

Análisis de impactos del cambio climático en las sequías meteorológicas, edáficas e hidrológicas en el sistema de explotación del río Júcar

P. Marcos-García, F. Vargas-Zamora, A. López-Nicolás, A. García-Prats, M. Pulido-Velázquez

*Instituto de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente.
Universitat Politècnica de València. Campus de Vera. 46022 Valencia*

1. Introducción

Las situaciones extremas, y en particular las sequías, constituyen un serio problema ambiental, económico y social en las regiones más meridionales de Europa, siendo un fenómeno recurrente en las cuencas mediterráneas de España, sujetas a una alta variabilidad espacial y temporal de la precipitación y de los caudales, y con un alto grado de aprovechamiento del recurso. Las sequías representan un fenómeno natural complejo, difícil de cuantificar e identificar en el tiempo y en el espacio, y para el que no existe una definición universalmente aceptada. Este hecho, unido a la incertidumbre futura respecto a su duración e intensidad por el efecto del cambio climático, hace prioritario avanzar en el conocimiento del impacto del cambio climático en las sequías, a fin de poder diseñar planes para su gestión y la mitigación de los efectos asociados.

A este respecto, la presente comunicación tiene por objeto evaluar el impacto potencial del cambio climático en las sequías meteorológicas, agrícolas (edáficas) e hidrológicas del Sistema de Explotación Júcar

Dicho sistema, con una extensión de 22.378 km², es el de mayor envergadura de los nueve que integran la Demarcación Hidrográfica del Júcar (Cenia-Maestrazgo, Mijares-Plana de Castellón, Palancia-Los Valles, Turia, Júcar, Serpis, Marina Alta, Marina Baja y Vinalopó-Alacantí), y presenta una hidrología irregular propia de las cuencas mediterráneas. La precipitación media anual de la cuenca es de 510 mm., siendo la temperatura media de 13,6 °C, aunque las diferencias entre las distintas zonas geográficas son grandes: la pluviometría media en el Alto Júcar es de 630 mm/año, mientras que en la cuenca intermedia la pluviometría desciende hasta valores medios de 450 mm/año; por su parte, la temperatura media anual en el Alto Júcar es de 11,6 °C, mientras en la zona litoral se eleva hasta un valor medio de 17 °C.

3. Generación de escenarios futuros

3.1 Proyecto CORDEX

En el año 2009, el World Climate Research Programme (WRCP) creó la iniciativa "Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment" (CORDEX), con el objeto de mejorar la generación de proyecciones regionales de cambio climático a nivel mundial, tanto dentro del periodo temporal establecido por el AR5 del IPCC como más allá.

Este proyecto contempla un total de doce dominios o regiones, y ofrece múltiples combinaciones de modelos globales (procedentes del proyecto CMIP5, Couple Model Intercomparison Project Phase 5) y regionales. Asimismo, los datos se ofrecen en tres resoluciones diferentes: 0.11º, 0.22º y 0.44º.

3.2 Selección de la combinación de modelos globales y regionales

A efectos de seleccionar la combinación de modelos climáticos más adecuada para el caso de estudio, se ha procedido a contrastar los estadísticos media y desviación típica del periodo histórico con el periodo de control, para las dos variables de interés: precipitación y temperatura.

Los datos históricos se han obtenido a partir del proyecto SPAIN02 (Grupo de Meteorología de Santander), que proporciona series diarias de precipitación y temperatura de alta resolución (0.11º), para el periodo 1971-2007.

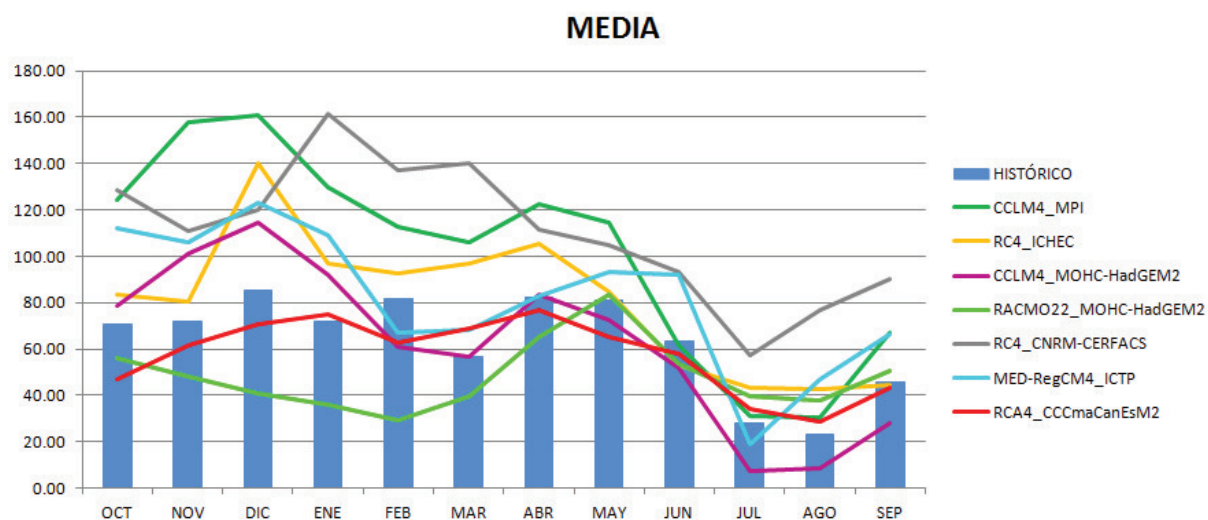


Figura 1. Comparativa precipitación media histórica vs. media del periodo de control de los modelos

Tras comparar la media y la desviación típica del histórico con el periodo de control de diversas combinaciones de modelos (Figura 1), finalmente se ha decidido seleccionar para el presente análisis el modelo global CCCma-CanEsM2, en combinación con el modelo regional RCA4, para el dominio europeo y con resolución 0.44º (EUR44).

3.3 Corrección del sesgo

La corrección del sesgo de las series futuras se ha realizado mediante la metodología "cuantil a cuantil", implementada en R (paquete "qmap", Gudmundsson et al., 2012). Dicho método consiste en comparar cuantil a cuantil los datos de la serie histórica y de la serie de control, empleando una función para ajustar el modelo a lo observado. Posteriormente, esta función se le aplica a la serie futura para corregir el sesgo.

Concretamente, las series futuras con las que se ha trabajado se corresponden con los escenarios de CORDEX (RCPs, trayectorias de concentración representativas) 4.5 y 8.5, tanto a corto plazo (2011-2040), como a medio (2041-2070).

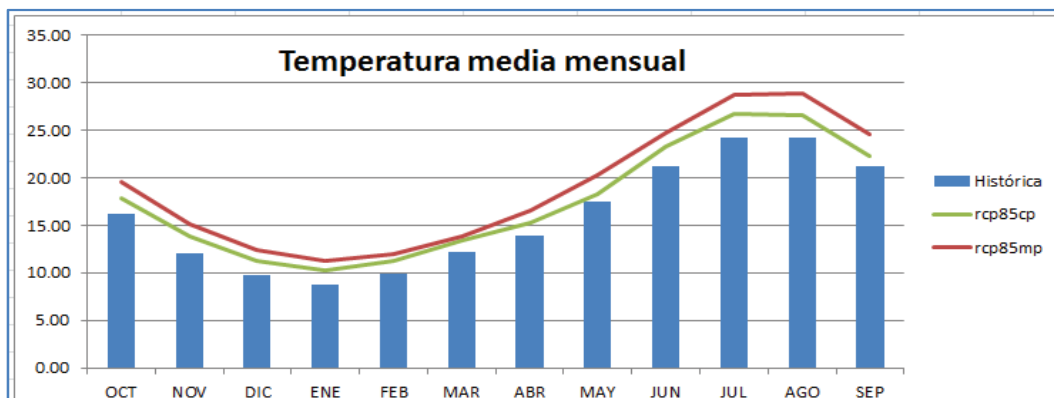


Figura 2. Comparativa temperatura histórica y futura una vez corregido el sesgo

Una vez corregido el sesgo, se puede apreciar una tendencia generalizada a la disminución de la media de las precipitaciones y al aumento de la media de las temperaturas (Figura 2). En cuanto a la desviación típica, se observa un aumento en el caso de las temperaturas para todos los escenarios, aunque esta tendencia no es clara para el caso de la precipitación.

4. Modelización hidrológica

4.1 Descripción del modelo

La simulación de la hidrología del sistema se ha efectuado mediante una cadena de modelos precipitación-escorrentía de Témez (Témez, 1977), para cada una de las subcuencas en que se divide el caso de estudio.

A este respecto, se ha de señalar que se trata de un modelo conceptual agregado de simulación continua, de bajo número de parámetros y de paso mensual. La simulación de los principales procesos de transferencia del ciclo hidrológico se realiza considerando dos almacenamientos, suelo y acuífero. En este caso en concreto, se ha modelizado un acuífero bi-celular o de dos depósitos lineales (dos ramas de descarga).

Las series de entrada necesarias para el modelo (precipitación y evapotranspiración, esta última obtenida a partir de la variable temperatura), se han generado a partir de los grids de alta resolución del proyecto SPAIN02 para el periodo histórico (1971-2000).

4.2 Bondad de ajuste de los modelos

La división en subcuencas del Sistema de Explotación Júcar, se ha efectuado obedeciendo a la disponibilidad de puntos de calibración para los modelos: estaciones de aforo con régimen asimilable al natural y series restituidas a régimen natural proporcionadas por la Confederación Hidrográfica del Júcar. En total, se ha trabajado con diez subcuencas.

La calibración de los modelos se ha realizado atendiendo a diversas funciones de error, principalmente el coeficiente de Nash-Sutcliffe (función objetivo) y el coeficiente de correlación. A continuación se muestran los valores de dichos parámetros, para el periodo histórico considerado:

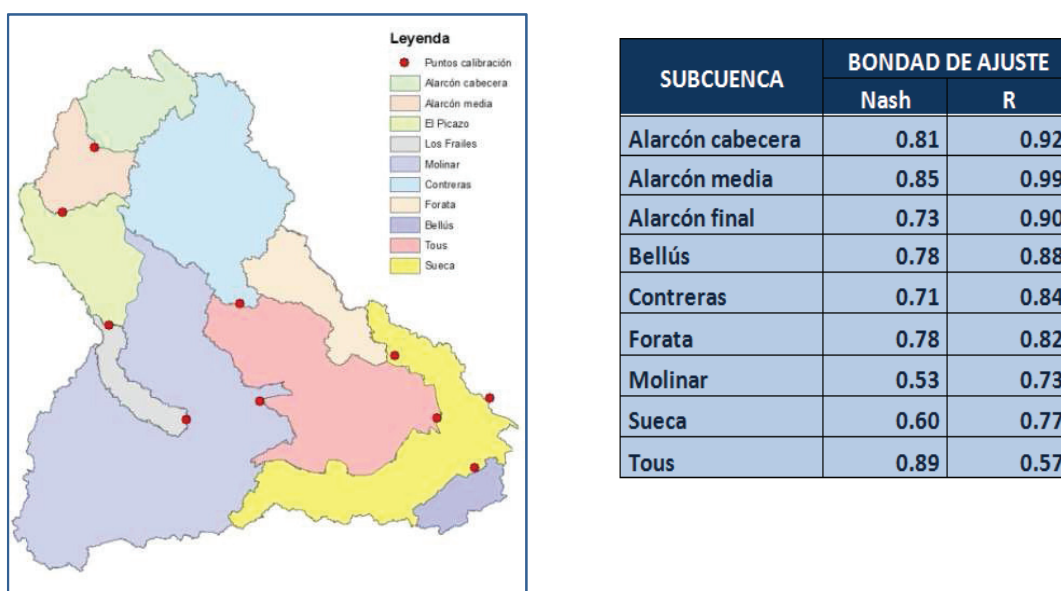


Figura 3. Subcuencas de estudio y bondad de ajuste de los modelos

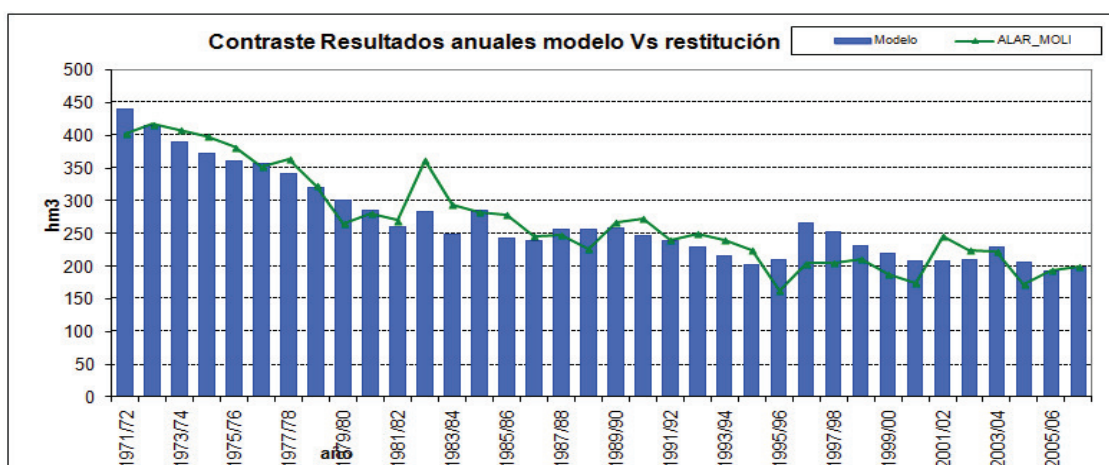


Figura 4. Valores mensuales modelo vs. restitución (subcuenca Molinar)

4.3 Generación de caudales futuros

Una vez calibrados los modelos, se ha procedido a generar las series hidrológicas futuras a partir de las series corregidas de las variables precipitación y temperatura. Como se puede observar en la siguiente tabla, de forma general se reduce la aportación respecto a la registrada en el periodo histórico:

SUBCUENCA	HISTÓRICO	RCP 4.5		RCP 8.5	
		CP	MP	CP	MP
Alarcón	334.64	420.56	258.80	318.40	212.84
Molinar	283.41	176.23	157.96	166.73	152.93
Sueca	234.83	206.80	214.35	225.94	168.26
Contreras	316.69	387.83	218.95	283.02	185.19
Tous	161.98	150.85	130.57	130.54	106.41
Forata	10.63	14.13	8.66	12.79	8.18
Bellús	36.07	30.05	29.34	30.93	23.71

Figura 5. Aportaciones anuales medias para los diferentes escenarios ($Hm^3/año$)

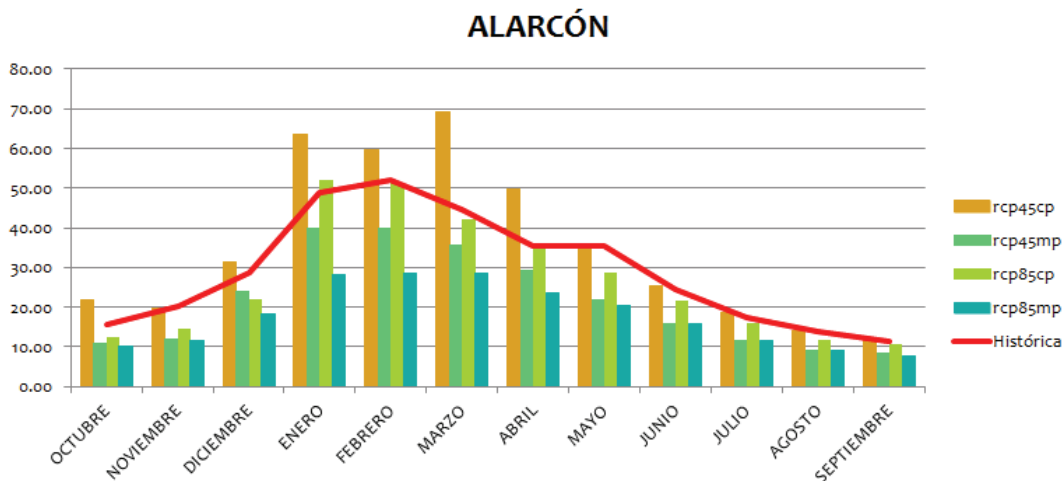


Figura 6. Aportaciones medias mensuales para los diferentes escenarios (Hm^3/mes)

5. Análisis de sequías

5.1 Metodología general

El uso de índices estandarizados, a efectos de definir y monitorizar las sequías, presenta la clara ventaja de poder comparar los datos registrados por diferentes estaciones, con independencia de su ubicación.

Concretamente, el índice de Precipitación Estandarizado (SPI, Standard Precipitation Index, McKee et al., 1993), de uso ampliamente extendido, se basa en la probabilidad acumulada de un evento de lluvia dada en una estación.

Este método transforma la función de probabilidad acumulada en una variable aleatoria Z , que sigue una distribución normal estándar de media cero y desviación típica 1.

El mismo fundamento se encuentra en el Índice de Precipitación-Evapotranspiración Estandarizado (SPEI, Standard Precipitation & Evapotranspiration Index, Serrano et al., 2009), que permite incluir además los efectos de la variabilidad de la temperatura.

En la presente comunicación, se propone analizar las sequías meteorológicas mediante los dos índices citados para diferentes periodos temporales (1, 3, 6, 12 y 24 meses), y emplear una modificación del Índice de Precipitación Estandarizado para evaluar la humedad temporal del suelo, variable obtenida a partir de la simulación hidrológica (Villalobos, 2007). Por último, se analiza la potencial transformación de la sequía meteorológica en hidrológica, calculando un índice estandarizado para caudales en cada una de las subcuencas en que se divide el Sistema de Explotación Júcar.

5.2 Sequías meteorológicas

Tal y como se ha señalado en el epígrafe anterior, la caracterización de la sequía meteorológica, entendida como la disminución de la precipitación respecto al valor medio regional en un plazo de tiempo determinado, se efectúa a partir del SPI y del SPEI.

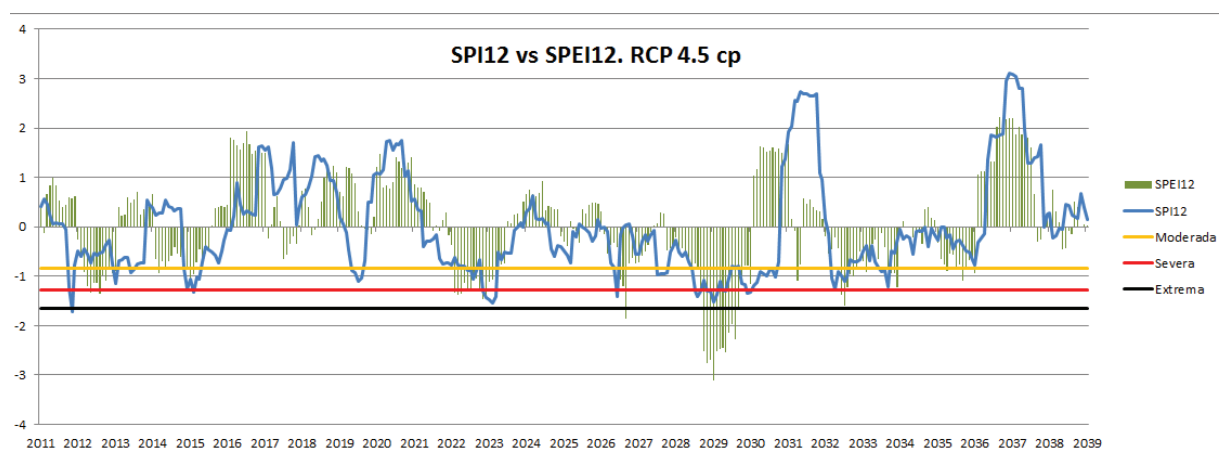


Figura 7. Comparativa SPI 12/SPEI 12 para un escenario dado. Subcuenca Sueca

A este respecto, se debe señalar que se ha incluido el índice SPEI, debido a la incapacidad del SPI para valorar el papel del incremento de temperatura en condiciones de sequía futuras (Vicente-Serrano et. al, 2009). En general, se debe señalar que ambos índices identifican ciclos de sequía similares, aunque en casos concretos (como en la Figura 7 para el ciclo de sequía 2029-2031), el SPEI indica una sequía extrema mientras que el SPI la identifica como severa. A este respecto, se puede observar que, para este periodo, no sólo la media de la precipitación es inferior a la media del periodo completo (22 mm frente a 39 mm), si no que también la temperatura media del periodo también es superior a la del periodo completo (18,78 °C frente a 17,44 °C).

Los umbrales empleados para definir las categorías de sequía (leve, moderada, severa y extrema), se han obtenido del Plan Especial de Alerta y Eventual Sequía en la Confederación Hidrográfica del Júcar (2007):

Valores SPI	Categoría de sequía
0 a -0.84	Leve a inexistente
-0.84 a -1.28	Sequía moderada
-1.28 a -1.65	Sequía severa
< -1.65	Sequía extrema

Figura 8. Umbrales de sequía

Como se puede observar en la Figura 9, tanto el número como la duración y, en general, la magnitud de las sequías meteorológicas, aumenta respecto a las identificadas en el periodo histórico.

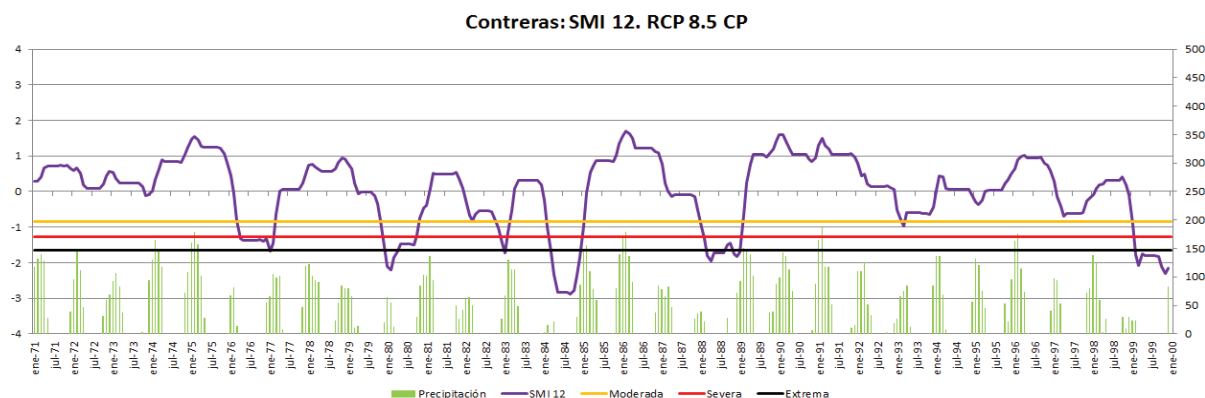
	Periodo	Número	Duración (meses)	Magnitud
Molinar	Histórico	12	147	-134.71
	rcp 4.5 cp	11	155	-120.32
	rcp 4.5 mp	13	171	-140.28
	rcp 8.5 cp	12	152	-129.33
	rcp 8.5 mp	14	172	-133.44

Figura 9. Análisis del número, duración y magnitud de las sequías en cada escenario. SPI 12

5.3 Sequías edáficas

Las sequías agrícolas o edáficas pueden definirse como un déficit de humedad en la zona radicular, para satisfacer las necesidades de un cultivo en un lugar y en una época determinada. Presentan un pequeño desfase temporal respecto a la sequía meteorológica en cultivos de secano, y está más relacionada con la sequía hidrológica en cultivos de regadío. A este respecto, es preciso señalar que la demanda de agua de las plantas depende de las condiciones climáticas, de las características biológicas de la propia planta, su estado de crecimiento y las propiedades físicas y biológicas del suelo. Por tanto, y dada la gran cantidad de variables que intervienen, no es posible establecer umbrales de sequía edáfica ni siquiera para una misma área geográfica.

Para solventar este problema, en la presente comunicación se ha recurrido a una modificación del Índice de Precipitación Estandarizado, empleando como variable la humedad del modelo de Témez (Villalobos, 2007), que gobierna la ecuación del balance de agua en el suelo. El nuevo índice se ha denominado SMI (Índice de Humedad Estandarizado).



	Periodo	Número	Duración	Magnitud
<u>Tous</u>	Histórico	5	41	-45.36
	rca 4.5 cp	7	143	-107.63
	rca 4.5 mp	9	157	-114.14
	rca 8.5 cp	6	177	-107.85
	rca 8.5 mp	8	179	-98.91

Figura 11. Análisis del número, duración y magnitud de las sequías edáficas. SMI 12

5.4 Sequías hidrológicas

Las sequías hidrológicas, a diferencia de las sequías agrícolas o edáficas, pueden demorarse durante meses o algún año desde el inicio de la escasez pluviométrica, o si las lluvias retornan en poco tiempo, no llegar a manifestarse. Se corresponde con una disminución en la disponibilidad de agua superficial y subterránea de un sistema de gestión en un tiempo dado, respecto a los valores medios, que puede impedir cubrir las demandas al cien por cien.

La metodología empleada para su identificación ha sido la misma que se ha expuesto para las sequías meteorológicas y edáficas, siendo la variable a estandarizar la aportación simulada para cada uno de los escenarios contemplados. El índice se ha denominado SFI (Índice de Caudal Estandarizado).

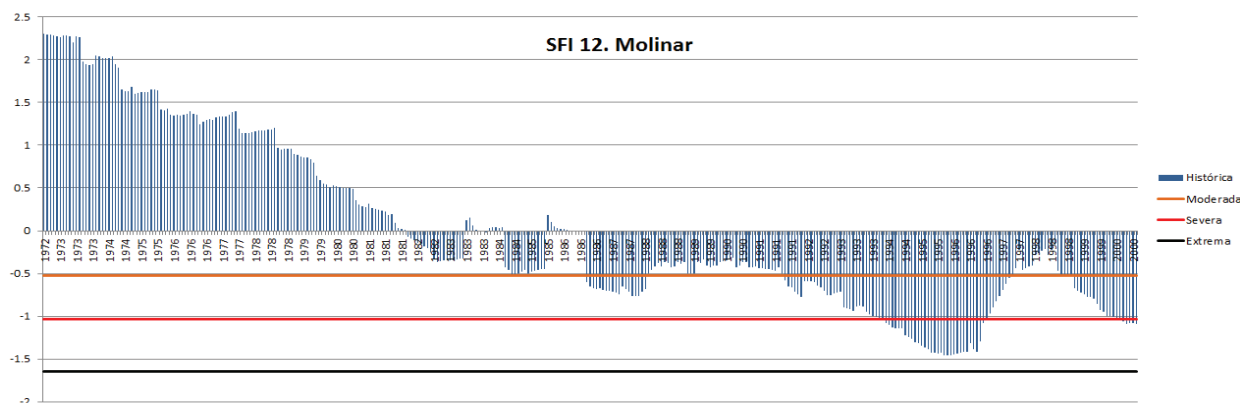


Figura 13. SFI 12 para la subcuenca de Molinar. Periodo histórico

	Periodo	Número	Duración (meses)	Magnitud
Alarcón	Histórico	6	156	-132.00
	rcp 4.5 cp	9	176	-131.41
	rcp 4.5 mp	7	154	-136.74
	rcp 8.5 cp	9	193	-139.15
	rcp 8.5 mp	6	177	-142.08
Sueca	Histórico	4	179	-58.07
	rcp 4.5 cp	6	207	-128.68
	rcp 4.5 mp	7	187	-139.41
	rcp 8.5 cp	8	176	-140.1
	rcp 8.5 mp	5	172	-141.34
Molinar	Histórico	3	205	-138.83
	rcp 4.5 cp	1	197	-142.73
	rcp 4.5 mp	1	216	-140.79
	rcp 8.5 cp	1	209	-146.42
	rcp 8.5 mp	1	205	-141.41
Contreras	Histórico	4	157	-149.96
	rcp 4.5 cp	7	180	-135.22
	rcp 4.5 mp	6	169	-147.32
	rcp 8.5 cp	8	190	-140.52
	rcp 8.5 mp	6	214	-145.53
Tous	Histórico	4	29	-35.64
	rcp 4.5 cp	5	177	-139.26
	rcp 4.5 mp	7	166	-149
	rcp 8.5 cp	6	169	-142.72
	rcp 8.5 mp	5	184	-149.51
Forata	Histórico	8	180	-137.97
	rcp 4.5 cp	6	216	-143.81
	rcp 4.5 mp	10	165	-136.03
	rcp 8.5 cp	8	180	-148.15
	rcp 8.5 mp	7	216	-143.05
Bellús	Histórico	5	182	-160.47
	rcp 4.5 cp	7	207	-132.27
	rcp 4.5 mp	8	190	-137.32
	rcp 8.5 cp	8	197	-146.69
	rcp 8.5 mp	6	191	-141.95

Figura 14. SFI 12 para todas las subcuencas de estudio

Si se comparan los índices calculados para cada una de las subcuencas, se puede observar que se produce un aumento generalizado tanto del número como de la duración de las sequías y, en la mayor parte de los casos, también de la magnitud. A este respecto, es preciso señalar que este hecho se produce incluso en las subcuencas de cabecera (Alarcón y Contreras) para el escenario RCP 4.5 a corto plazo, donde se producía una aportación media superior a la del periodo histórico (Figura 5). Esto se debe a que se produce un aumento de la desviación típica de la aportación, que es lo que refleja el índice.

6. Conclusiones

Los resultados muestran un incremento de la duración y severidad de las sequías meteorológicas, edáficas e hidrológicas, por el efecto combinado de la reducción de las precipitaciones y aumento de la evapotranspiración en los escenarios de cambio climático, lo cual es consistente con los resultados obtenidos a escala global (Dai, 2013). El uso de distintos escenarios nos permite analizar la dispersión de los resultados, como reflejo de la incertidumbre de las proyecciones de cambio climático.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto europeo del 7º programa marco ENHANCE (n. 308438) y por el proyecto IMPADAPT (financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad). También agradecer al Grupo de Meteorología de Santander la información proporcionada.

Referencias

Dai, A. 2013. Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Clim. Change* 3, 52-58.

Gudmundsson L., Bremnes J.B, Haugen J.E, Engen-Skaugen T. 2012. Technical note: Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations – a comparison of methods. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 3383-3390

Herrera S., Gutiérrez J.M., Ancell R., Pons M.R., Frías M.D., Fernández J. 2010. Development and analysis of a 50-year high-resolution daily gridded precipitation dataset over Spain (Spain 02). *International Journal of Climatology*. doi: 10.1002/joc.2256/

McKee, T.B., N.J. Doesken, J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration of time scales. Eighth Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society, Jan 17-23, 1993, Anaheim CA, pp 179-186

Témez, J.R. 1977. Modelo matemático de transformación precipitación aportación. ASINEL 1977

Vicente-Serrano, S.M., S. Beguería, J.I. López-Moreno. 2009. A multiscale drought index sensitive to global warming: the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, 23, 1696-1718

Villalobos, A. 2007. Análisis y seguimiento de distintos tipos de sequía en la cuenca del Júcar. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.