

# EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS RECURSOS HÍDRICOS EN RÉGIMEN NATURAL

## RESUMEN EJECUTIVO

Encomienda de Gestión de la Dirección General del Agua (MARM) al  
CEDEX para el estudio del cambio climático en los recursos hídricos y las  
masas de agua

**Desarrollo de los trabajos:** *Centro de Estudios y Experimentación de  
Obras Públicas (CEDEX)*

**Dirección:** *Dirección General del Agua (DGA)*

**Supervisión:** *Oficina Española de Cambio Climático  
(OECC)*

**Jornada de presentación**

30 de junio de 2011

Salón de actos del MARM



## INTRODUCCIÓN

1. El agua es un recurso económico, ambiental, cultural y de bienestar social limitado. Por ello, la sociedad muestra un constante interés por el agua. A las incertidumbres sobre su disponibilidad y calidad se añaden actualmente las derivadas del impacto del cambio climático.
2. Según las previsiones del cambio climático realizadas hasta la fecha en España, el impacto sobre el agua es de carácter negativo: reducción de los recursos hídricos y aumento de la magnitud y frecuencia de fenómenos extremos como inundaciones y sequías.
3. El Libro Blanco del Agua en España, publicado en el año 2000, expone que el cambio climático produciría, en el escenario menos pesimista, una disminución del 5% en las aportaciones totales en régimen natural en España, siendo el impacto más severo en el sureste peninsular, la cuenca del Guadiana, el valle del Ebro y la España insular. Esta disminución vendría acompañada de una mayor variabilidad anual, interanual y estacional.
4. Este documento es una síntesis del estudio *Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural en España*, cuya realización fue encomendada al Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) por la Dirección General del Agua con la participación de la Oficina Española del Cambio Climático. El estudio forma parte de un trabajo más amplio en el que también se analizan los efectos del cambio climático sobre las demandas de agua, sobre los recursos hídricos disponibles en los sistemas de explotación y sobre el estado ecológico de las masas de agua.

## OBJETIVOS Y ALCANCE

5. El objetivo de este trabajo es el análisis del efecto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural en España.
6. Quedan fuera del alcance de este estudio los aspectos relacionados con medidas correctoras de estos impactos.
7. Los recursos hídricos en régimen natural son los correspondientes a un ciclo hidrológico en el que no se ha realizado ninguna alteración humana, ni en la cantidad ni en la secuencia temporal de los procesos hidrológicos. Las alteraciones posibles son muy variadas: tomas de agua de un río, extracciones de acuíferos, regulación en embalses, trasvases, etc.
8. El régimen natural solamente existe en pequeñas cuencas de cabecera, alejadas de las fuentes de alteración humana y de los usos del agua, pero es un concepto útil en planificación hidrológica. Los recursos hídricos en régimen natural son un elemento clave en los sistemas de explotación, junto con las demandas, las infraestructuras hidráulicas, los acuíferos, las reglas de gestión, las restricciones medioambientales, etc.

## DATOS E HIPÓTESIS DE PARTIDA

9. El punto de partida de este trabajo han sido los escenarios climáticos regionalizados, denominados proyecciones en este informe, elaborados por la Agencia Estatal de Meteorología. Estas proyecciones combinan los resultados de modelos de simulación del comportamiento de la atmósfera y el océano (modelos de circulación global), realizados por diversos organismos internacionales, para distintos supuestos de emisión de gases de efecto invernadero, a los que se aplica posteriormente un proceso de adaptación regional para mejorar su precisión a escala local (técnicas de regionalización). Para este estudio, la Agencia ha seleccionado doce de estas proyecciones, representativas de la variabilidad del conjunto de proyecciones, obtenidas como combinación de seis modelos regionalizados y dos escenarios de emisión.
10. Los escenarios de emisión elegidos (A2 y B2) forman parte del conjunto de escenarios de emisión de gases de efecto invernadero establecidos en el año 2000 por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (conocido por sus siglas inglesas, IPCC). Cada uno de ellos refleja un grado diferente de evolución de diversos factores socioeconómicos. Estos dos escenarios, seleccionados por la Agencia Estatal de Meteorología, abarcan un amplio margen de variación, por lo que se consideran suficientemente representativos del conjunto de escenarios.
11. Las proyecciones climáticas están compuestas por datos diarios de precipitación y temperatura en cuatro periodos temporales: 1961-1990 (periodo de control), 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.
12. Las fases del ciclo hidrológico se han simulado utilizando un modelo de recursos hídricos desarrollado por el CEDEX bajo las condiciones impuestas por las proyecciones de precipitación y temperatura seleccionadas. La escala de trabajo ha sido mensual y los principales resultados se refieren a la evapotranspiración, a la recarga de los acuíferos y a la escorrentía total, suma de la superficial y de la subterránea. La escorrentía de cada celda del territorio se ha acumulado en la red de drenaje para dar valores de aportación
13. Se ha adoptado un procedimiento directo de análisis basado en obtener desviaciones porcentuales entre los resultados de cada periodo del siglo XXI (punto 11) y el periodo de control, asumiendo que el clima se hubiera comportado según los datos de las proyecciones durante dicho periodo de control.

## RESULTADOS

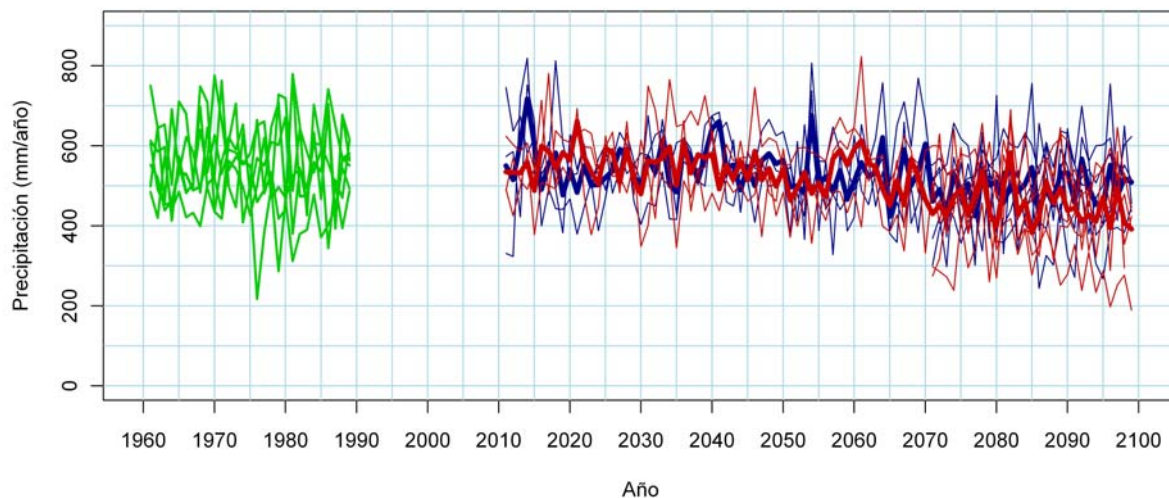
14. La comparación de las proyecciones y los datos observados en el período de control revela importantes diferencias en cuanto a escala, variabilidad y evolución estacional, especialmente en el caso de la precipitación.

### Precipitación

15. Las proyecciones pronostican una reducción generalizada de la precipitación conforme avanza el siglo XXI, por lo que se reducirían las disponibilidades de agua.

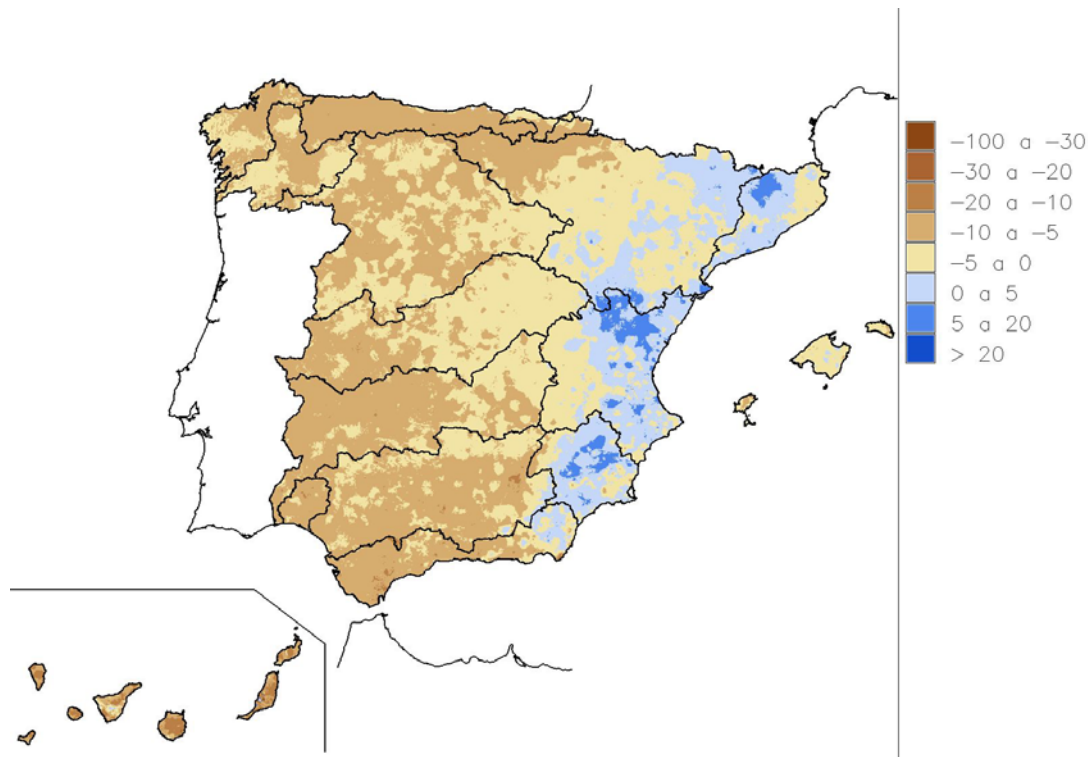
16. El conjunto de proyecciones del escenario de emisiones A2 supone decrementos de precipitación media en España en el entorno del -5%, -9% y -17% durante los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 respectivamente (Figura 1).

17. Se obtienen cifras similares en el 1<sup>er</sup> periodo del escenario B2 y un ligero incremento en el 2<sup>o</sup> periodo con una disminución de lluvia del -8%. Sin embargo, esta tendencia se suaviza en el 3<sup>er</sup> periodo llegando a una disminución del -9% (Figura 1).



**Figura 1. Evolución de la precipitación anual en España según las distintas proyecciones. Periodo de control (verde); escenario de emisiones A2 (rojo); B2 (azul). Promedios de las proyecciones en trazo grueso**

18. Existen diferencias regionales entre zonas de costa e interior y entre zonas con mayor o menor influencia mediterránea o atlántica (Figura 2).

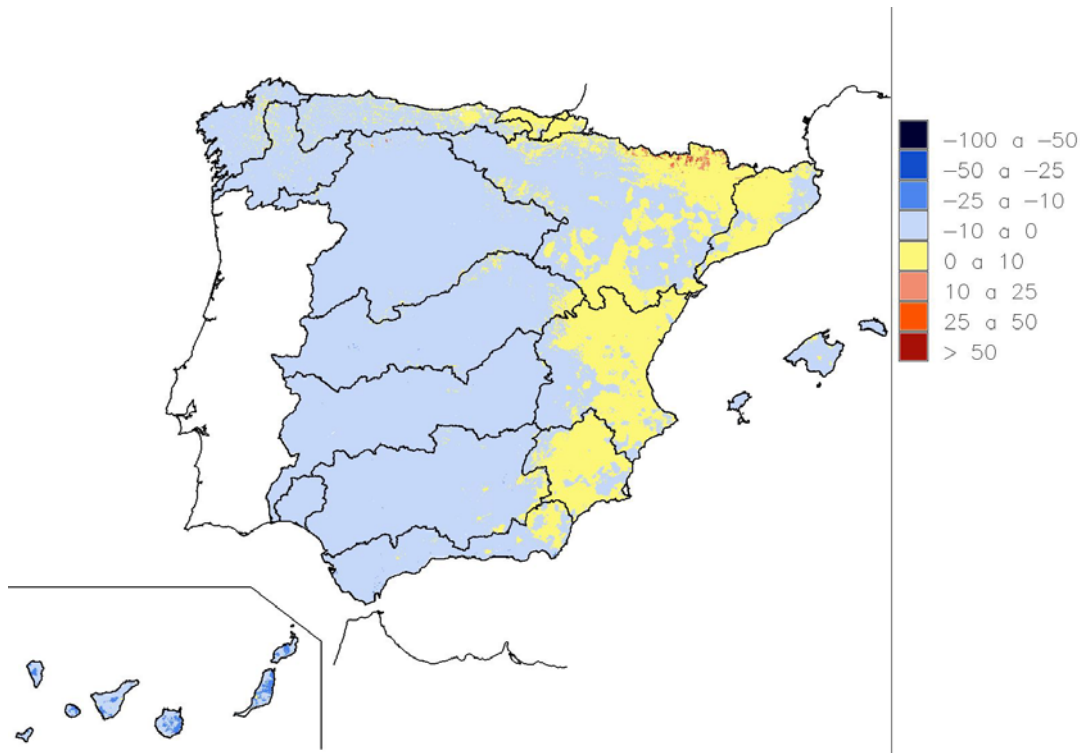


**Figura 2. Variación de la precipitación (%) 2011-2040 respecto al periodo de control para el promedio de las proyecciones del escenario A2**

19. El mapa de la Figura 2 muestra que en la zona oriental de la Península se prevén menores disminuciones e incluso algún aumento para el periodo y el escenario considerados.
20. El análisis realizado sobre las precipitaciones máximas diarias, directamente relacionadas con la ocurrencia de inundaciones, revela importantes incertidumbres derivadas de las diferencias de resultados entre proyecciones. Debido principalmente a la tendencia decreciente de la lluvia total anual, se aprecia un aumento de la proporción de la precipitación máxima diaria respecto a la lluvia total anual en un número considerable de regiones de España.

## Evapotranspiración

21. Se prevé un aumento de temperatura y, por tanto, de evaporación y transpiración por las plantas (evapotranspiración). Sin embargo, el efecto de este aumento en el ciclo hidrológico es menor por concentrarse en verano durante el cual el suelo tiene un reducido contenido de agua.
22. Las variaciones de valores medios de evapotranspiración se han estimado en el -3% para 2011-2040, -6% para 2041-2070 y -12% para 2071-2100 en el escenario A2. Para el escenario B2 son del -5%, -6% y -7% respectivamente.
23. La Figura 3 muestra, para el caso del escenario A2, las diferencias regionales en la variación de la evapotranspiración en el período 2011-2040 respecto al periodo de control.



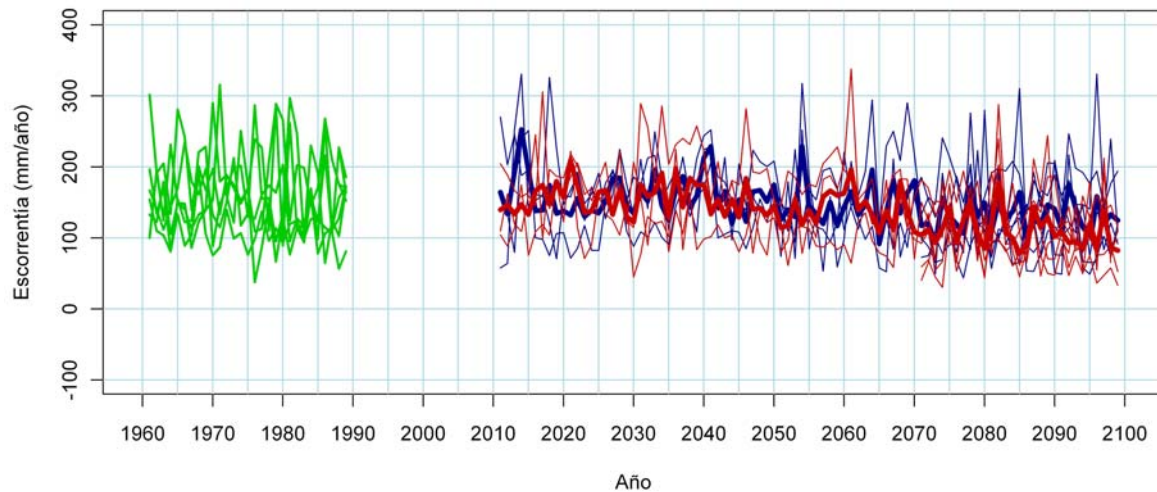
**Figura 3. Variación de la evapotranspiración (%) en el período 2011-2040 respecto al periodo de control como promedio de las proyecciones A2**

## Recarga subterránea

24. Aunque la estimación de la recarga subterránea está sujeta a grandes incertidumbres, los valores medios estimados pronostican una disminución generalizada en España conforme se reduce la lluvia, siendo menos vulnerables las áreas silíceas que las calcáreas y detríticas.
25. Las proyecciones para el escenario A2 muestran unas desviaciones de los valores medios del -8% para 2011-2040, -15% para 2041-2070 y -27% para 2071-2100. En el escenario B2 las desviaciones son del -8%, -12% y -16% respectivamente.

## Escorrentía

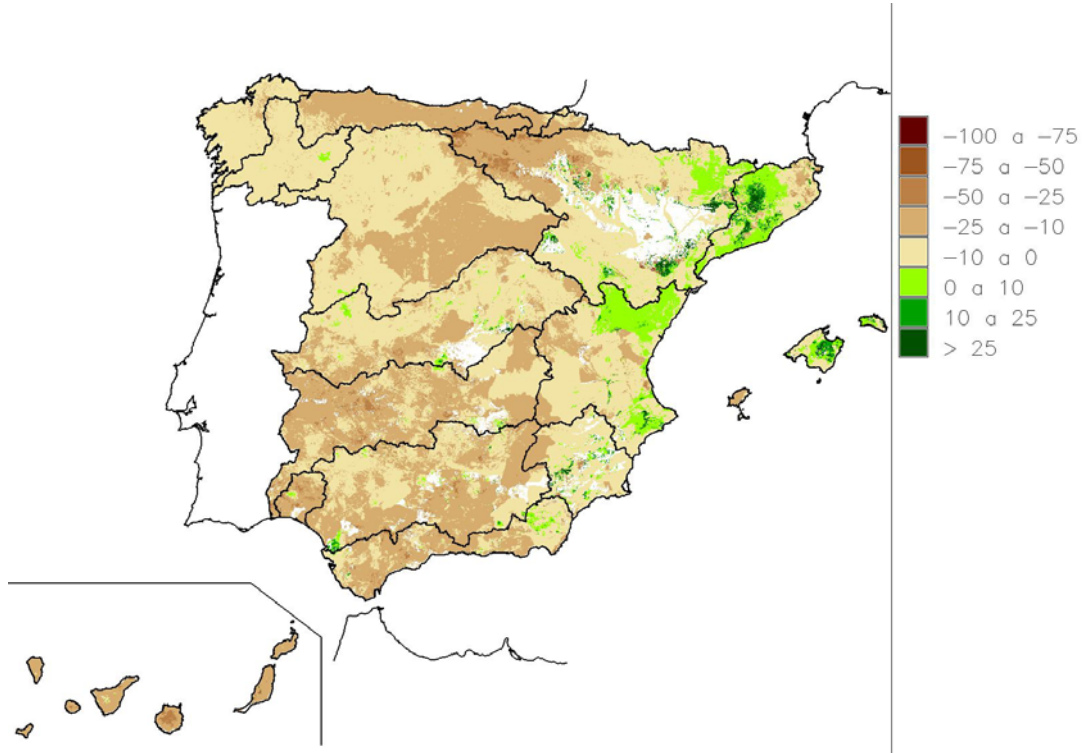
26. Se prevé una disminución de la escorrentía acorde a las tendencias de temperatura y precipitación. Las proyecciones del escenario A2 dan lugar a unas reducciones de escorrentía en España del -8% para el periodo 2011-2040, -16% para el 2041-2070 y -28% para el 2071-2100. Las reducciones en el escenario B2 son del -8%, -11% y del -14%, respectivamente (Figura 4).



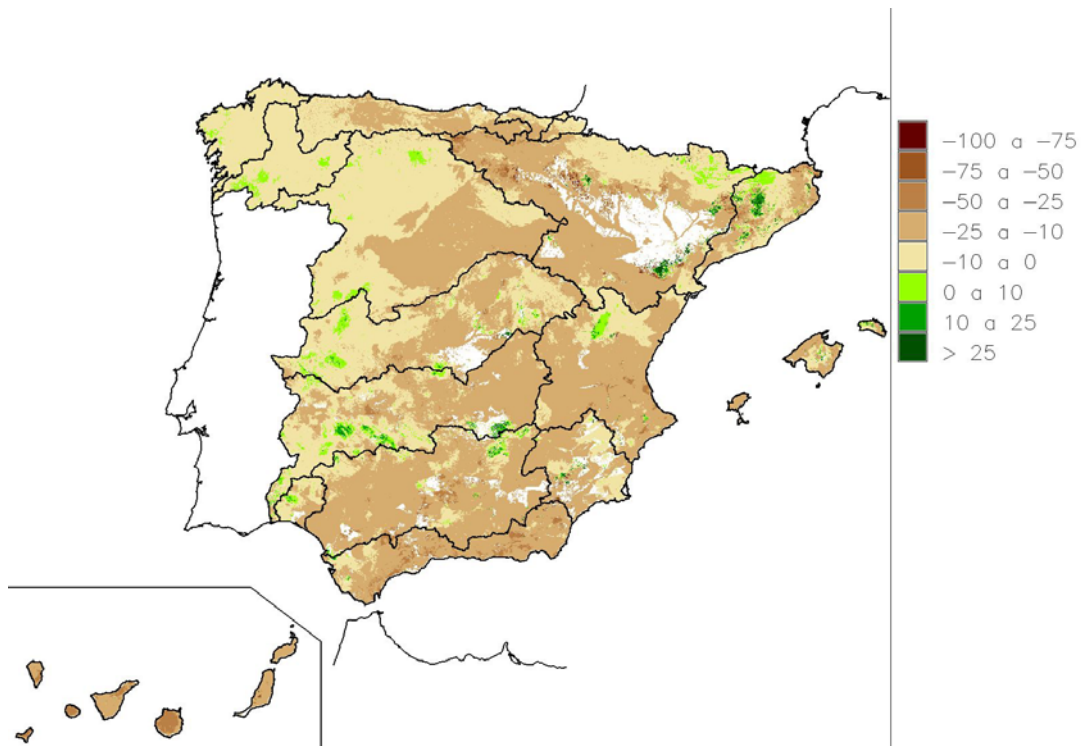
**Figura 4. Evolución de la escorrentía anual en España para el conjunto de proyecciones. Periodo de control (verde); escenario de emisiones A2 (rojo); B2 (azul). Promedios del conjunto de proyecciones en trazo grueso**

27. La disminución de la escorrentía varía también regionalmente según muestran los mapas de las Figuras 5 a 8.





**Figura 5. Variación del promedio de la escorrentía (%) para el período 2011-2040 respecto al periodo de control para las proyecciones A2**



**Figura 6. Variación del promedio de la escorrentía (%) para el período 2011-2040 respecto al periodo de control para las proyecciones B2**

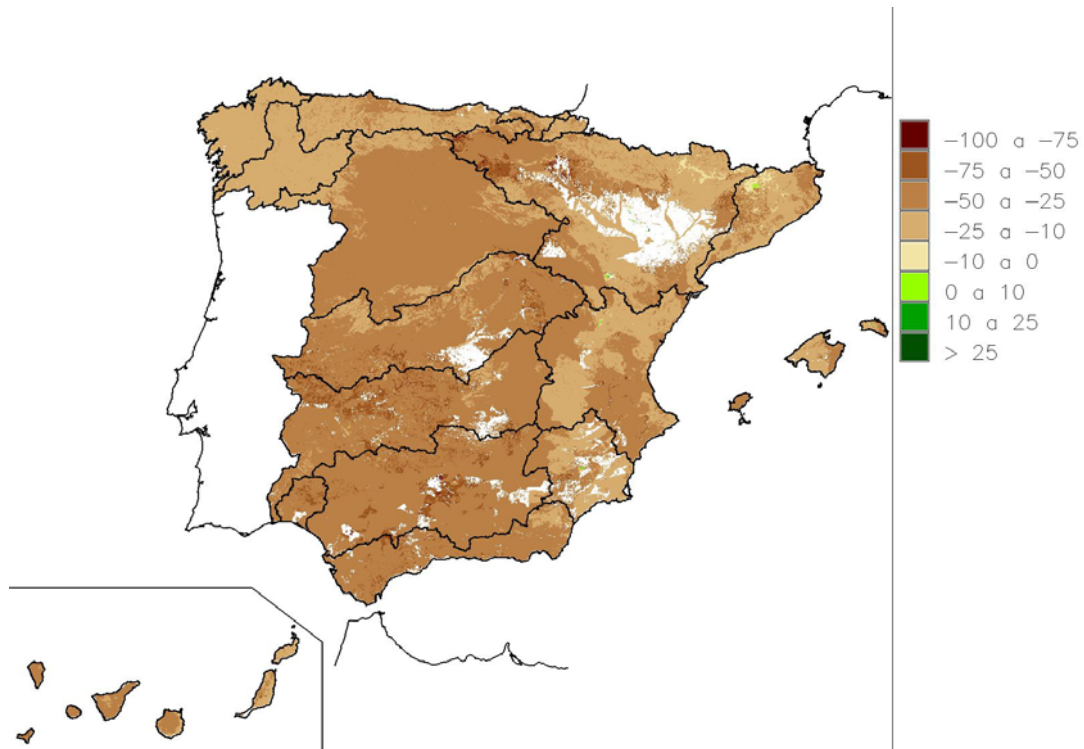


Figura 7. Variación del promedio de la escorrentia (%) para el período 2071-2100 respecto al periodo de control para las proyecciones A2

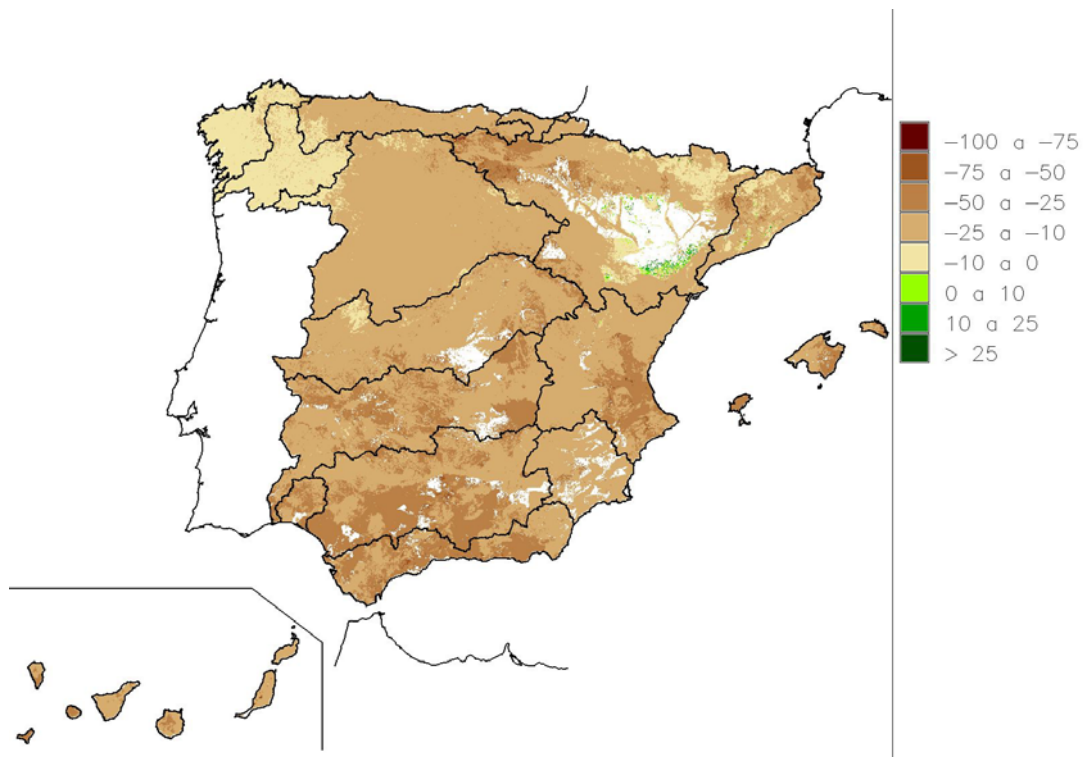


Figura 8. Variación del promedio de la escorrentia (%) para el período 2071-2100 respecto al periodo de control para las proyecciones B2

28. El patrón predominante es el de disminución de la esorrentía para el período 2011-2040 y escenario A2 considerados en la Figura 5, con mayor incidencia en las cuencas Cantábricas, del País Vasco, cabeceras del Ebro y Duero, suroeste peninsular y Canarias.
29. La disminución se estima que será extendida en España para este escenario A2, excepto en algún área mediterránea y del noreste peninsular durante el 2º periodo del siglo XXI y ya generalizada durante el último periodo del siglo.
30. Las previsiones sobre la evolución de la esorrentía para el escenario B2 muestran diferencias locales con los resultados alcanzados en el A2 y la suavización de los decrementos durante el último periodo del siglo XXI.
31. Los resultados alcanzados por las distintas proyecciones difieren de manera considerable, especialmente durante el último periodo del siglo XXI en el que se estiman variaciones de lluvia entre -28% y 2% que se transforman en un -40% y 0% de esorrentía (Cuadro 1).

Δ (%)	Escenario A2							Escenario B2						
	Modelo regionalizado I	Modelo regionalizado II	Modelo regionalizado III	Modelo regionalizado IV	Modelo regionalizado V	Modelo regionalizado VI	Δ del promedio	Modelo regionalizado I	Modelo regionalizado II	Modelo regionalizado III	Modelo regionalizado IV	Modelo regionalizado V	Modelo regionalizado VI	Δ del promedio
	> 0%	-20% a 0%	< -20%	> 0%	-20% a 0%	< -20%	> 0%	-20% a 0%	< -20%	> 0%	-20% a 0%	< -20%	> 0%	-20% a 0%
España	2011-2040	-3	-22		-2		-8	-6	-18		1			-8
	2041-2070	-9	-34		-8		-16	-5	-21		-8			-11
	2071-2100	-24	-37	0	-34	-28	-40	-28	-7	-28	-8	-1	-18	-22
Cantábrico	2011-2040	-6	-20		-11		-13	-5	-15		-8			-10
	2041-2070	-4	-27		-17		-16	-6	-22		-19			-16
	2071-2100	-13	-40	-1	-38	-31	-44	-29	-1	-28	-12	-13	-20	-28
Galicia Costa	2011-2040	-1	-20		-1		-6	2	-13		-2			-3
	2041-2070	-4	-31		-4		-12	-5	-21		-1			-8
	2071-2100	-18	-36	11	-22	-16	-29	-19	-2	-23	4	6	-8	-9
Cuencas Internas del País Vasco	2011-2040	-6	-18		-11		-12	-5	-14		-10			-10
	2041-2070	-2	-24		-20		-16	-5	-21		-23			-16
	2071-2100	-9	-40	-8	-39	-41	-52	-30	2	-28	-20	-17	-31	-36
Miño-Sil	2011-2040	-1	-21		1		-6	0	-15		2			-3
	2041-2070	-6	-34		0		-12	-4	-22		1			-7
	2071-2100	-19	-38	11	-20	-17	-34	-21	-2	-25	3	11	-8	-15
Duero	2011-2040	-3	-25		1		-8	-7	-21		5			-7
	2041-2070	-13	-41		-1		-17	-7	-23		0			-9
	2071-2100	-31	-40	4	-33	-23	-47	-31	-10	-29	-2	8	-16	-24
Tajo	2011-2040	-3	-31		4		-8	-11	-28		11			-8
	2041-2070	-16	-48		-1		-19	-8	-23		1			-9
	2071-2100	-39	-41	-5	-38	-32	-40	-35	-16	-32	-10	7	-22	-17
Guadiana	2011-2040	-7	-40		2		-12	-16	-34		16			-9
	2041-2070	-23	-58		-11		-27	-9	-24		-4			-11
	2071-2100	-49	-48	-12	-48	-40	-25	-42	-24	-40	-15	4	-32	-16
Guadalquivir	2011-2040	-2	-36		0		-11	-21	-34		13			-13
	2041-2070	-18	-55		-16		-28	-2	-25		-12			-12
	2071-2100	-48	-49	-20	-45	-44	-29	-43	-23	-43	-24	0	-33	-28
Cuencas Internas de Andalucía	2011-2040	-1	-33		-1		-12	-16	-35		6			-16
	2041-2070	-15	-50		-24		-30	-2	-26		-17			-15
	2071-2100	-43	-44	-27	-50	-42	-25	-41	-23	-40	-25	-14	-29	-30
Segura	2011-2040	-1	-25		-1		-10	-22	-24		10			-13
	2041-2070	-10	-39		-11		-21	-2	-28		-11			-14
	2071-2100	-23	-39	-22	-35	-48	-21	-33	-14	-33	-22	-5	-23	-28
Júcar	2011-2040	1	-11		-4		-5	-21	-17		-1			-12
	2041-2070	-11	-28		-14		-18	-5	-20		-14			-13
	2071-2100	-21	-24	-18	-46	-45	-21	-32	-16	-27	-20	-18	-34	-14
Ebro	2011-2040	-2	-19		-7		-9	-7	-15		-5			-9
	2041-2070	-6	-26		-12		-14	-5	-19		-17			-13
	2071-2100	-17	-31	3	-40	-30	-46	-28	-4	-25	-9	-11	-17	-29
Cuencas Internas de Cataluña	2011-2040	6	-4		-3		0	-9	-5		-8			-7
	2041-2070	-2	-5		-6		-4	-2	-6		-19			-9
	2071-2100	-11	-3	-13	-34	-30	-29	-21	-13	-5	-18	-14	-20	-18
Islas Baleares	2011-2040	-5	-21		11		-4	-19	-31		0			-15
	2041-2070	-9	-39		1		-15	-8	-31		-18			-20
	2071-2100	-20	-44	-24	-42	-22	-21	-31	-25	-39	-32	-6	-25	-13
Islas Canarias	2011-2040	-7	-37		-4		-18	-15	-34		-24			-25
	2041-2070	-16	-41		-37		-32	-11	-36		-35			-28
	2071-2100	-31	-44	-30	-57		-41	-22	-37	-29	-47			-34

**Cuadro 1. Variación de la escorrentia (%) por demarcación hidrográfica en los distintos periodos respecto al periodo de control 1961-1990**

32. Las desviaciones de escurrimiento del periodo 2011-2040 respecto a 1961-1990 trasladadas al periodo 1940-2005, utilizado en el Libro Blanco del Agua en España y la posterior Instrucción de Planificación Hidrológica, permiten comprobar que, en términos generales, las disminuciones de escurrimiento se sitúan en los mismos órdenes de magnitud, con cifras alrededor del 5% y 6%.
33. Al desagregar esta cifra por demarcaciones hidrográficas, las cuencas del norte peninsular quedaban ligeramente infravaloradas, al contrario que las del sureste. En el resto de cuencas se mantienen valores de desviación similares.

### **RECOMENDACIONES METODOLÓGICAS PARA FUTUROS ESTUDIOS**

34. Las diferencias entre las proyecciones y los datos observados tienen implicaciones importantes en estudios de impacto. Son, sin embargo, la mejor información disponible hasta el momento para el análisis de cambios en las variables meteorológicas y su repercusión en el ciclo hidrológico.
35. Es recomendable ampliar el periodo de control al máximo posible y poder comprobar así el grado de incertidumbre de las series climáticas.
36. Se recomienda considerar el periodo de planificación hidrológica que actualmente se utiliza en España, que abarca al menos desde 1940 e incluye periodos y secuencias secas y húmedas.

## ANEJO I

### PERIODO DE CONTROL

Los estudios de impacto del cambio climático evalúan los cambios en un futuro respecto a un periodo de referencia o de control. El periodo de control elegido por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) para los escenarios regionalizados de cambio climático para España ha sido 1961-1990.

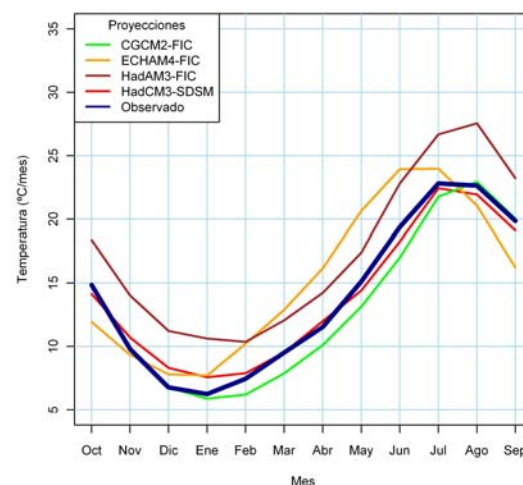
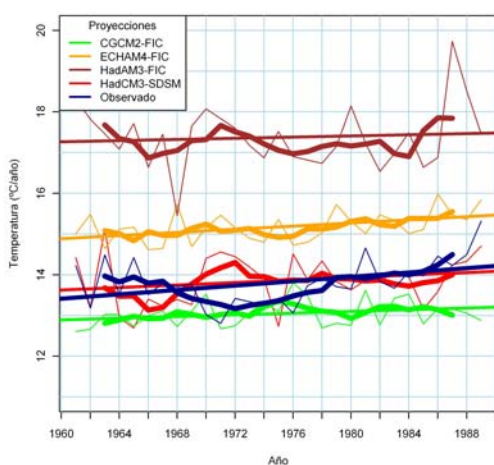
El impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos se ha evaluado por medio de las desviaciones de los valores de las diferentes variables hidrológicas simuladas para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 respecto a los valores simulados para el periodo de control.

Las proyecciones climáticas de precipitación y temperatura durante el periodo 1961-1990 permiten realizar un contraste con los datos observados durante este mismo periodo en la red de observatorios de la AEMET y obtener una primera estimación de la incertidumbre asociada a las proyecciones. Para esta comparación se seleccionaron aquellas estaciones con suficientes datos para realizar un contraste suficientemente representativo.

### Temperaturas

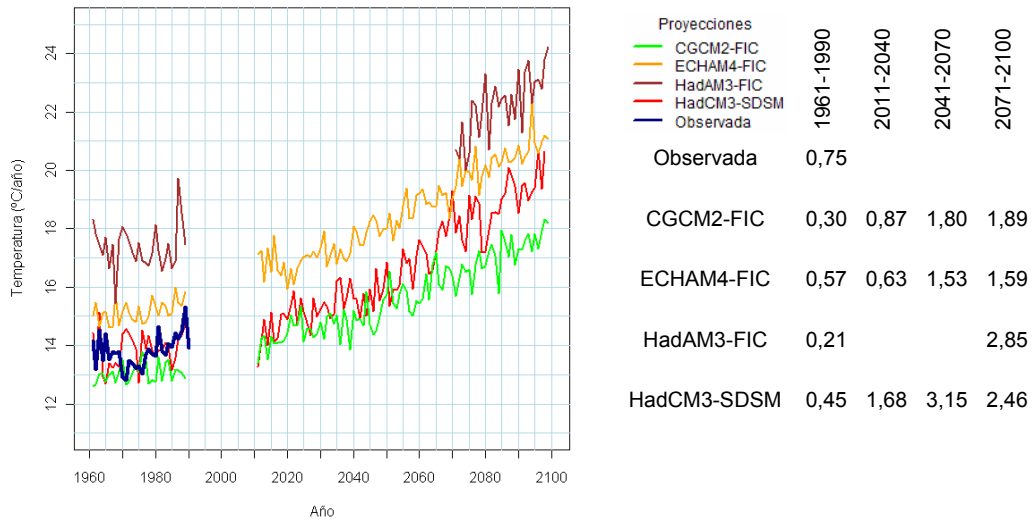
La proyección de las temperaturas se ajusta razonablemente bien a los datos observados en el periodo de control, con diferencias medias que oscilan entre  $-1^{\circ}\text{C}$  y  $+3^{\circ}\text{C}$  según la proyección.

La tendencia de los valores anuales observados y la de las proyecciones es ascendente, si bien las proyecciones muestran un incremento de temperatura más suavizado que el observado (Figura 1). Estacionalmente, las proyecciones y los datos observados siguen la misma evolución (Figura 2).

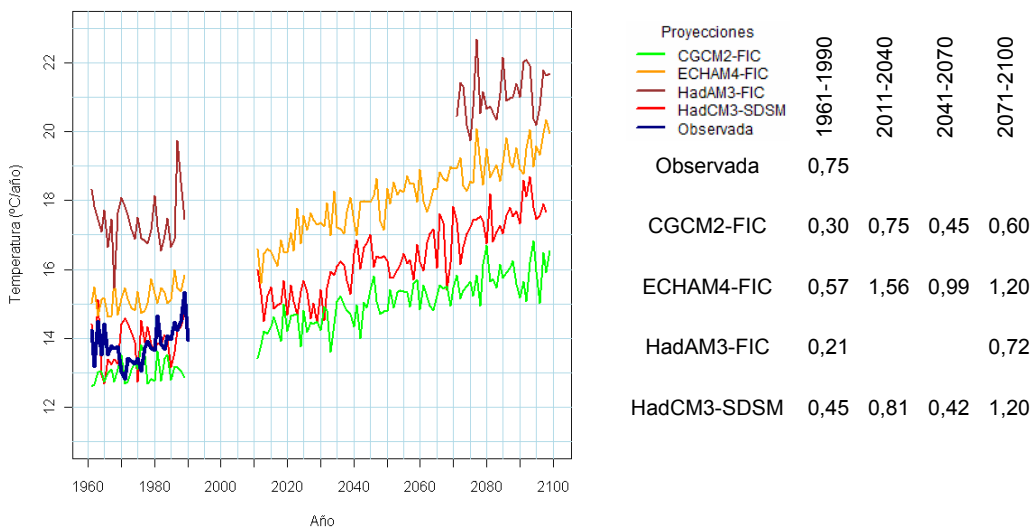


**Figuras 1 y 2. Contraste entre datos observados y proyectados de las series de temperaturas medias anuales y mensuales**

Las Figuras 3 y 4 representan las proyecciones de temperatura en el siglo XXI para los escenarios de emisiones A2 y B2. Se han incluido los datos del periodo de control para destacar la variación de temperatura. La tabla que acompaña la figura expresa los incrementos medios de cada periodo de treinta años en °C.



**Figura 3. Series de temperatura anual y tabla de incremento medio (°C/periodo de 30 años) por proyección para el escenario A2**

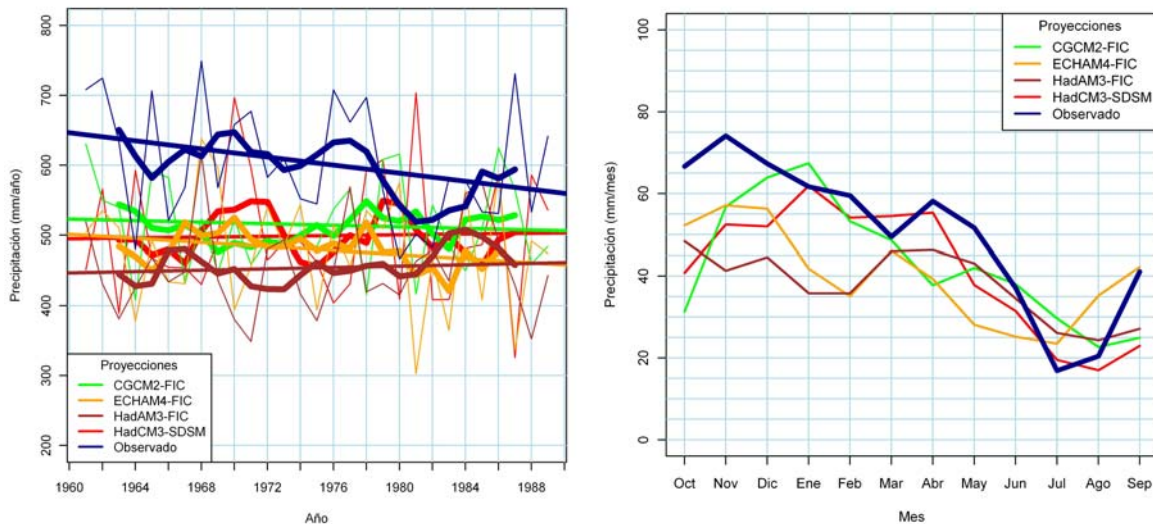


**Figura 4. Series de temperatura anual y tabla de incremento medio (°C/periodo de 30 años) por proyección para el escenario B2**

La comparación de las Figuras 3 y 4 evidencia la suavización de los incrementos de temperatura para el escenario B2.

## Precipitaciones medias

Las precipitaciones proyectadas y observadas en el periodo de control presentan diferencias notables en cuanto a media, variabilidad, tendencia, fluctuaciones de ciclos húmedos y secos, y estacionalidad. Considerando una selección de estaciones meteorológicas con un número suficiente de datos, las lluvias de las proyecciones son inferiores a las observadas entre un 15% y un 25%. Además, las diferencias de cada una de las proyecciones varían regionalmente.



**Figuras 5 y 6. Contraste entre los datos observados en el periodo de control y los proyectados para series de precipitaciones medias anuales y mensuales**

En la Figura 6 se observa que todas las proyecciones dan un ciclo estacional más suavizado que el observado, no alcanzando los valores medios de otoño y superando los de verano.

El Cuadro 1 muestra los valores medios de lluvia anual para cada periodo, escenario y proyección.

Proyección/observación	1961-1990	2011-2040		2041-2070		2071-2100	
		A2	B2	A2	B2	A2	B2
Observado	603	-	-	-	-	-	-
CGCM2-FIC	515	520	491	493	504	467	494
ECHAM4-FIC	480	433	429	411	428	407	428
HadAM3-FIC	454	-	-	-	-	453	441
HadCM3-SDSM	499	489	490	460	453	371	456

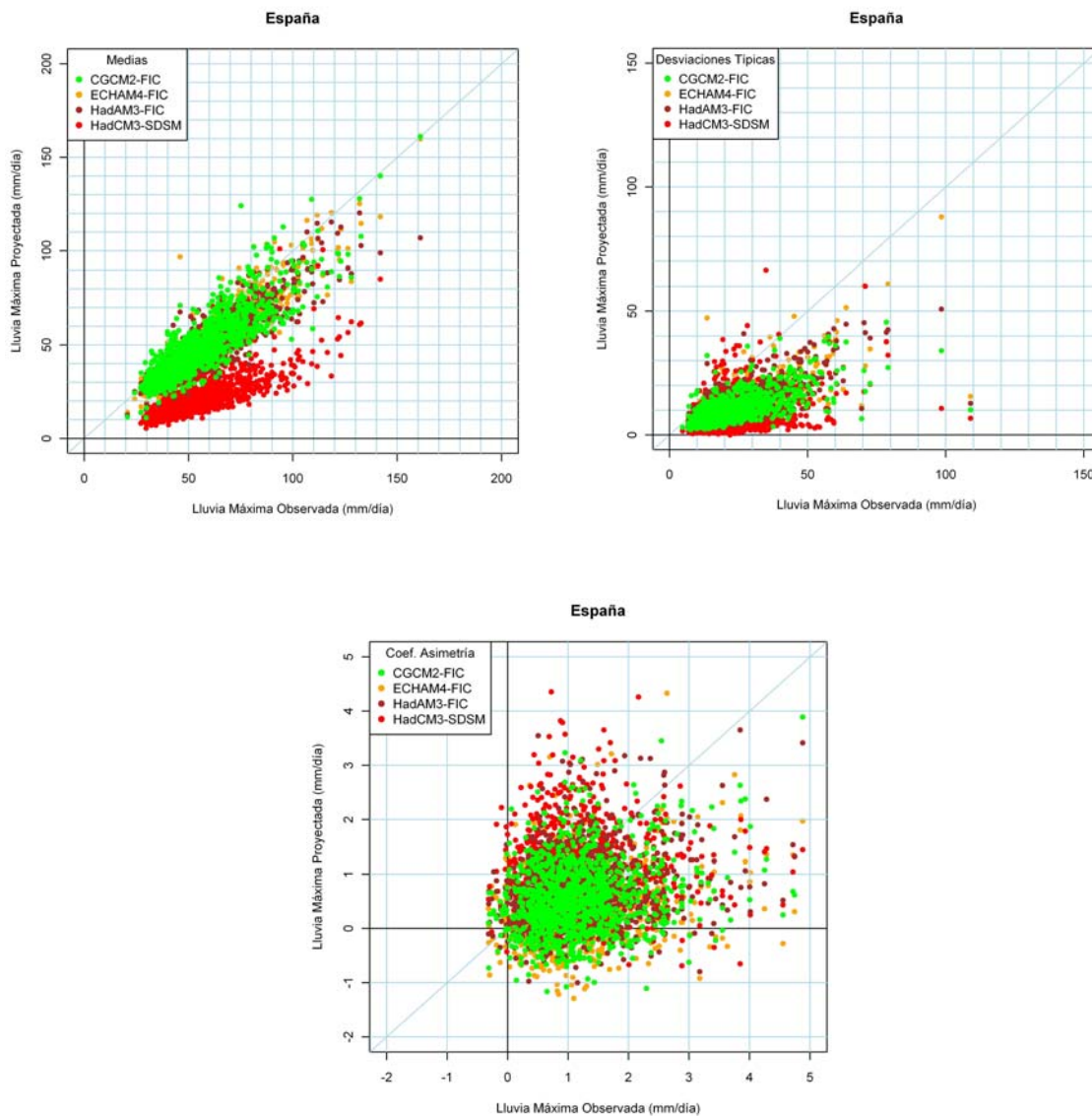
**Cuadro 1. Valores medios de lluvia anual estimados para lo escenarios A2 y B2 en las estaciones pluviométricas seleccionadas**



## Precipitaciones máximas

Una tercera variable utilizada en este estudio ha sido la precipitación máxima diaria por su relación con las inundaciones.

Las Figuras 7, 8 y 9 representan los diagramas de dispersión de las variables estadísticas básicas de las series de lluvia máxima diaria anual proyectada y observada, en un conjunto de estaciones meteorológicas con suficientes datos registrados entre 1961 y 1990.



**Figuras 7, 8 y 9. Diagramas de dispersión de la media, desviación típica y coeficiente de asimetría de series de precipitación máxima diaria observada y proyectada**

Con carácter general, las proyecciones infravaloran la media, la desviación típica y el coeficiente de asimetría de las series. Esta última variable pierde claramente el comportamiento lineal que muestran la media y la desviación típica, aunque el centro de gravedad de la nube de puntos sigue indicando su infravaloración en las proyecciones.

## ANEJO II

### PROYECCIONES CLIMÁTICAS Y MODELO HIDROLÓGICO

#### Proyecciones climáticas consideradas

Los modelos de circulación global constituyen una herramienta matemática para la simulación del clima y para evaluar el efecto de las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, generan evaluaciones de la situación climática a unas escalas que resultan insuficientes para el nivel de detalle requerido para determinar el impacto del cambio climático en las diferentes fases del ciclo hidrológico. Por ello, hay que transformar estos resultados a escalas de mayor detalle hasta obtener series de proyecciones adecuadas a los modelos hidrológicos, lo que se consigue mediante técnicas de regionalización.

En este estudio se han utilizado las proyecciones climáticas regionales preparadas por la AEMET en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático bajo el título “Generación de escenarios climáticos regionalizados de cambio climático para España” (2008). Esas proyecciones derivan a su vez de los escenarios climáticos del 3<sup>er</sup> informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos del Cambio Climático de 2001.

La AEMET seleccionó un total de 12 proyecciones climáticas que combinan los resultados de 4 modelos de circulación global, 2 supuestos de emisión de gases de efecto invernadero y 4 técnicas de proyección regional.

Las proyecciones dan datos climáticos diarios simulados en estaciones meteorológicas o en celdas de rejilla. Todas las proyecciones tienen datos climáticos simulados para el periodo de control (1961-1990) y para el periodo 2071-2100. La mitad de ellas tienen además simulaciones para los periodos 2011-2040 y 2041-2070. El ámbito espacial de estas proyecciones es todo el territorio español, salvo aquellas con datos simulados en celdas que no incluyen las islas Canarias.

De los modelos de circulación global, tres son modelos acoplados atmósfera-océano (ECHAM4, CGCM2 y HadCM3); el cuarto es exclusivamente atmosférico (HadAM3). Los modelos provienen de los centros “European Centre for Medium Range Weather Forecasts” de Hamburgo (ECHAM), “Hadley Center” de la Oficina Meteorológica del Reino Unido (Had) y Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CGCM, Canadian Global Coupled Model).

De las 4 familias de escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero establecidas en el año 2000 por el IPCC y que representan las tendencias socioeconómicas futuras, se eligieron las A2 y B2 por abarcar un amplio margen. El escenario A2 presupone un futuro más pesimista que el B2 que incorpora medidas correctoras de carácter económico, social o político.

Consecuentemente, el escenario A2 debería suponer un mayor impacto en el clima y, por extensión, en el ciclo hidrológico.

Las características principales del escenario A2 son la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales. El índice de natalidad considera una población en continuo crecimiento. El desarrollo económico es básicamente regional. El crecimiento económico por habitante así como el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otros escenarios.	El escenario B2 considera un mundo en el que predominan soluciones locales de la sostenibilidad económica, social y ambiental. La población aumenta progresivamente a un ritmo menor que en el escenario A2, con unos niveles de desarrollo económico intermedios y con un cambio tecnológico menos rápido y más diverso.
---	---

Las técnicas utilizadas para la regionalización de los resultados de los modelos de circulación global a escalas de mayor resolución han sido estadísticas (análogos FIC y SDSM) y dinámicas (PROMES-UCM y RCAO-SMHI).

En el Cuadro 2 se resumen las características de las proyecciones utilizadas por cada escenario de emisiones, A2 y B2.

Proyección	Modelo de circulación global	Regionalización	1961-1990	2011-2040	2041-2070	2071-2100	Ámbito espacial	Detalle
			✓	✓	✓	✓		
I	CGCM2	Análogos FIC	✓	✓	✓	✓	Península Ibérica e islas Baleares y Canarias	Estaciones meteorológicas
II	ECHAM4	Análogos FIC	✓	✓	✓	✓		
III	HadAM3	Análogos FIC	✓			✓		
IV	HadCM3	SDSM	✓	✓	✓	✓		
V	HadCM3	PROMES-UCM	✓			✓	Península Ibérica e Islas Baleares. Sin Islas Canarias	Celdas de resolución 0,5°
VI	ECHAM4	RCAO-SMHI	✓			✓		

**Cuadro 2. Características de las proyecciones que han sido objeto de simulación hidrológica**

### Modelo hidrológico utilizado en la evaluación del impacto en los recursos hídricos

Los modelos hidrológicos constituyen una herramienta indirecta de simulación de los procesos de transferencia de agua en el ciclo hidrológico. Permiten estimar los distintos componentes del ciclo cuando faltan registros reales o cuando no hay posibilidad de realizar medidas, como ocurre con el régimen natural en gran parte del territorio español.

Para evaluar el impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural ha sido necesario utilizar un modelo hidrológico en el que introducir las distintas proyecciones de precipitación y temperatura para estimar los cambios de evapotranspiración, recarga subterránea y escorrentía superficial respecto al periodo de referencia.

El modelo utilizado ha sido implementado en el Sistema Integrado de Simulación Precipitación Aportación (SIMPA), desarrollado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. Este modelo se ha utilizado para la evaluación de los recursos hídricos en la planificación hidrológica de España.

El modelo de recursos hídricos en SIMPA trabaja a escala mensual con simulación distribuida en celdas de 1 km<sup>2</sup> de resolución y contempla los almacenamientos de agua en suelos y acuíferos, permitiendo elaborar mapas con valores mensuales estimados de la humedad del suelo, la evapotranspiración real, la recarga a acuíferos y la escorrentía superficial. Estos componentes esenciales del modelo pueden observarse en el esquema simplificado de la Figura 10.

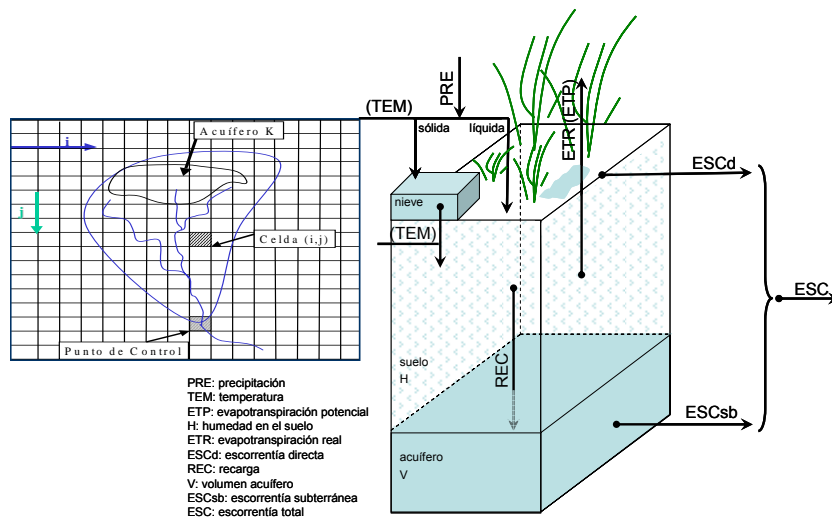


Figura 10. Esquema conceptual del modelo SIMPA





<http://marm.es/es/agua/formacion/>