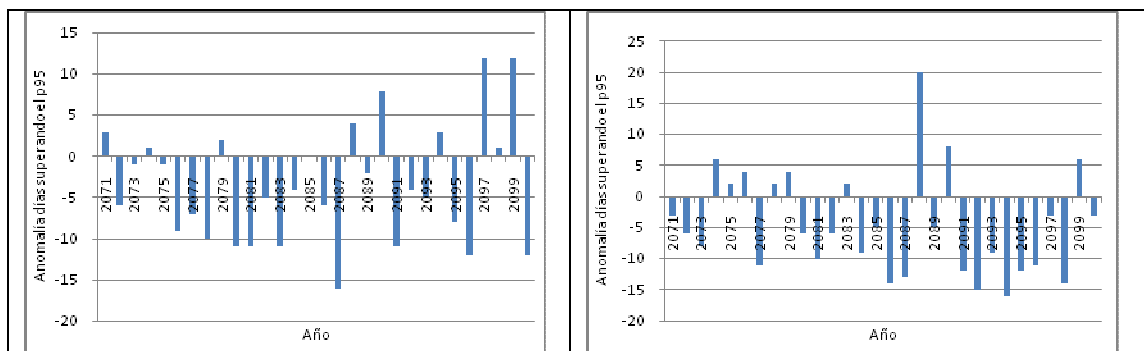
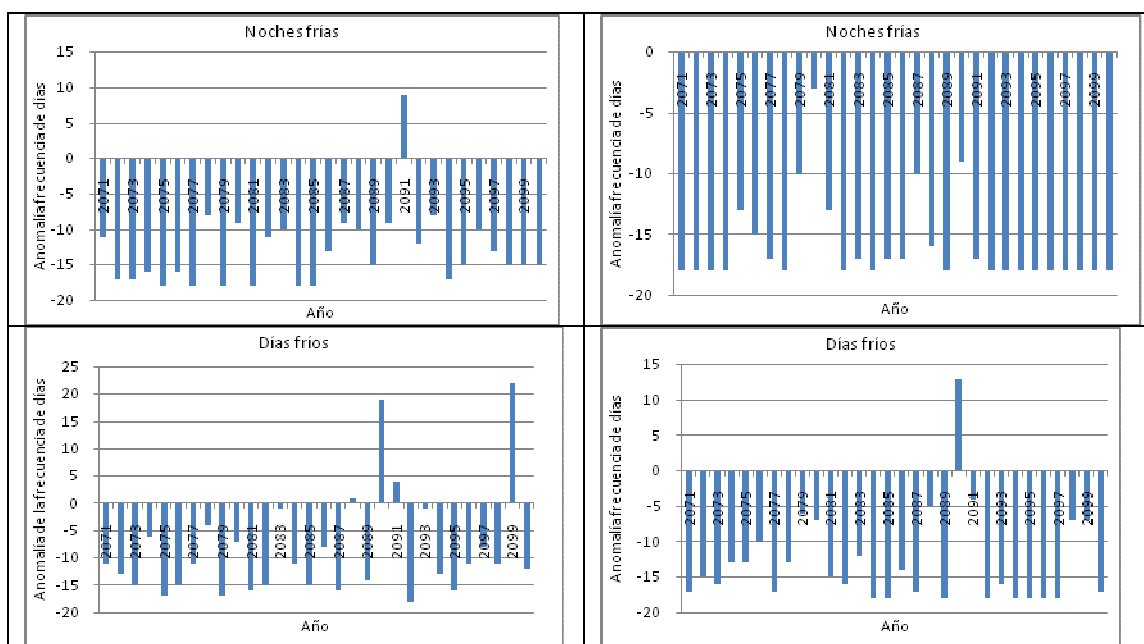


Figura 12. Variación anual de la anomalía en el número de días con precipitación mayor que el percentil 95. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2.

53) 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.



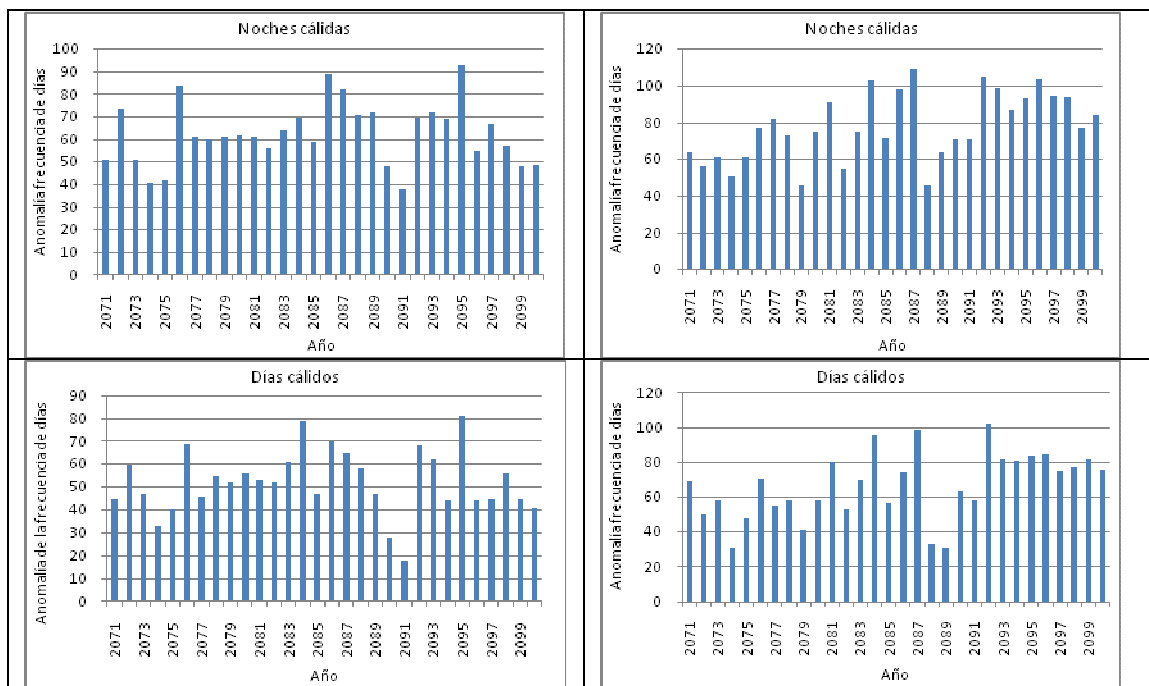


Figura 13. Variación anual de la anomalía de los días y noches cálidas y frías respecto al período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2.

54) 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).

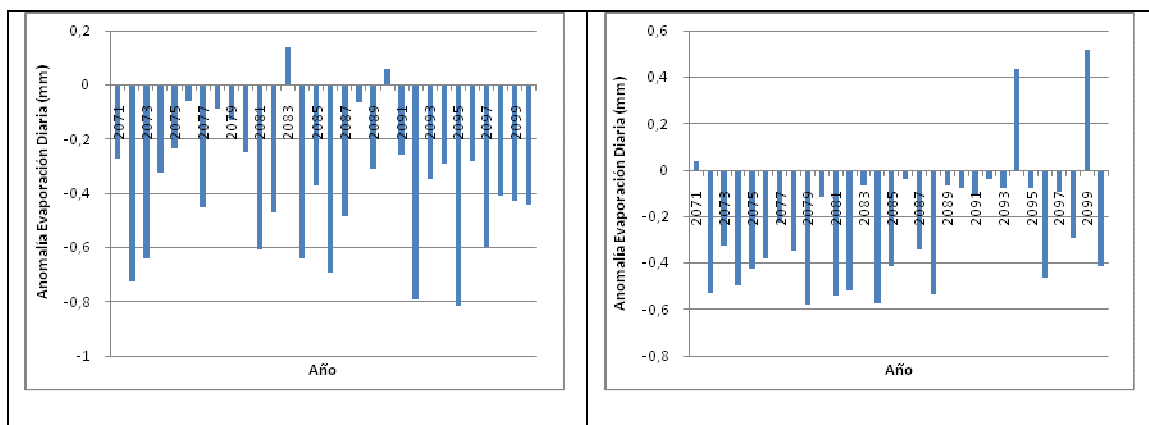


Figura 14. Variación anual de la evaporación diaria total predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

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.

55) 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.

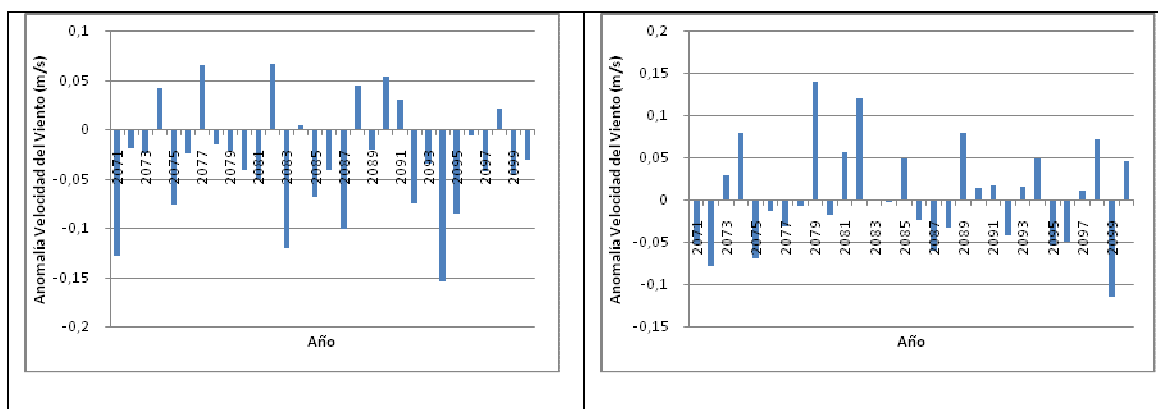


Figura 15. Variación anual de la velocidad diaria media del viento predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

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.

56) 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/m² diarios en el escenario A2 y 15 W/m² 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.

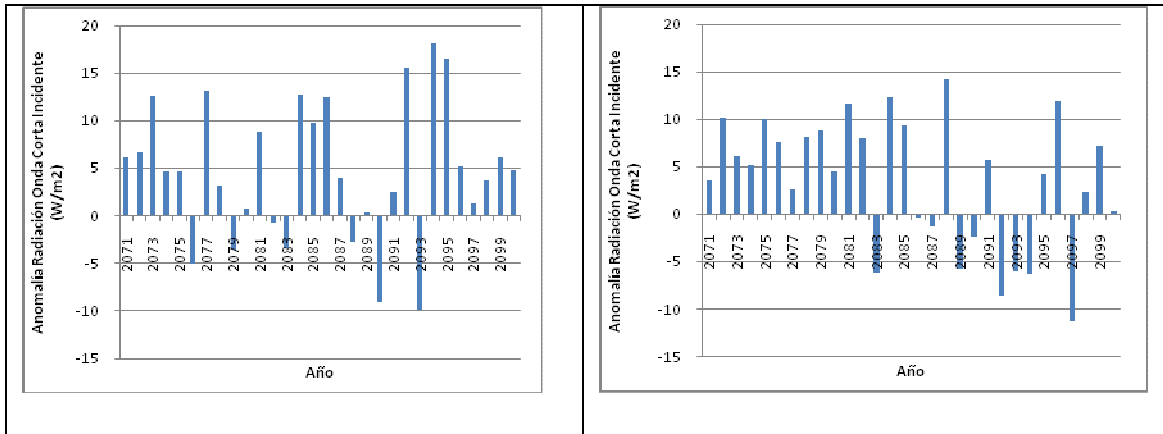


Figura 16. Variación anual de la radiación de onda corta media diaria predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

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: Anomalía de la temperatura media diaria para todos los modelos y escenarios analizados.

Escenario A2

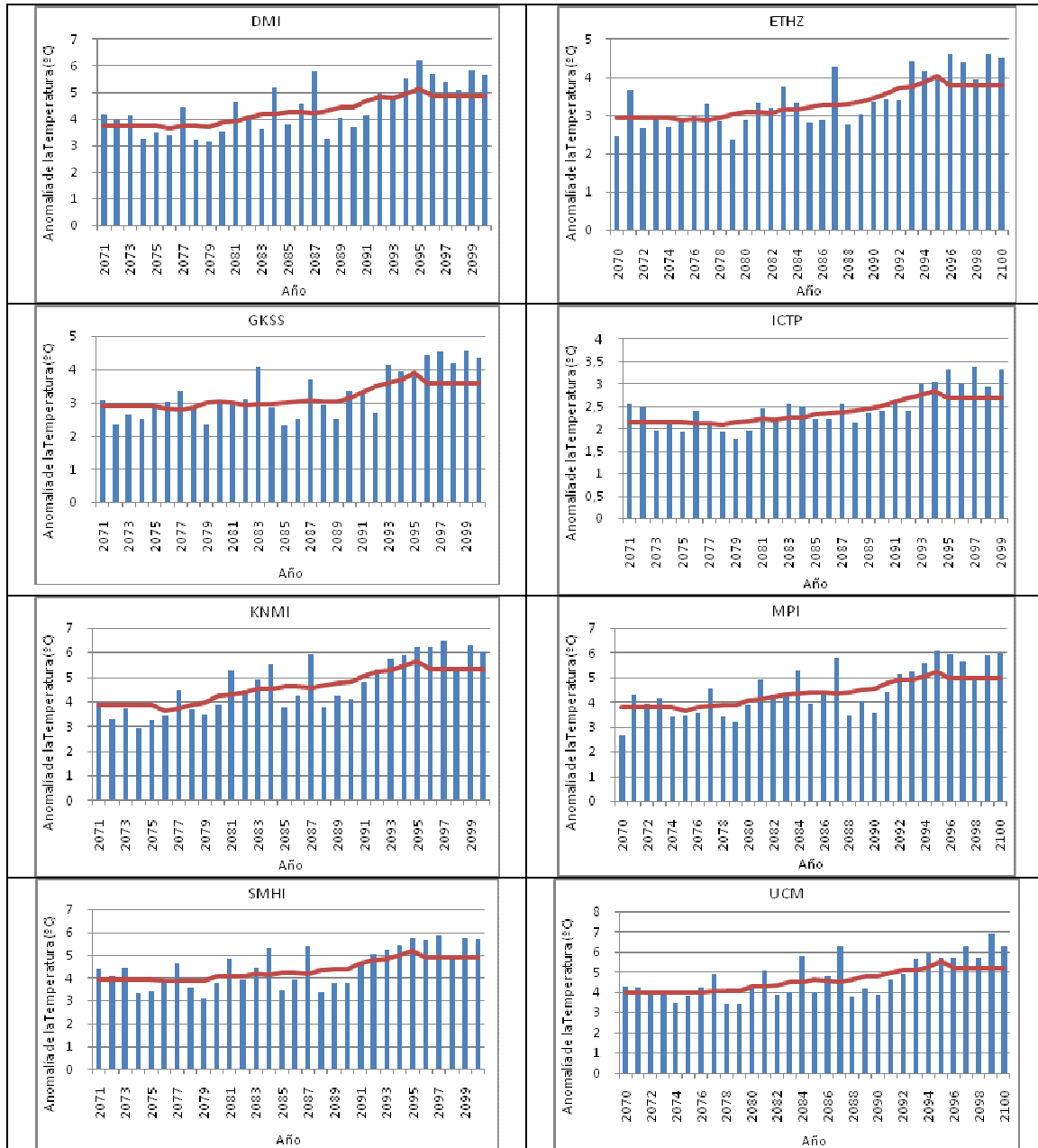


Figura 17. Variación anual de la temperatura media diaria para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Escenario B2

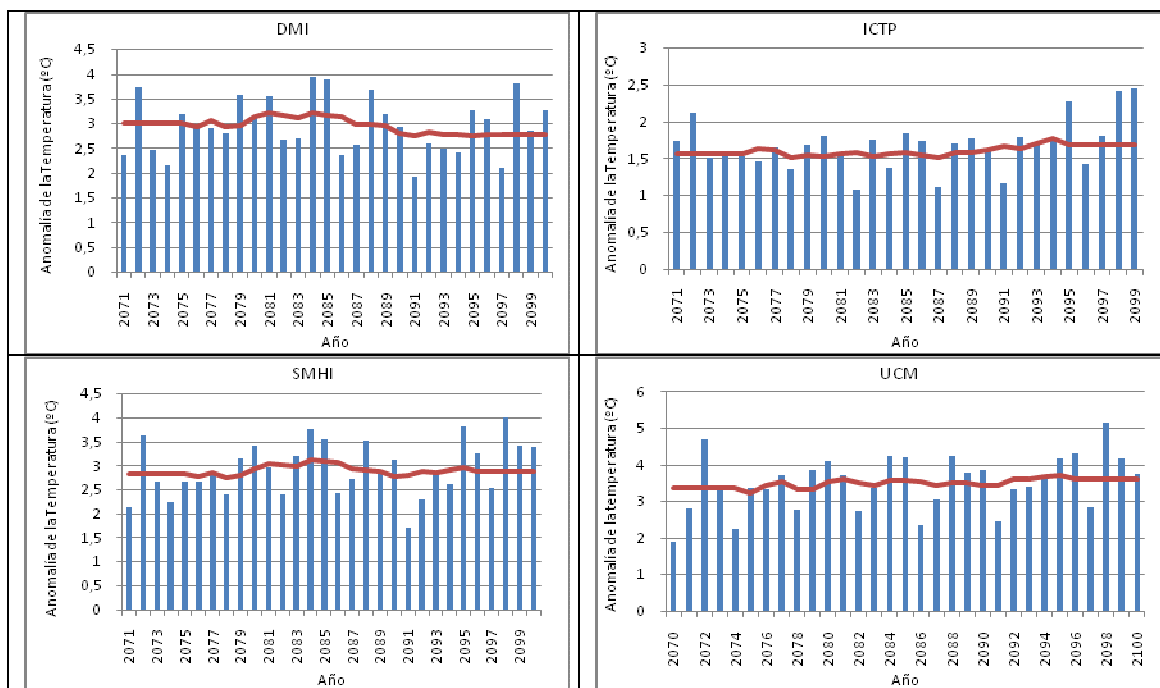


Figura 18. Variación anual de la temperatura media diaria para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones B2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

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

Escenario A2

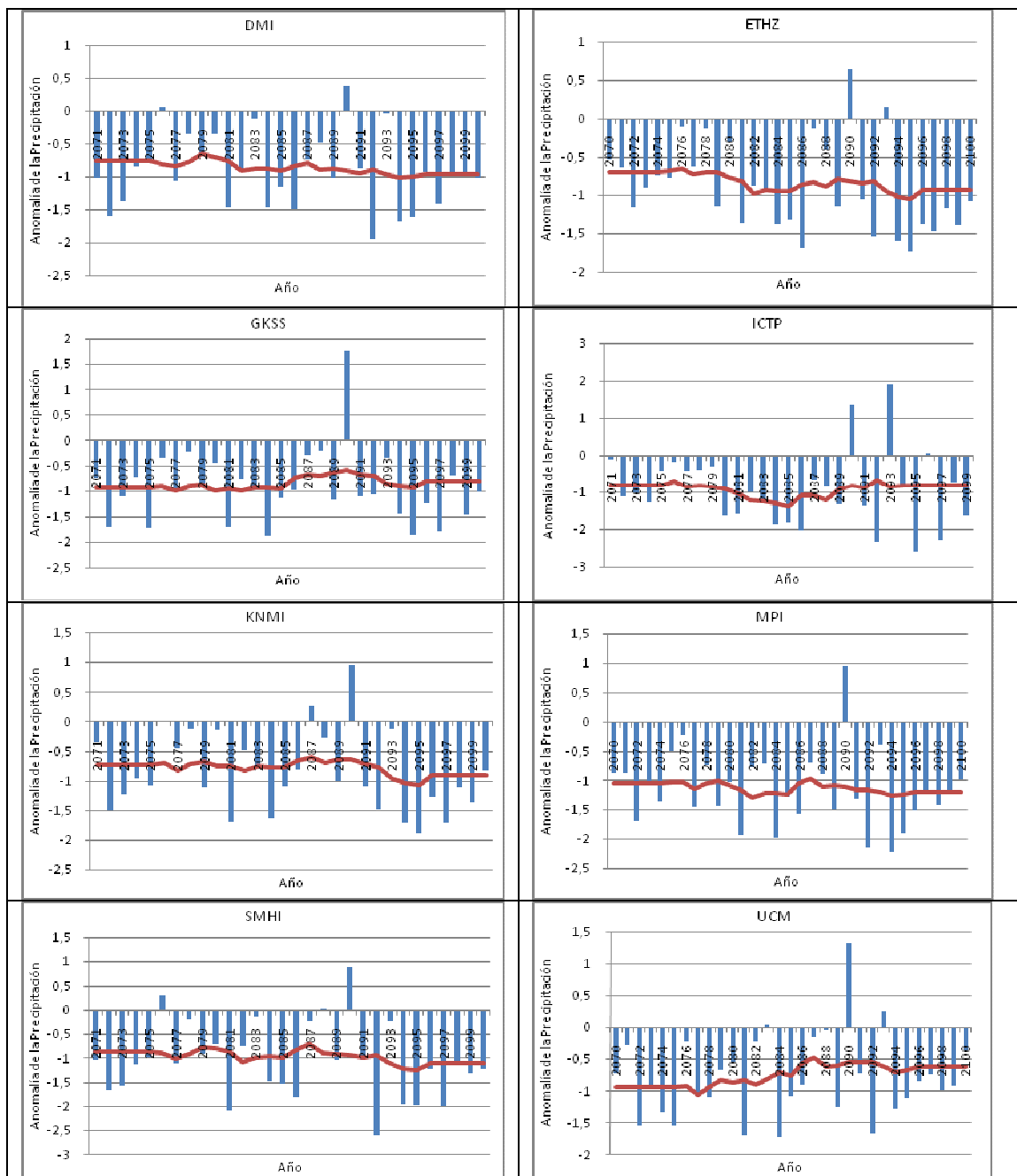


Figura 19. Variación anual de la precipitación anual acumulada para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Escenario B2

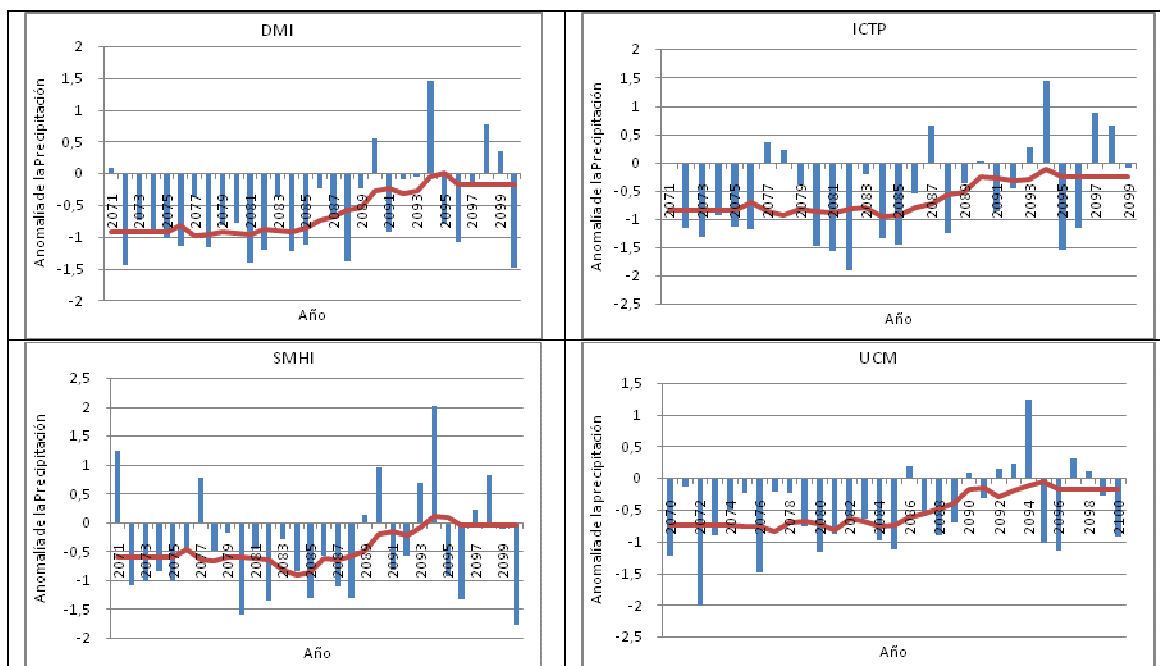


Figura 20. Variación anual de la precipitación anual acumulada para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones B2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

ANEXO VIII

Informe sobre impactos en Carnota - Galicia

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 (Carnota, Galicia).

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.

36) 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.

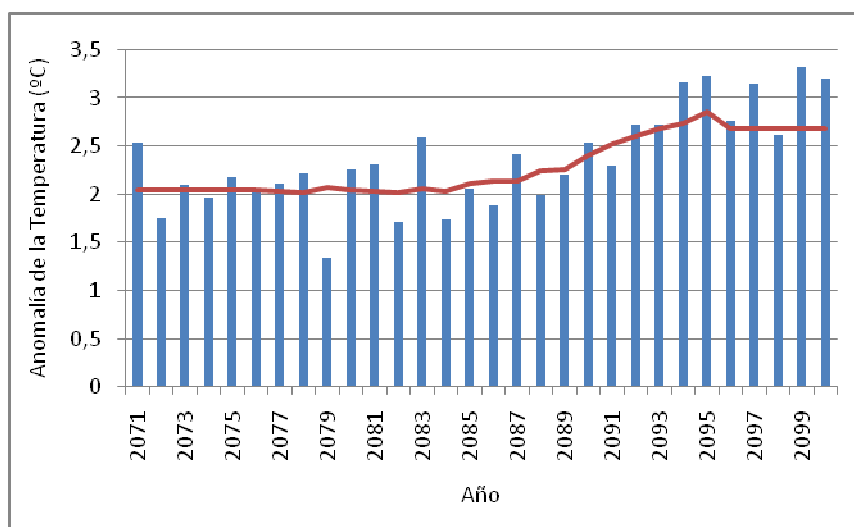


Figura 2. Variación anual de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del periodo 1961-1990. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

En esta gráfica, así como en las obtenidas con los otros siete modelos, observamos una anomalía positiva de la temperatura para todos los años respecto del periodo de referencia. Todos los modelos prevén un aumento de la temperatura media anual de entre 1.5 y 4 °C, menos el modelo RegCM del ICTP que prevé un aumento un poco mayor, entre 2 y 4.5 °C (ver Anexo I).

Es de resaltar también que todas las gráficas presentan una pendiente positiva, indicando un aumento de temperatura en promedio del orden de 0.44 °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 verano (entre 1 y 5 °C, excepto, según el modelo RegCM del ICTP, que prevé un aumento mayor en esta estación, entre 1.5 y 7 °C).

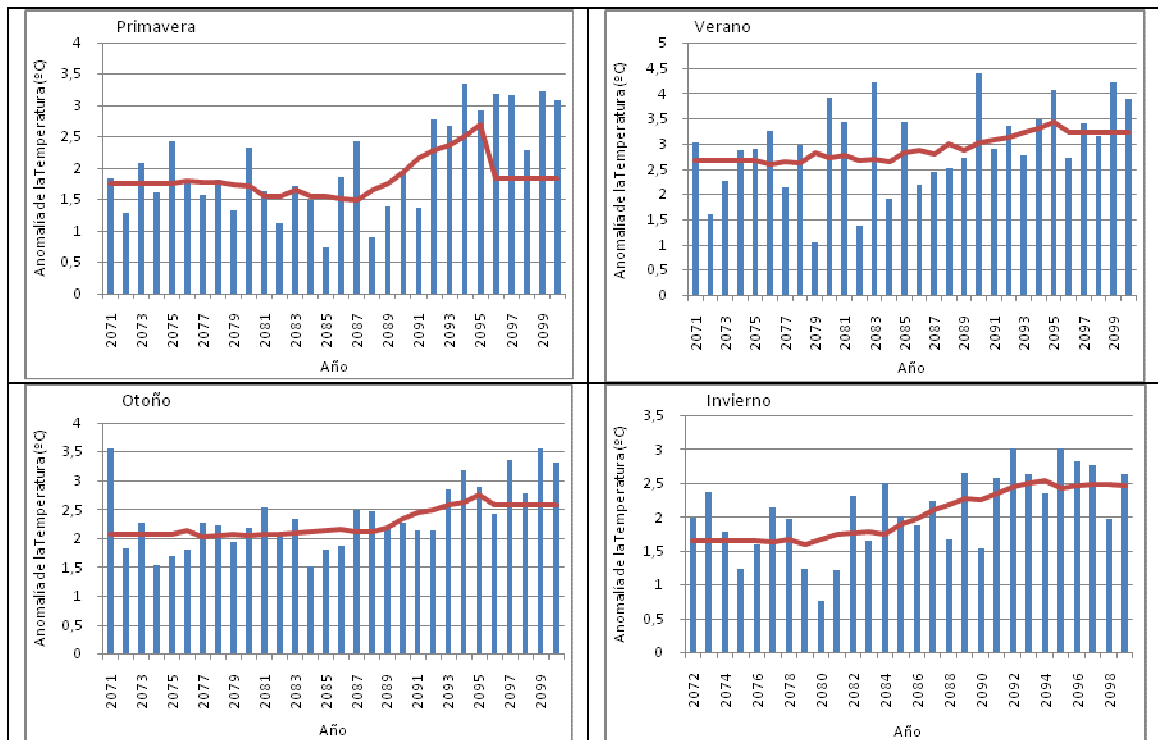


Figura 3. Variación estacional de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del periodo 1961-1990. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

37) 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 bastantes años más lluviosos que en el periodo de referencia.

Para esta variable no se observan tendencias significativas con ningún modelo. En la figura 4 se observan los resultados obtenidos con el modelo RACMO2:

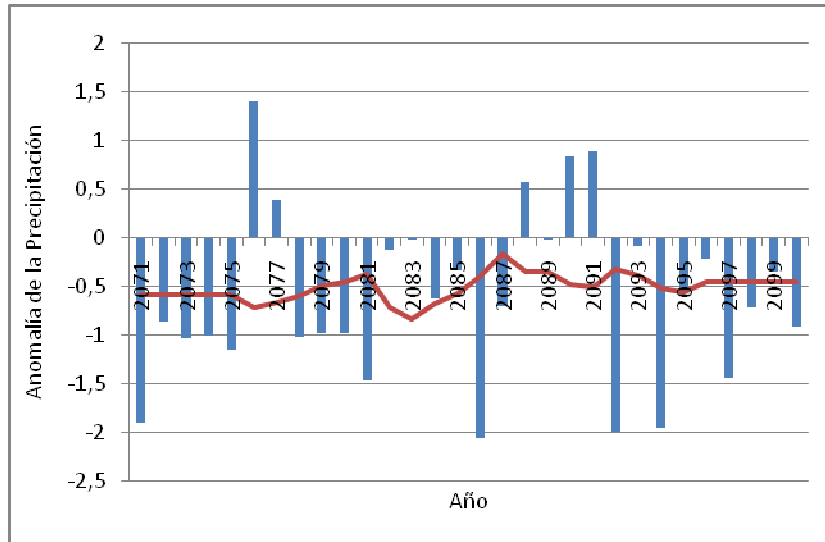


Figura 4. Variación anual de la anomalía de la precipitación total respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Estacionalmente observamos una marcada disminución de la precipitación en verano y 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).

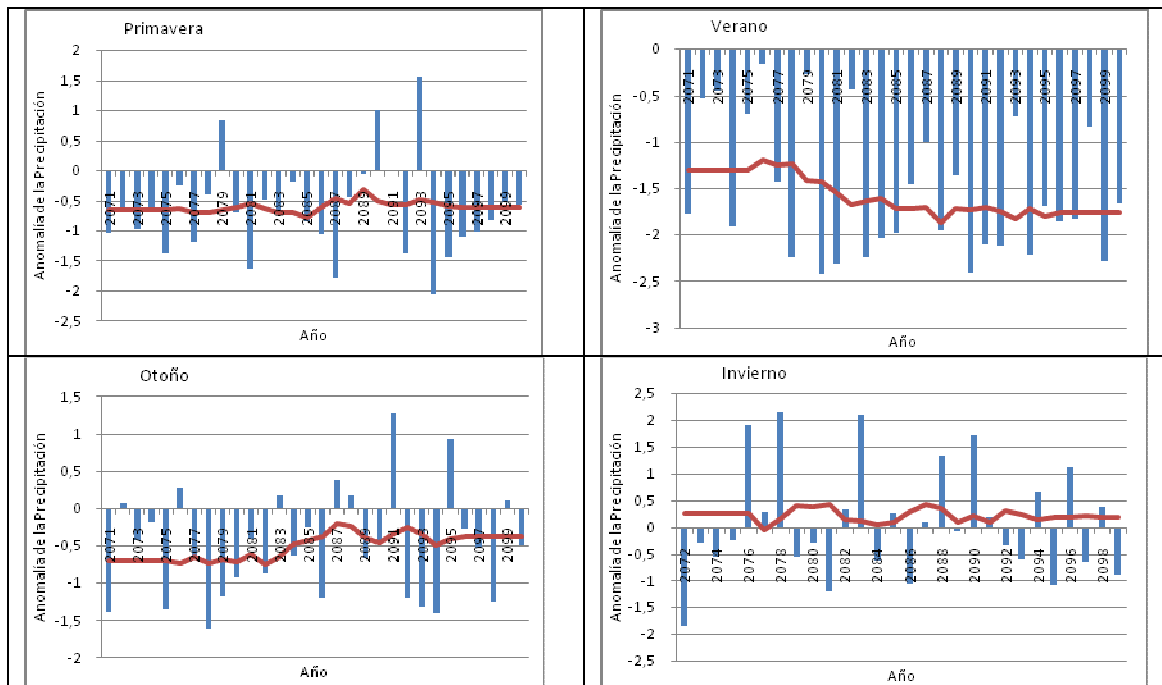


Figura 5. Variación estacional de la anomalía de la precipitación total respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

38) 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 70 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, mientras que en invierno se observa una alternancia de años con anomalías muy positivas y muy negativas.

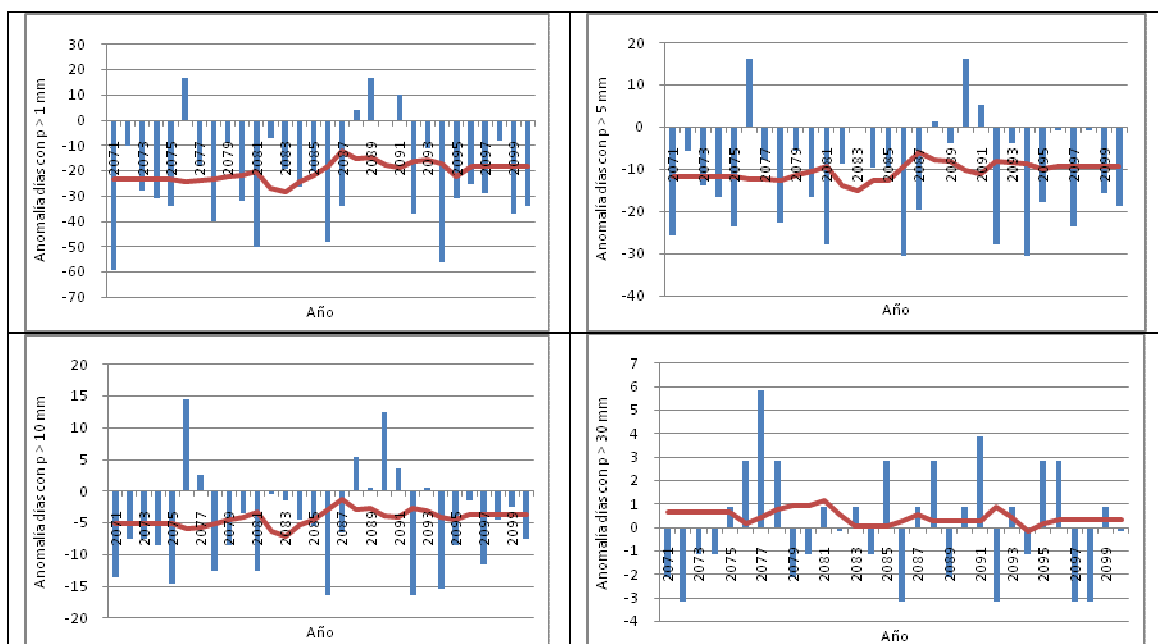


Figura 6. Variación interanual de la anomalía de los días con precipitación mayor que 1, 5, 10 y 30 mm respecto al periodo de referencia. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

39) 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 el p95 (figura 7).

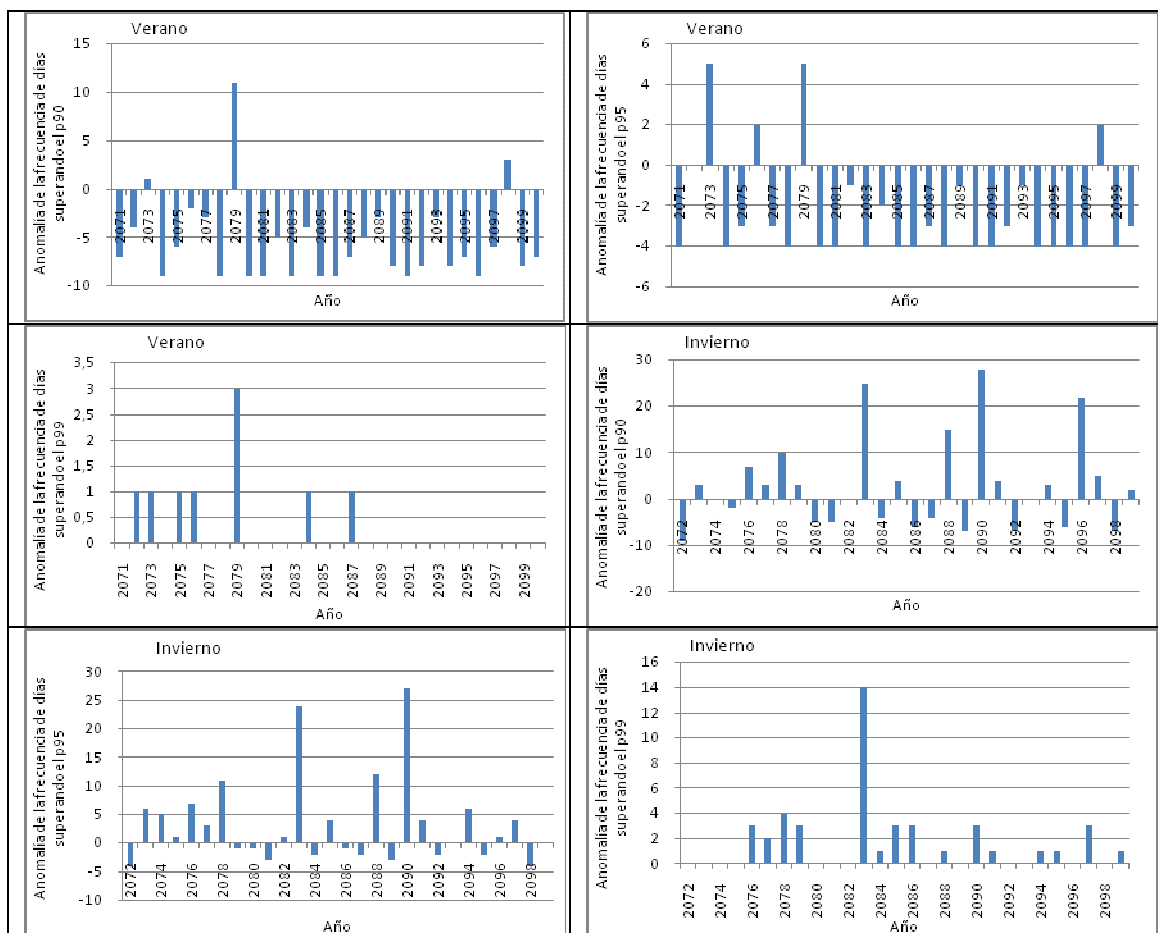


Figura 7. Variación estacional (verano e invierno) de la anomalía de los días con precipitación mayor que los percentiles p90, p95 y p99.

40) 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.

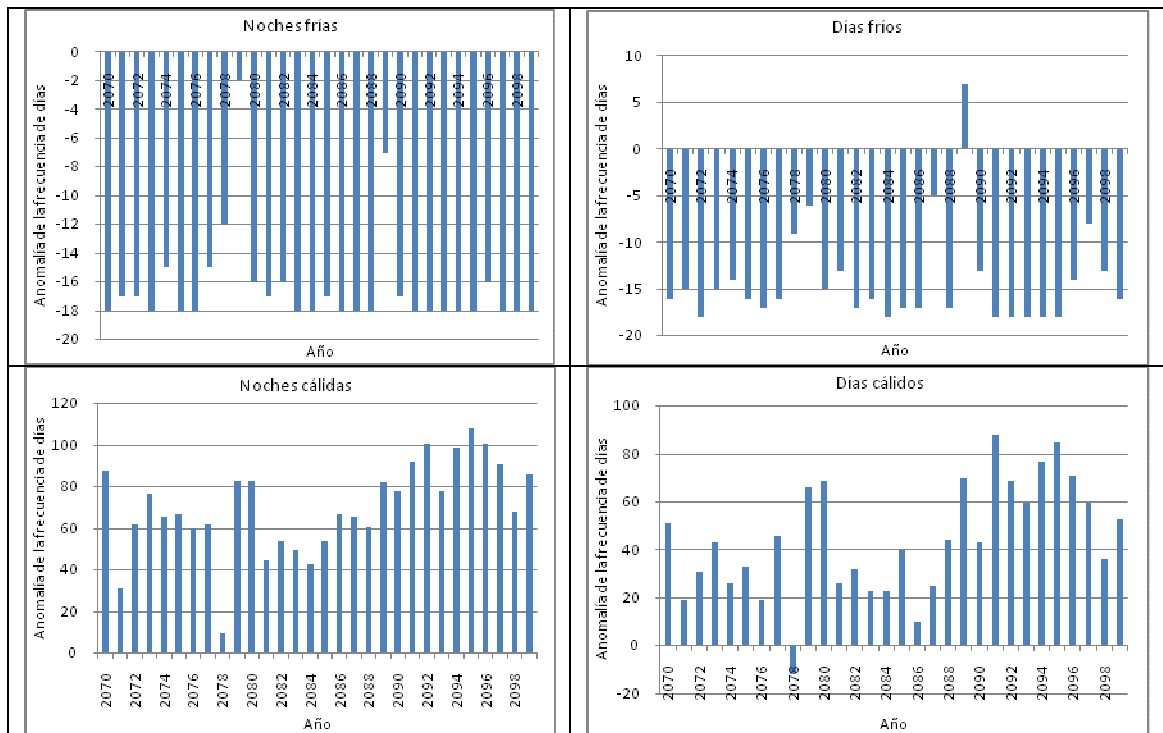


Figura 8. Variación interanual de la anomalía de los días y noches cálidas y frías respecto al periodo de referencia.

Sobre la significación de los resultados obtenidos en el análisis de temperaturas extremas, es de destacar que aparecen tendencias significativas para las anomalías de noches y días cálidos para todos los modelos menos el modelo PROMES de la UCM.

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 RAO del SMHI, 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.

57) Análisis de la temperatura

Todos los modelos prevén, a escala anual, un aumento de la temperatura de entre 0.5 y 3.5 °C (menor aumento que en el escenario A2). Existe una considerable discrepancia en la magnitud del aumento previsto por los cuatro modelos. El más conservador es el modelo HIRHAM del DMI, que predice un aumento de entre 0.75 y 2.25 °C, mientras que el más extremo es el RegCM del ICTP, que predice un aumento de entre 1 y 3.5 °C. Señalar que el test Tau-b de Kendall sólo nos da tendencias significativas para los modelos RAO del SMHI y PROMES de la UCM.

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 pequeñas anomalías negativas en primavera (0.5 °C o menos).

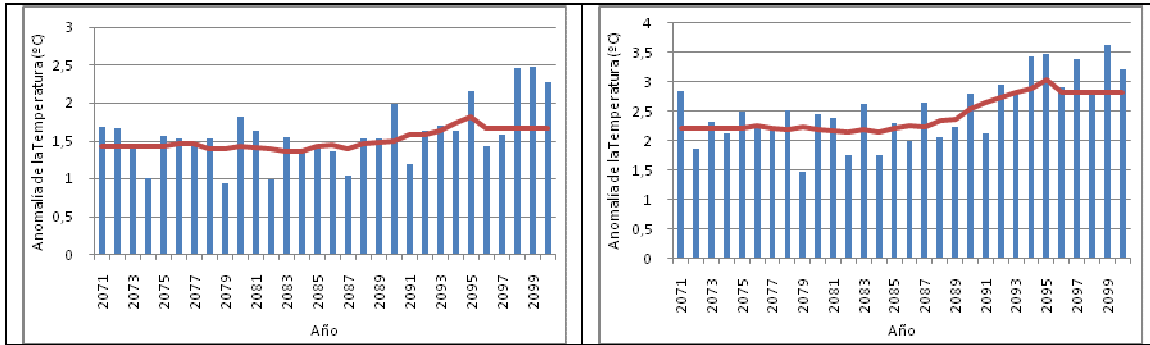


Figura 9. Variación anual de la temperatura media diaria, expresada como anomalía respecto del período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

58) 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, las anomalías son menos negativas que para el escenario A2 y aparecen más años con anomalías positivas más elevadas. Además, las anomalías positivas tienden a aparecer en la segunda mitad del período proyectado.

Estacionalmente el comportamiento es análogo al del escenario A2 aunque más conservador, siendo destacable una más marcada disminución de la precipitación en verano.

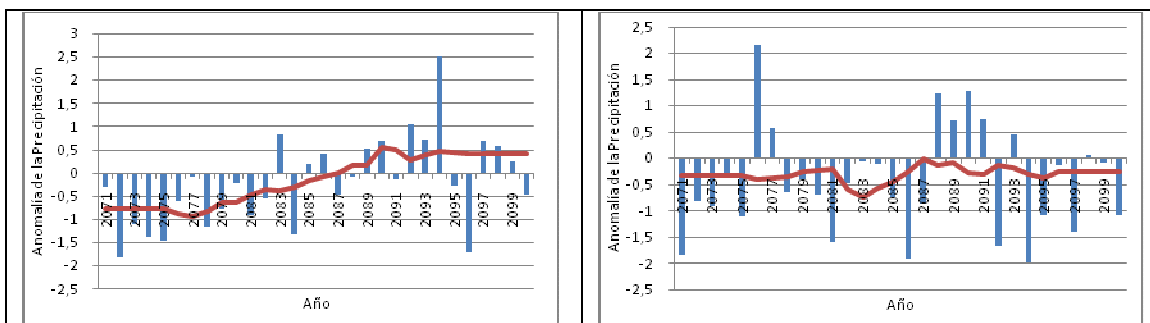


Figura 10. Variación anual de la precipitación total respecto al período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

59) 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. Por otra parte, se prevé un aumento de los fenómenos de

lluvia muy intensa (mayor que 30 mm por día) respecto del período de referencia, aunque también inferior al previsto en 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.

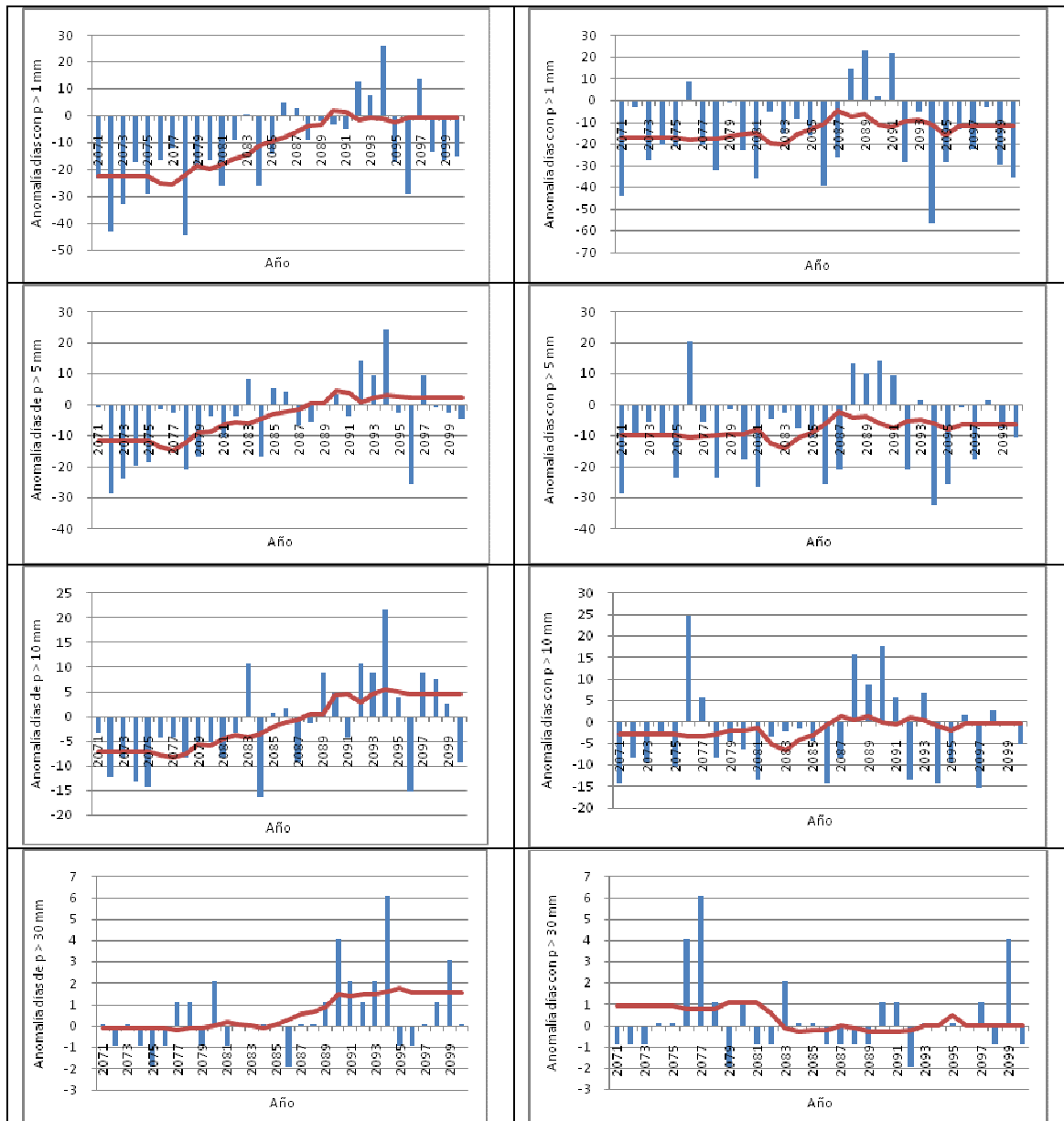


Figura 11. Variación anual de la anomalía en el número de días con precipitación mayor que 1, 5, 10 y 30 mm. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

60) 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 positivas (aumento respecto al período de referencia), siendo éstas menos extremas que las previstas por el escenario A2.

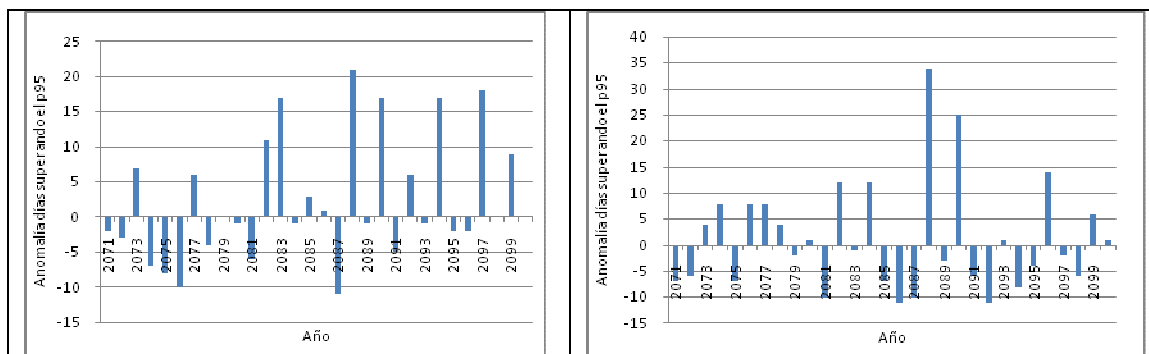
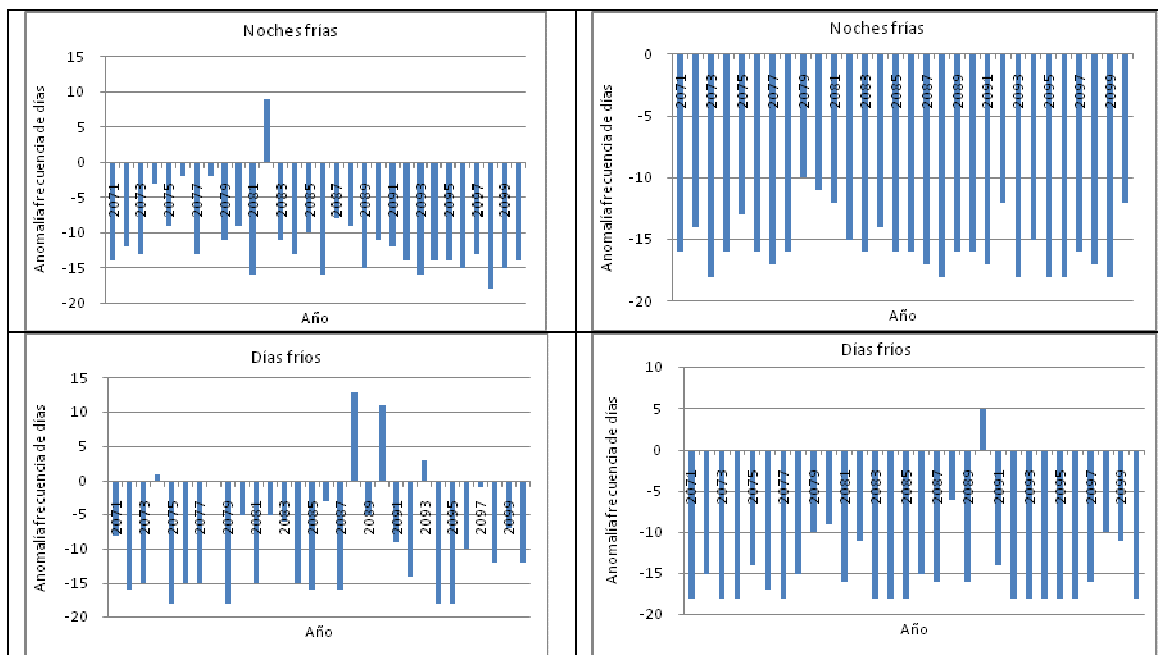


Figura 12. Variación anual de la anomalía en el número de días con precipitación mayor que el percentil 95. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2.

61) 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.



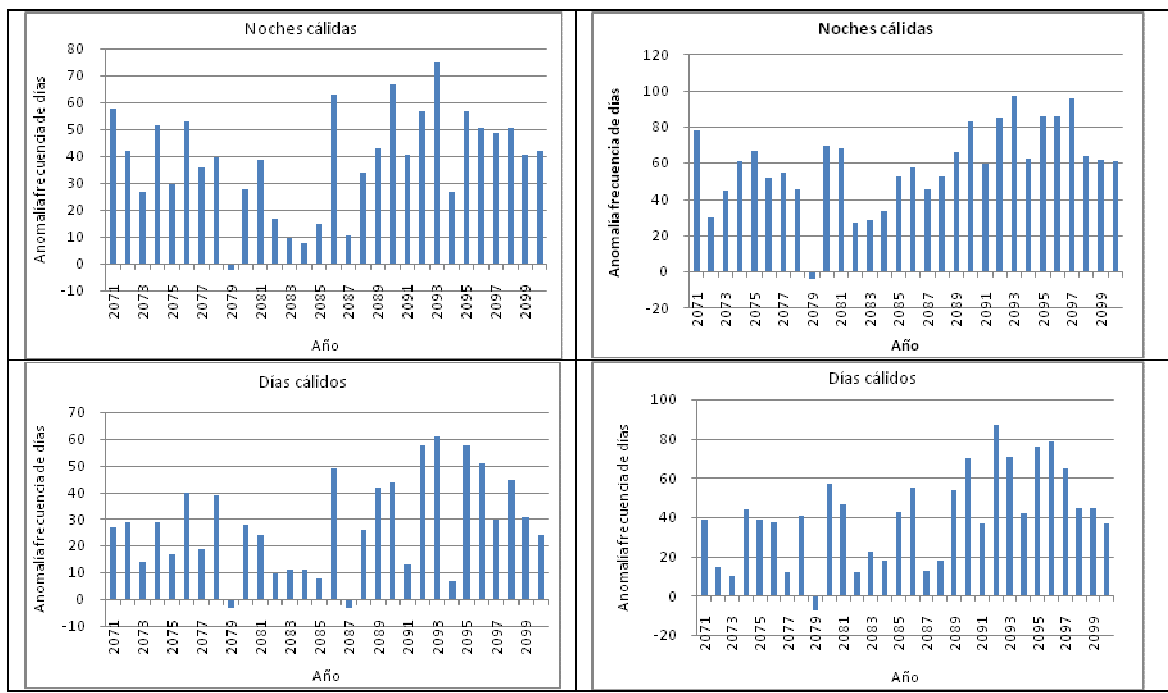


Figura 13. Variación anual de la anomalía de los días y noches cálidas y frías respecto al período de referencia. Izda: escenario B2. Dcha: escenario A2.

62) Evaporación

A escala anual se observa una disminución de la evaporación respecto a la media del período de referencia (0.10 mm menos en promedio para el escenario A2 y 0.08 mm para el escenario B2). En el escenario B2 se observa, en todos los modelos, un predominio de anomalías positivas en los últimos años del período proyectado (aumento de la evaporación).

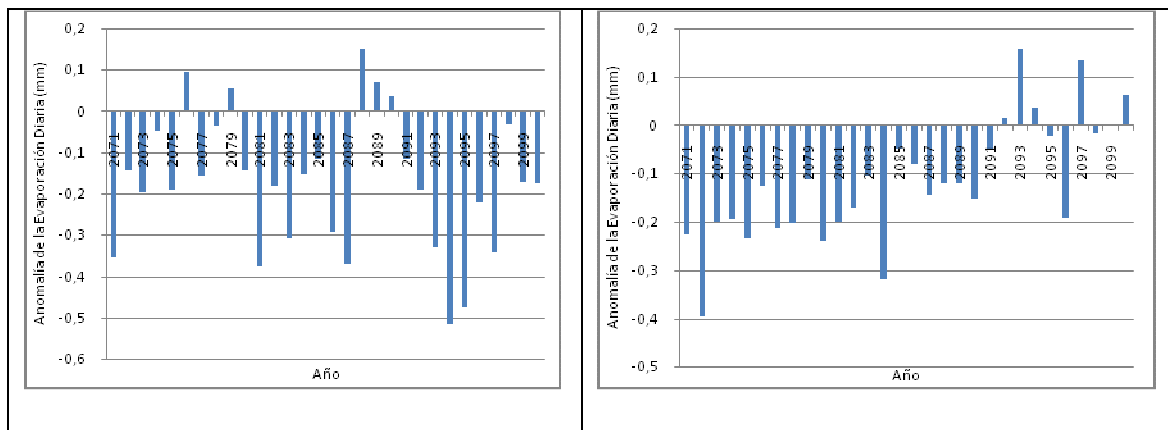


Figura 14. Variación anual de la evaporación diaria total predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

Estacionalmente, en otoño se observa una mayor reducción de la evaporación, en primavera e invierno una alternancia de años con anomalías positivas y negativas (siendo éstas más exageradas en invierno), mientras que para el verano se observan discrepancias entre los modelos (mientras el modelo HIRHAM del DMI y el PROMES de la UCM prevén un aumento de la evaporación, los modelos RCAO del SMHI y RegCM del ICTP prevén una disminución de la misma).

63) Viento a 10 m

A escala anual todos los modelos prevén un aumento de la velocidad del viento para ambos escenarios (algo menor para el escenario B2).

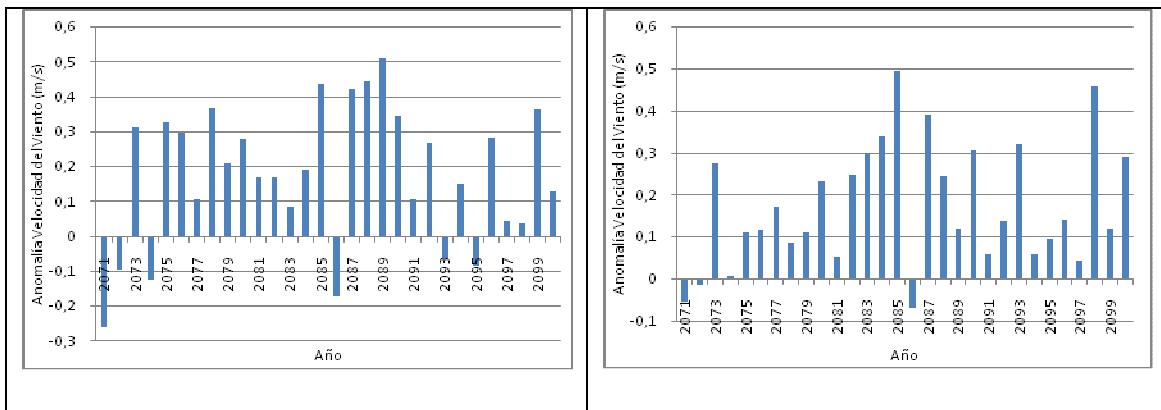


Figura 15. Variación anual de la velocidad diaria media del viento predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

En cuanto a la escala estacional, destacar que se produce un considerable aumento de la velocidad del viento en verano. En las demás estaciones se observa una alternancia de años con anomalías positivas y negativas (siendo éstas de mayor magnitud en invierno).

64) 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 30 W/m² diarios en el escenario A2 y 22 W/m² en el escenario B2).

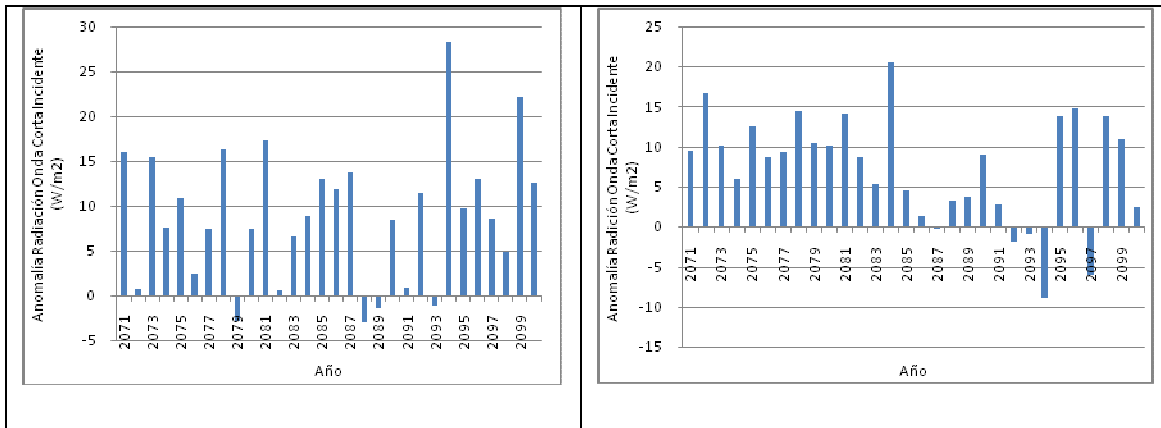


Figura 16. Variación anual de la radiación de onda corta media diaria predicha en el escenario A2 (izda) y B2 (dcha).

Estacionalmente, en primavera y verano el aumento de la radiación es bastante mayor que en las demás estaciones y que a escala anual y sólo en invierno se observa un predominio de años con anomalías negativas (reducción de la radiación).

Conclusión

Hemos realizado una estimación de la magnitud del cambio climático en Carnota (Galicia), 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 entre 1.5 y 4 °C en el escenario A2 y entre 0.5 y 3.5 °C en el escenario B2.
- Disminución generalizada de la precipitación anual de hasta 540 mm para el escenario A2 y 570 mm para el escenario B2. No obstante se observan años con precipitación anual hasta 460 mm por encima de la del período de referencia para el escenario A2 y de hasta 475 mm para el B2. Disminución también de la precipitación a escala estacional, excepto en invierno.
- Disminución de la frecuencia de días de lluvia, aumento de la frecuencia de días de lluvia intensa.
- Aumento del número de días y noches cálidas (aproximadamente 60 noches cálidas más por año para el escenario A2 y 40 más para el B2; 45 días cálidos más por año para el A2 y 30 para el B2). Ligera disminución del número de días y noches frías.
- A escala anual se observa una disminución de la evaporación. Estacionalmente se prevé una mayor disminución de la evaporación en otoño, una alternancia de años con anomalías negativas y positivas en primavera e invierno y en verano los modelos discrepan a la hora de estimar esta variable.
- Aumento de la velocidad del viento a 10 m.
- Aumento de la radiación de onda corta incidente sobre la superficie a escala anual. En primavera y verano el aumento es especialmente mayor, mientras que en invierno se produce una disminución de esta variable en la mayoría de los años del periodo estudiado.

Señalamos además que la diferencia entre las simulaciones con los distintos modelos no es grande, excepto para la evaporación diaria en verano. 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: Anomalía de la temperatura media diaria para todos los modelos y escenarios analizados.

Escenario A2

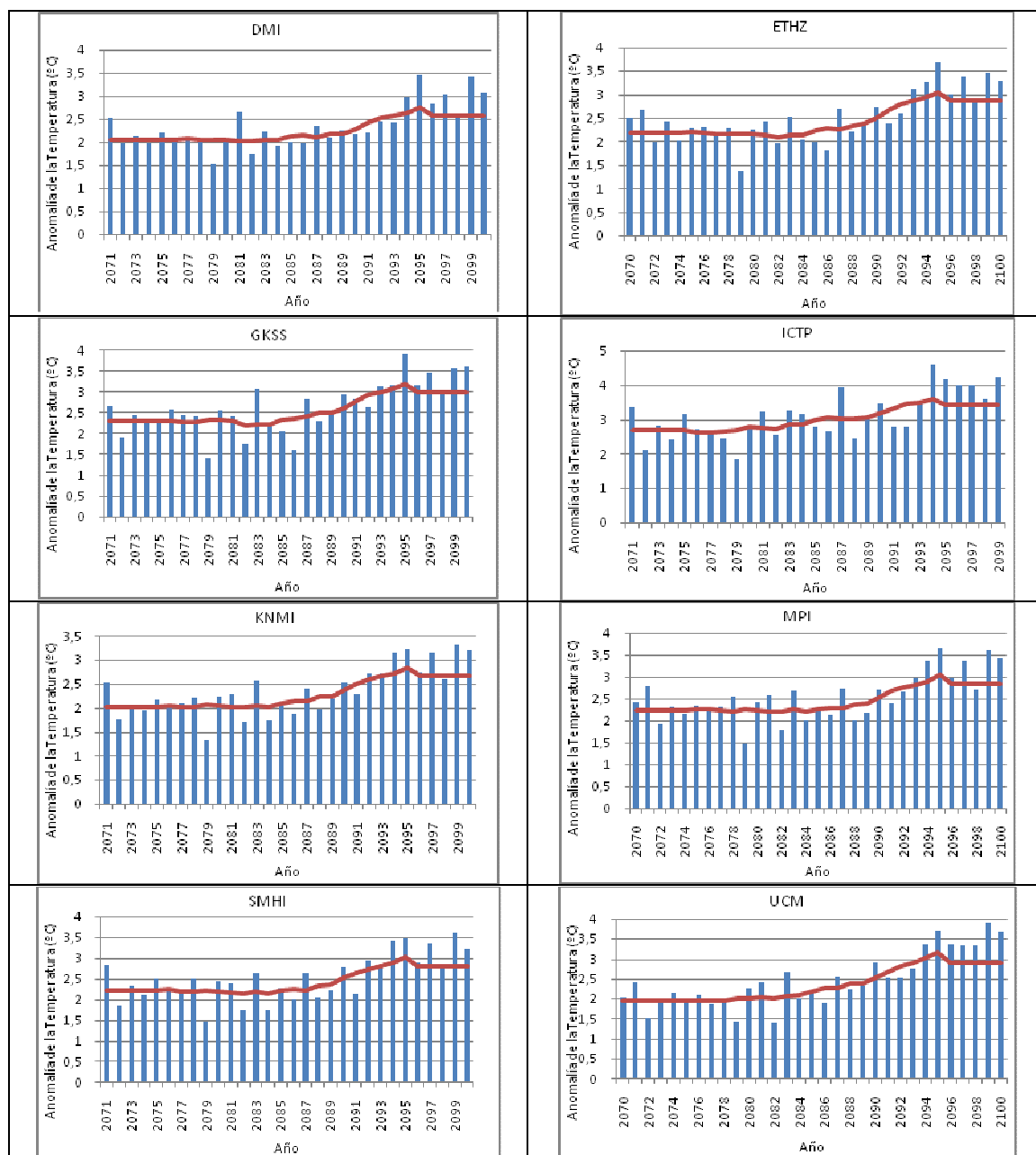


Figura 17. Variación anual de la temperatura media diaria para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Escenario B2

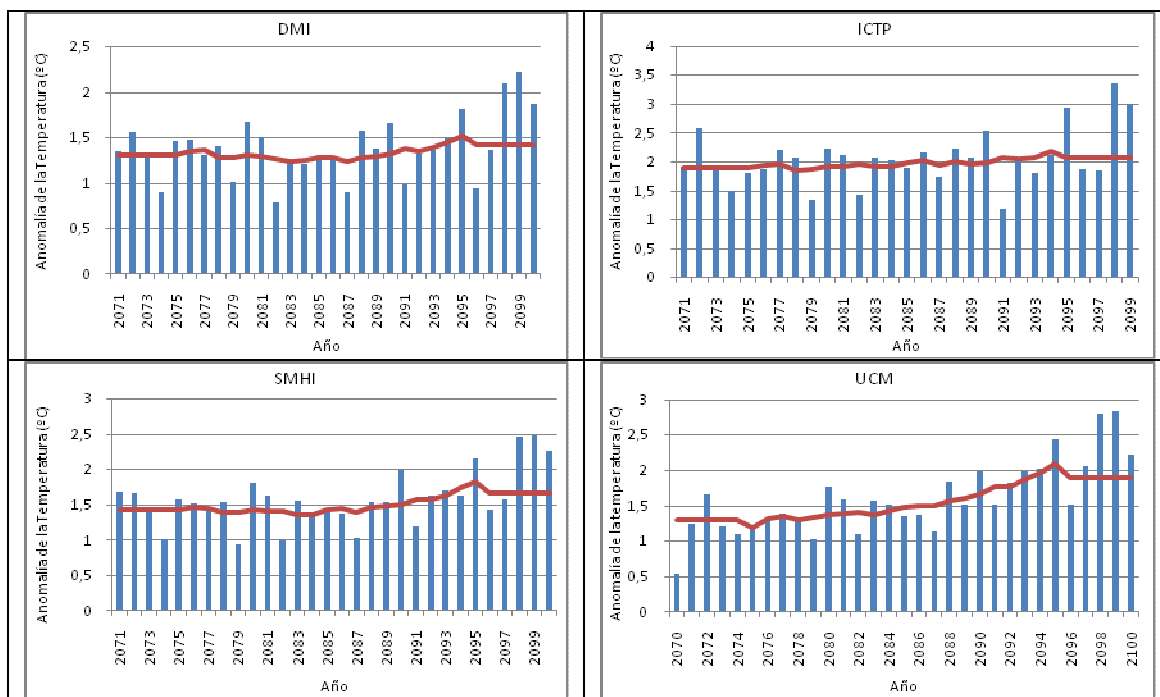


Figura 18. Variación anual de la temperatura media diaria para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones B2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

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

Escenario A2

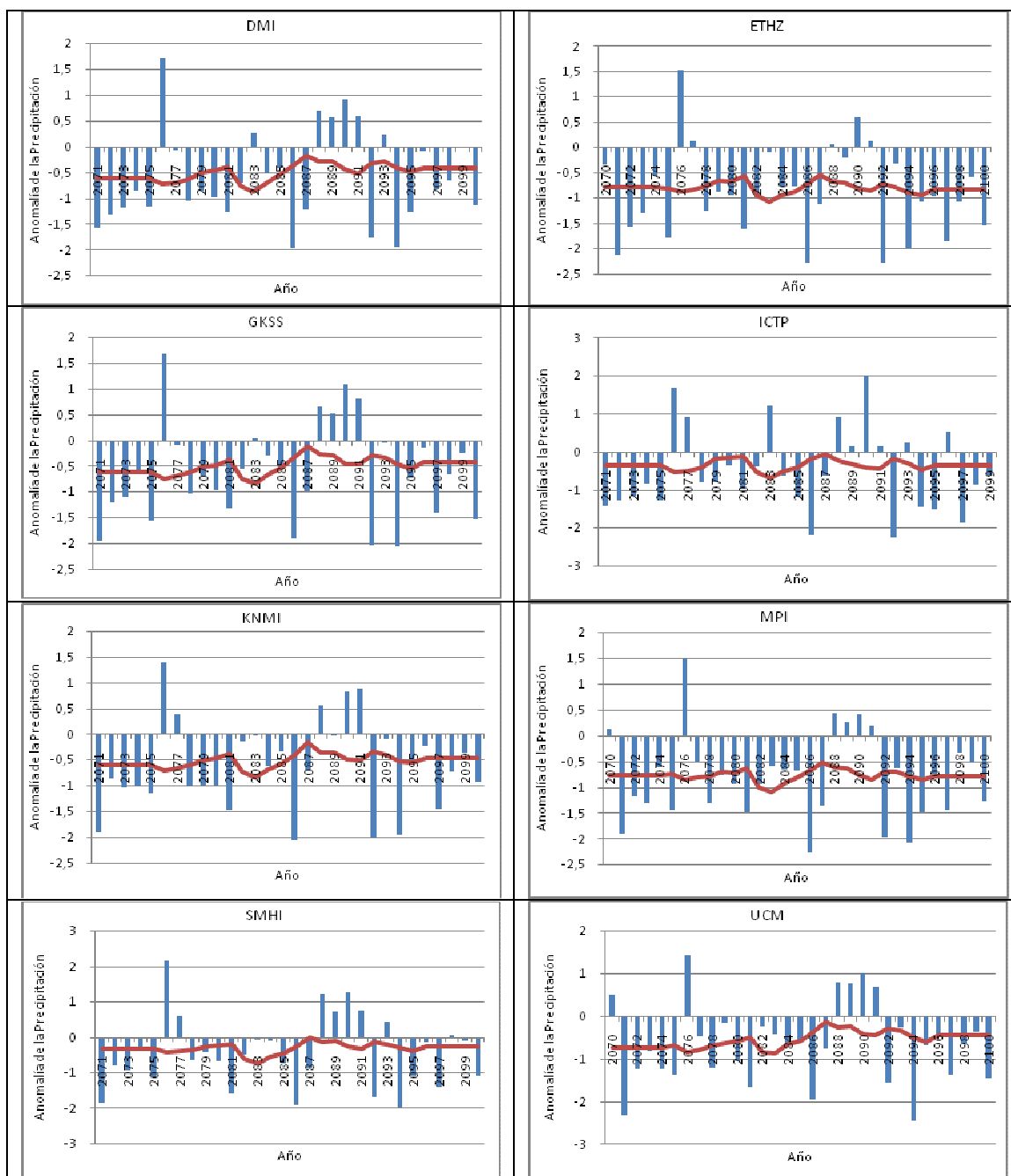


Figura 19. Variación anual de la precipitación anual acumulada para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones A2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Escenario B2

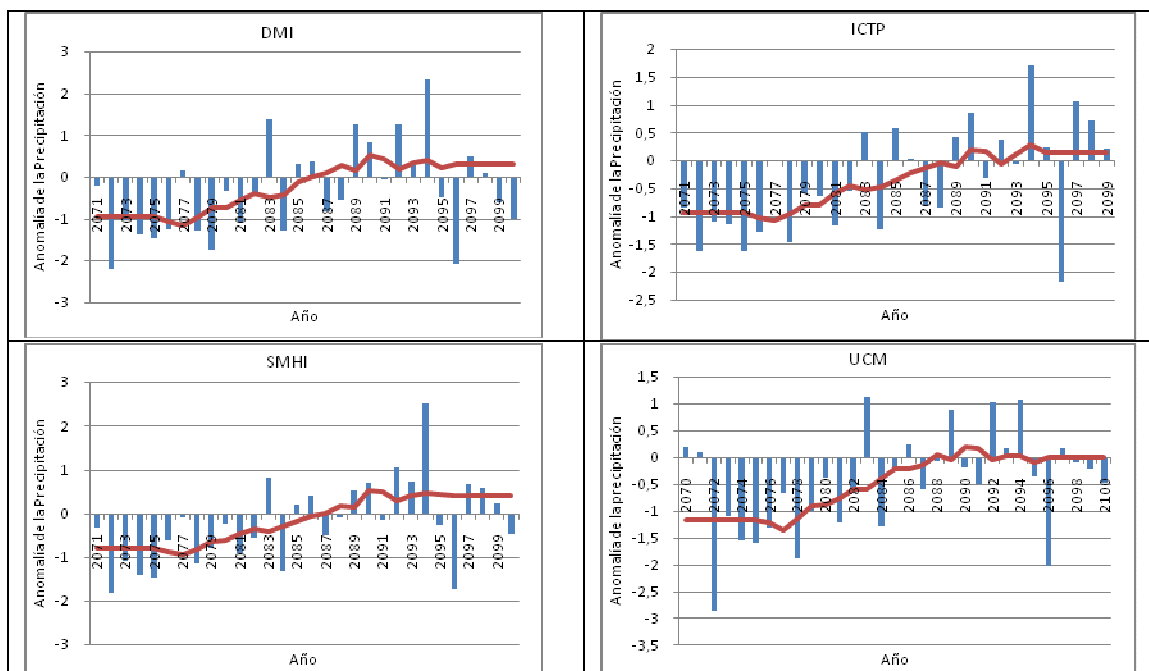


Figura 20. Variación anual de la precipitación anual acumulada para distintos modelos regionales suponiendo un escenario de emisiones B2. La línea roja muestra la media móvil de 10 años.

Bibliografía

- Intergovernmental Panel on Climate Change (2000). Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by N. Nakicenovic and R. Swart, 599 pp. Cambridge Univ. Press, New York.
- PRUDENCE (Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects): <http://prudence.dmi.dk/>
- Reichler T. and Kim J. (2008). How Well Do Coupled Models Simulate Today's Climate? Bull. Amer. Meteor. Soc., 89, 303-311.