

# EXTREMOS PARA EL SIGLO XXI EN ESPAÑA PENINSULAR: PERIODOS DE RETORNO DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN

Amblar-Francés P., Ramos-Calzado P.

Delegación Territorial de AEMET en Andalucía, Ceuta y Melilla (Sevilla)

[mamblarf@aemet.es](mailto:mamblarf@aemet.es), [pramosc@aemet.es](mailto:pramosc@aemet.es)

## Resumen

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC, analiza, desde su creación, la problemática del cambio climático. El último informe, 2013, asegura, con un 90% de seguridad, que se ha incrementado la frecuencia de los fenómenos extremos (IPCC, AR5, SMP, 2013). Estos fenómenos tienen un gran impacto en la vida y en la seguridad de las personas y, en general, en las actividades socio-económicas.

En el presente trabajo, se analiza el cambio de los periodos de retorno para ciertos umbrales de temperatura y precipitación para mediados y finales del siglo XXI en España peninsular. Para ello, se utiliza una colección de datos diarios de temperatura y precipitación a nivel de observatorio obtenidos por métodos de regionalización estadística por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

**Palabras clave:** periodo de retorno, extremos, temperatura, precipitación

## 1.- Introducción

El 5º informe del IPCC concluye que el calentamiento global del sistema climático es inequívoco, habiéndose observado cambios en algunos extremos climáticos, tanto en su frecuencia como en su intensidad (IPCC, AR5, SMP, 2013). El ritmo al que aumenta la temperatura ha sido notable desde 1971 y la tendencia predominante al calentamiento no se ha frenado pese a que se hayan dado fenómenos atmosféricos y oceánicos que han provocado una disminución en las temperaturas temporal durante algunos años, como La Niña. ([www.wmo.int/pages/mediacentre/press\\_releases/pr\\_943\\_es.html](http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/pr_943_es.html)).

Las variaciones en el clima producen cambios en las características de los extremos de las variables: frecuencia, duración, intensidad, localización espacial,... y pueden intensificar o dar lugar a fenómenos meteorológicos y climáticos extremos sin precedentes. La ocurrencia de estos eventos tienen un gran impacto sobre la sociedad y los ecosistemas por el tipo de fenómenos que

conlleven y por su repercusión sobre las actividades socio-económicas.

La herramienta básica para comprender la variabilidad y el cambio climático y para realizar proyecciones y estimar el clima futuro son los modelos climáticos. La mejora constante de estos ha permitido predecir con fiabilidad los cambios observados en la temperatura, aunque no se puede decir lo mismo con respecto a los cambios en precipitación.

Debido a su situación geográfica, España es un país altamente vulnerable a los impactos del cambio climático y, por ello, surge el interés por conocer mejor la frecuencia y severidad de los fenómenos climáticos extremos para caracterizarlos y tomar medidas para la adaptación y la mitigación en los diferentes sectores sensibles al clima.

En trabajos previos (Petisco de Lara, Ramos & Martín, 2012) se ha analizado la evolución de varios índices climáticos de extremos sobre España para el siglo XXI, que representan eventos extremos moderados que pueden ocurrir varias veces al año. Sin embargo, existe otro modo de abordar este tipo de estudios basado en la teoría de valores extremos. Este enfoque permite conocer el comportamiento de los eventos extremos que son menos frecuentes pero que, por su intensidad, tienen más importancia en el diseño de infraestructuras.

En este trabajo, se adopta este último enfoque y se estudia el cambio de la frecuencia en valores máximos de temperaturas y precipitación para el siglo XXI en España peninsular, a partir de las proyecciones regionalizadas realizadas para 362 estaciones termométricas y 2089 estaciones pluviométricas. Para ello, se analizan los cambios en los periodos de retorno de determinados umbrales de las variables.

## 2.- Datos utilizados

El estudio se ha realizado utilizando una colección de proyecciones regionalizadas diarias de temperaturas extremas y precipitación generadas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

(<http://escenarios.aemet.es/>). Esta colección se ha obtenido a partir de los datos de los modelos globales que han participado en los proyectos CMIP3 (Coupled Model Intercomparison Project, phase 3) y ENSEMBLES para los escenarios de emisiones (SRES) A2, A1B, B1 (IPCC, 2000) y de mitigación E1 (Ramos, P., Petisco, E., Martín & J. M., Rodríguez, E., 2012). Los datos de las proyecciones procedentes de los modelos de CMIP3 cubren los periodos temporales 2046-2065 y 2081-2099 y los de los modelos de ENSEMBLES cubren el periodo 2010-2099. Por ello, nuestro análisis se ha centrado en los periodos comunes a ambos proyectos (2046-2065 y 2081-2099). La regionalización se ha realizado mediante las técnicas estadísticas (*downscaling* estadístico) basadas en regresiones múltiples, SDSM, y en el métodos de Análogos. Esta colección incluye información termométrica para el siglo XXI en 374 observatorios y pluviométrica en 2324 distribuidos sobre España peninsular, las Islas Baleares y Canarias. Estas estaciones fueron seleccionadas por disponer de series temporales suficientemente largas y de calidad en el periodo 1961-2000.

### 3.- Metodología

Para el análisis de los periodos de retorno se ha supuesto que los valores extremos anuales tienen una *Distribución de Valores Extremos Generalizada* (GEV), (Zwiers, Zhan and Yang, 2006) siendo su función de densidad de probabilidad.

$$\frac{1}{\sigma} \left(1 + \xi \frac{y - \mu}{\sigma}\right)^{-1-1/\xi} \exp\left[-\left(1 + \xi \frac{y - \mu}{\sigma}\right)^{-1/\xi}\right], \xi > 0, y > \mu - \frac{\sigma}{\xi}$$

$$\frac{1}{\sigma} \exp\left[-\frac{y - \mu}{\sigma} - \exp\left(-\frac{y - \mu}{\sigma}\right)\right], \xi = 0 \text{ (D.Gumbel)}$$

$$\frac{1}{\sigma} \left(1 + \xi \frac{y - \mu}{\sigma}\right)^{-1-1/\xi} \exp\left[-\left(1 + \xi \frac{y - \mu}{\sigma}\right)^{-1/\xi}\right], \xi < 0, y < \mu - \frac{\sigma}{\xi}$$
(1)

Donde  $\sigma$  es el parámetro de escala,  $\mu$  es el parámetro de localización y  $\xi$  es el parámetro de forma. El hecho de que esta distribución incluya el parámetro de forma  $\xi$ , permite una mejor descripción de la parte superior de la cola de la distribución que la distribución de Gumbel. De hecho, la distribución GEV con parámetro de forma  $\xi=0$  es la distribución de Gumbel. El mayor inconveniente que presenta el obtener los parámetros de la distribución GEV que mejor se ajusta a un conjunto de datos aleatorios es que sus tres parámetros son libres (forma, localización y escala), y, por tanto, se necesita disponer de series temporales largas para que los estudios realizados sean válidos (Zwiers, Zhan and Yang, 2006), quedando justificada, por esta razón, la selección inicial de estaciones que cumplan este requisito.

Se han obtenido las funciones de distribución de valores extremos generalizados que mejor se ajusta a las series de valores máximos anuales de precipitación y temperatura, tanto para el periodo del clima actual (1961-2000) como para los periodos de proyección futura (2046-2065 y 2081-2099). Sus parámetros se han obtenidos mediante el método de los L-momentos (Zwiers, Zhan & Yang, 2006) haciendo uso del paquete estadístico R (<http://www.r-project.org>). La bondad de estos ajustes se ha evaluado mediante el test no paramétrico de Kolmogorov-Smirnov (Kharin & Zwiers, 2005). Este test parte de la hipótesis de que si la máxima diferencia absoluta entre dos frecuencias acumulativas continuas de observaciones independientes es mayor que un valor umbral, probablemente las distribuciones sean diferentes. El test K-S se basa en la comparación de dos funciones de distribución o de probabilidad acumuladas: una empírica  $F(X_i)$  y una teórica  $F_0(X_i)$ .

A partir de las distribuciones obtenidas, se han calculado los valores correspondientes a un periodo de retorno de 20 años tanto para el clima actual como para el clima correspondientes a los dos periodos futuros (2046-2065 y 2081-2099), analizando sus variaciones. Así mismo, se han obtenido los periodos de retorno, para estos dos periodos temporales, que tendrían estos valores .

### 4.- Resultados

El análisis de los cambios en la frecuencia de los fenómenos extremos de la temperatura y precipitación se ha realizado a partir de 88 proyecciones regionalizadas. Estas proyecciones se han agrupado por escenarios de emisiones. Para el periodo 1961-2000, se han usado los datos correspondientes al clima actual (20c3m) obtenidos a partir de 23 modelos climáticos globales.

#### 4.1.-Temperatura

El valor de la temperatura máxima con un periodo de retorno de 20 años, promediado sobre todas las estaciones de España peninsular, para el escenario de clima actual, 20c3m, y el periodo 1961-2000 es de 39,4°C. Sin embargo, este valor varía de una zona a otra como se muestra en la figura 1, donde se representan estos valores, usando solo las proyecciones regionalizadas obtenidas mediante la técnica SDSM (18). Estos valores son bastante similares a los obtenidos con los datos calculados mediante la técnica de Análogos.

Los valores más altos se localizan en el interior de la Península Ibérica (40°C - 45°C) y los valores más bajos en zonas costeras del norte de la

península (entre 30°C y 35°C). Hay que resaltar que estos datos se han obtenido a partir de las proyecciones de los modelos para el escenario 20c3m, clima actual, y no a partir de datos procedentes de la observación, por lo que estos valores estas sujetos a las incertidumbres del propio modelo y de la técnica de regionalización.

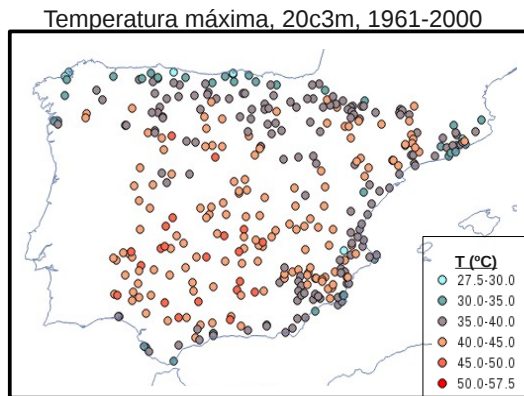


Figura 1. Distribución espacial del valor de la temperatura máxima con periodo de retorno de 20 años, para el periodo 1961-2000.(técnica SDSM).

Los valores de temperatura máxima con periodo de retorno de 20 años para los dos periodos analizados del siglo XXI son mayores que los que corresponderían al clima actual (figura 2), siendo el aumento más acusado para los escenarios más emisivos: A1B y A2. Así, para el periodo 2081-2099, en promedio para España peninsular, este valor supera al del clima actual en unos 7 °C en el caso del escenario A2, más emisivo, y en torno a 3°C y 1 °C para los escenarios menos emisivo y de mitigación respectivamente. Las incertidumbres asociadas a estos valores van aumentando con el tiempo, como se observa en la figura 2, donde el recorrido intercuartílico del segundo periodo es mayor que el del primer periodo.

Los cambios del valor de esta temperatura para los dos periodos futuros analizados con respecto al clima actual tienen una dependencia espacial, como se muestra en la figura 3. En general, las variaciones son mayores en las zonas del interior que en las zonas del litoral. Así, para el escenario más emisivo y para finales de siglo, se espera que este aumento esté entre 7-12°C en el interior y 5-7°C en las zonas con influencia marítima.

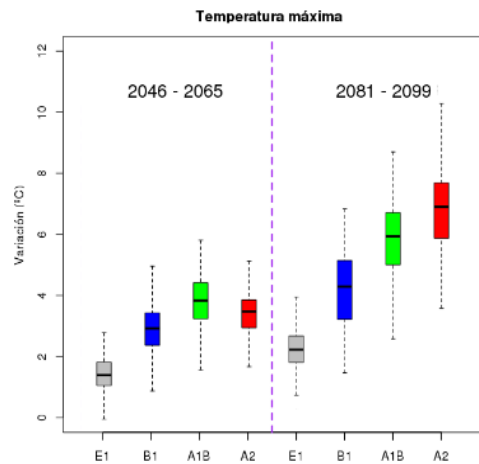


Figura 2. Diagrama de barras de la temperatura máxima con un periodo de retorno de 20 años para los periodos: 2046-2065 y 2081-2081 con respecto al valor en clima actual y para 4 escenarios de emisiones (técnica SDSM).

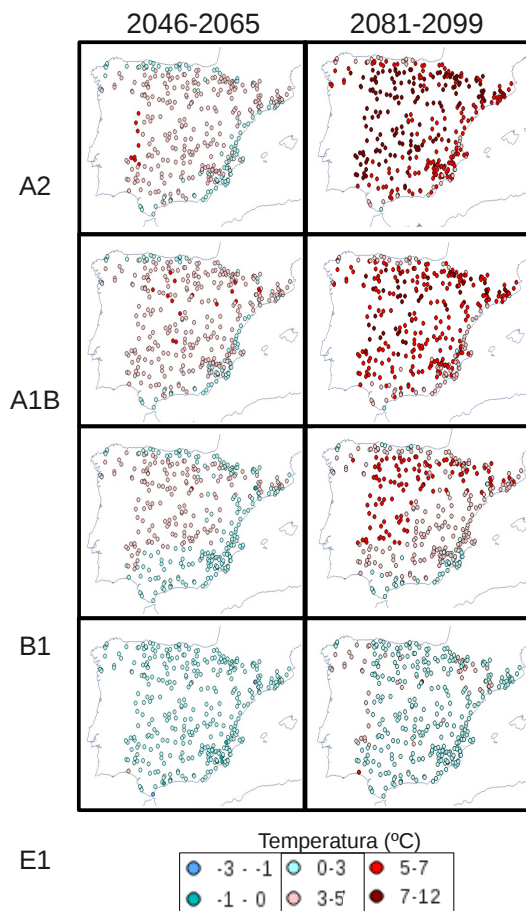


Figura 3. Distribución espacial de la variación del valor de la temperatura máxima correspondiente a un periodo de retorno de 20 años (técnica SDSM) para los cuatro escenarios de emisiones analizados.

Si se analizan los periodos de retorno que tendrían para 2046-2065 y 2081-2099 los valores de temperatura con un periodo de retorno de 20 años en el clima actual (figura 4), se observa un aumento en la frecuencia de aparición de los valores altos de temperatura máxima, al haber una disminución en los valores de los periodos de retorno. Esto se puede justificar observando las proyecciones futuras dadas por los modelos. Estas proyecciones muestran un incremento de la temperatura a lo largo del siglo XXI ([www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio\\_climat/result\\_graficos](http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/result_graficos)). Así que será más probable que se registren más frecuentemente valores extremos. Los periodos de retorno para los climas futuros oscilan entre 1 y 7 años, dependiendo del escenario y del periodo de proyección. Destaca el escenario E1, de mitigación, con periodos de retorno mayores que el resto de escenarios, en torno a 4 y 5 años (2046-2065) pero aun así, mucho menores que los 20 años que tienen esos valores en el clima actual (20c3m). Cabe comentar que la representación de este escenario, E1, cuenta con pocos modelos con los que realizar el estudio (SDSM: 2 y análogos: 4), cosa que justifica la gran incertidumbre que presenta en los resultados. Para mediados del siglo XXI, los valores de periodo de retorno que presentan el escenario B1 son cercanos a 3 años y los escenarios A1B y A2 en torno a 2 años. Estos resultados están en consonancia con los obtenidos para el Sur de Europa y la zona Mediterránea (IPCC, 2012).

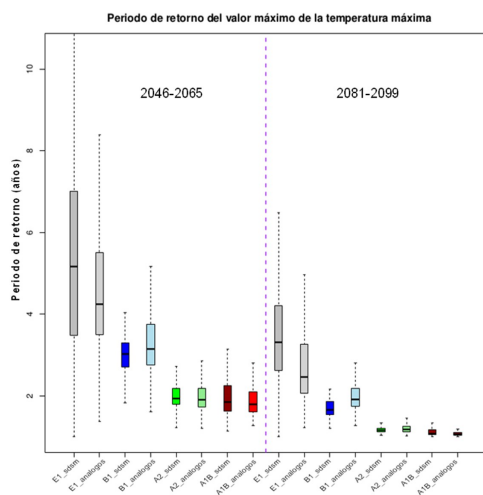


Figura 4. Diagramas de barras de los periodos de retorno de los valores de temperatura máxima con un periodo de retorno de 20 años en el clima actual.

Para diferenciar las zonas más afectadas por los cambios en la frecuencia de los extremos, se representan la distribución espacial del promedio de estos periodos de retorno para el escenario más

emisoro, A2, y el menos emisoro, B1, para los dos periodos del siglo XXI analizados (figura 5).

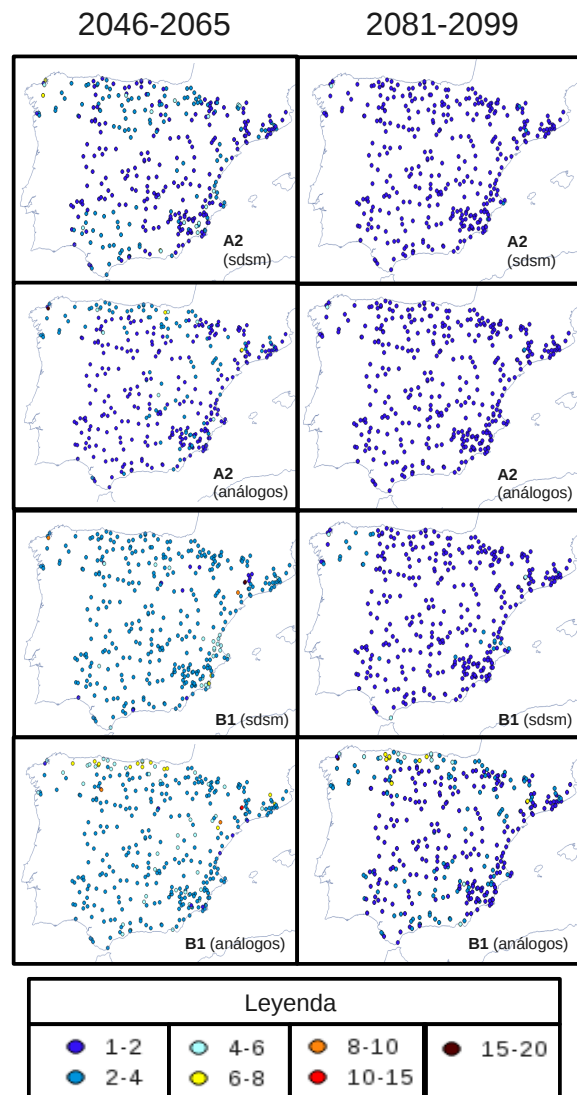


Figura 5: Distribución espacial de los periodos de retorno de los valores de la temperatura máxima con un periodo de retorno de 20 años en el clima actual para los periodos de clima futuro: 2046-2065 y 2081-2099, obtenidos con datos procedentes de las dos técnicas regionalización: análogos y SDSM.

En general, se obtienen resultados similares para los escenarios más emisivos, A1B y A2. En la figura 5 se observa, en los periodos de clima futuro: 2046-2065 y 2081-2099, valores de periodo de retorno para el escenario A2, entre 1 y 2 años. Cabe destacar la cornisa Cantábrica con valores de entre 2 y 4 años en algunas de sus estaciones. Esta disminución en el periodo de retorno respecto a los valores altos de temperatura máxima del clima

actual, es un aumento en la frecuencia de tales valores en periodos futuros.

En el escenario A1B, se diferencian zonas con periodos de retorno algo mayores al resto de las estaciones peninsulares, con valores entre 4 y 8 años en estaciones de la cornisa Cantábrica para análogos y con valores en el rango de 2 y 4 años pero sobre más estaciones para el método SDSM. El escenario B1 en este periodo (2046-2065) presenta periodos de retorno entre 2 y 4 años en toda la península.

Para el periodo 2081-2099 (figura 6), los escenarios A2 y A1B presentan periodos de retorno entre 1 y 2 años para todo el territorio; cabe destacar que la cornisa Cantábrica y algunas estaciones de Galicia con valores mayores, en la mayoría de las estaciones. En general, en 2081-2099, se observa un aumento en la frecuencia de aparición de estos valores máximos, ya que se presentan periodos de retorno menores, entre 1 y 2 años en la mayor parte de la España peninsular.

#### 4.2.- Precipitación

Es importante tener en cuenta la dificultad que suponen trabajar la precipitación debido a que, actualmente, los modelos nos son capaces de reproducirla con mucha confianza. Además, la reproducen con diferencias muy notables entre ellos, lo que implica que al realizar promedios de modelos de un mismo escenario el ruido que introduce la incertidumbre sea aproximadamente del mismo orden que la propia señal. El valor promediado de la precipitación con un periodo de retorno de 20 años obtenido con las proyecciones para el clima actual es unos 19,4 mm, para España peninsular.

Precipitación máxima, 20c3m, 1961-2000

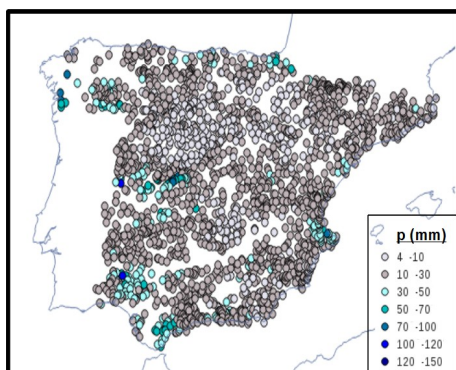


Figura 6. Distribución espacial de los valores de precipitación con periodo de retorno de 20 años, en el clima actual (20c3m) usando datos del periodo 1961-2000 obtenidos con la técnica SDSM.

En la figura 6, se representa la distribución espacial de estos valores, observándose que los valores inferiores se localizan en ambas mesetas y los valores más elevados en áreas montañosas (Sistema Central, parte occidental de Sierra Morena, área de Grazalema), y zonas de Galicia, del área mediterránea y del Cantábrico.

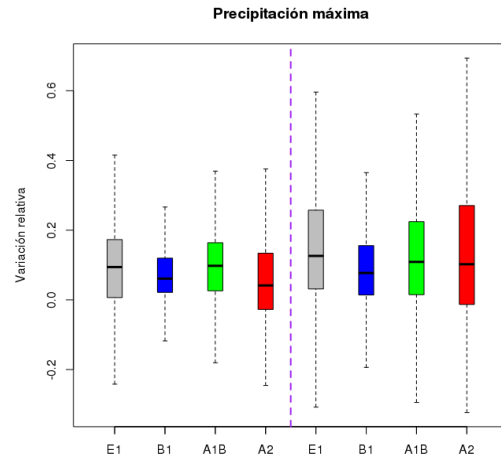


Figura 7. Diagramas de barra de la variación relativa de la precipitación con un periodo de retorno de 20 años para los periodos: 2046-2065 y 2081-2081 con respecto al clima actual y para los cuatro escenarios de emisiones (técnica SDSM).

En promedio, para España peninsular, se observan pocas variaciones en los valores de la precipitación con periodo de retorno de 20 años entre el clima futuro y el clima actual (en torno a un 10%), como se muestra en la figura 7. Además, no se aprecia influencia de los diferentes escenarios de emisiones en estos valores, mostrando, como se ha indicado, una gran dispersión entre los valores procedentes de diferentes modelos climáticos. Sin embargo, para finales de siglo y para los escenarios más emisivos (figura 8), las variaciones son mayores en gran parte del interior de España peninsular con valores entre el 30% y el 70%. En estas zonas habría un aumento en la intensidad de la precipitación.

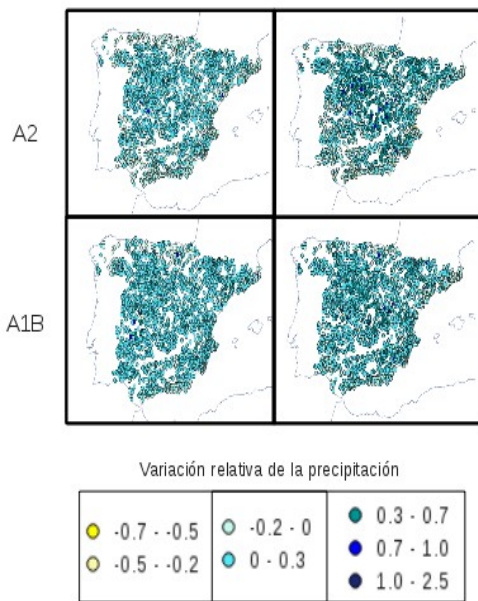


Figura 8. Distribución espacial de la desviación relativa de los valores de precipitación que tienen un periodo de retorno de 20 años en los periodos 2046-2065 y 2081-2099 y en el periodo de clima actual 1961-2000. Los valores se han obtenido con datos procedentes de las dos técnicas regionalización: análogos y SDSM.

Atendiendo a los periodos de retorno, que tendrán, en las distribuciones futuras de extremos de precipitación, los valores que actualmente se presentan con una frecuencia de una vez cada 20 años, se obtiene bastantes diferencias de unos modelos a otros, como se observa en la figura 9. Según los datos procedentes de la técnica de Análogos, no existiría una variación apreciable a lo largo del siglo XXI, mientras que con los datos procedentes de la técnica SDSM se puede apreciar una ligera tendencia a la disminución del periodo de retorno. Esto conllevaría un ligera tendencia al aumento en la frecuencia de precipitaciones intensas. Estos resultados también de acuerdo con los obtenido para el sur de Europa y área mediterránea (IPCC, 2012).

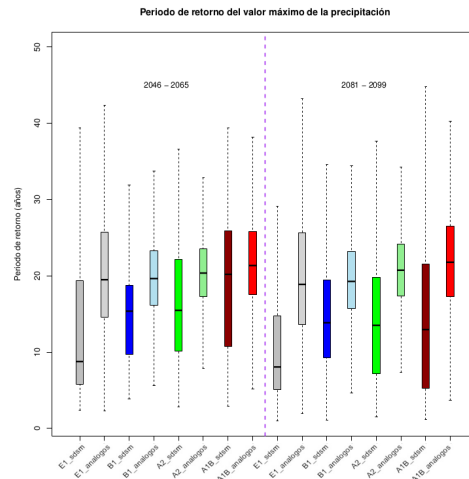


Figura 9. Diagramas de barras de los periodos de retorno de los valores de precipitación máxima con un periodo de retorno de 20 años en el clima actual.

En consonancia con lo anterior habría un aumento de la frecuencia de precipitaciones intensas en las zonas del interior, como se muestra en la figura 10. Así, una precipitación que se presentara una vez cada 20 años pasaría a darse una vez en menos de 10 años.

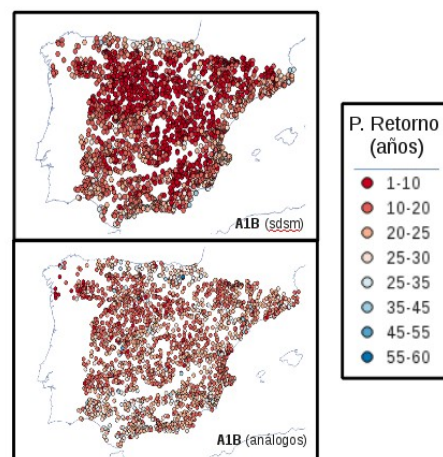


Figura 10. Periodo de retorno en el escenario A1B, para 2081-2099, de la precipitación que, en el clima actual, tiene un periodo de retorno de 20 años. Con las dos técnicas de regionalización: SDSM y análogos.

## 5.- Resumen y conclusiones

En este trabajo se ha analizado el cambio de la frecuencia de los valores extremos de temperatura máxima y de precipitación a través del análisis de los periodos de retorno. Para ello se ha supuesto que los valores extremos tienen una distribución de probabilidad GEV.

Se obtiene que, en general, existe un aumento de la frecuencia de los valores altos de la temperatura máximas, obteniéndose valores de periodos de retornos inferiores a los del clima actual tanto para mediados como para finales de siglo en todas las proyecciones de los escenarios SRES. Esta disminución es más acusada en este último periodo y para los escenarios más emisivos. Así, valores con periodo de retorno de 20 años para el clima actual, pasan a tener periodo de retorno entre uno y dos años. Así que el valor de la temperatura máxima que presenta una frecuencia de 0,05 aumenta entre 5°C y 7°C en los escenarios más emisivos, siendo más acusado en el interior peninsular.

Para la precipitación, los resultados son menos concluyente que para la temperatura máxima, con menor consenso entre los modelos..

A diferencia de la temperatura, no se observa influencia importante de los escenarios de emisiones en los resultados obtenidos, solo para finales de siglo y con los datos procedentes de la regionalización SDSM se podría apreciar una cierta tendencia al aumento de la frecuencia de las precipitaciones intensas. No obstante la incertidumbre de esta variable es muy importante.

Los resultados obtenidos para España peninsular concuerdan con los obtenidos para el sur de Europa, zona mediterránea, por el IPCC en el informe sobre los fenómenos meteorológicos extremos realizado en 2012 (IPCC, 2012) .

## Referencias

IPCC (2000). Emissions Scenarios. Nakicenovic N. & Swart R. Cambridge Univ. Press, Cambridge, U.K.

IPCC (2013). Resumen para responsables políticos. En Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M. M. B., Allen, S. K., ..., Midgley, P. M. (Eds).

IPCC, 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I

and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.

Kharin, V. V., Zwiers, F. W., Zhang, X., & Wehner, M. (2013). Changes in temperature and precipitation extremes in the CMIP5 ensemble. *Climatic Change*, 119, 345–357. DOI:10.1007/s10584-013-0705-8

Kharin, V. V., and F. W. Zwiers (2005). Estimating extremes in transient climate change simulations. *J. Climate*, 18, 1156–1173.

Petisco de Lara, S. E., Ramos-Calzado, P. & Martín-Herreros, J. M. (2012). Extremos de temperaturas y precipitación para el siglo XXI en España. *Cambio climático. Extremos e impactos*. Rodríguez Puebla, C., Ceballos Barbancho, A., González Reviriego, N. Morán Tejeda, E. & Hernández Encinas, A. (Eds). Publicaciones de la AEC, serie A, nº 8.

Ramos, P., Petisco, E., Martín, J. M., Rodríguez, E. (2012) Downscaled climate change projections over Spain: application to water resources, *International Journal of Water Resources Development*. DOI:10.1080/07900627.2012.721700

Ramos-Calzado, P. & Rodríguez-Camino, E. (2011). Temperature and precipitation extremes over Spain for the 21st century. *EMS Annual Meeting Abstracts*. Vol.8. EMS2011. 11th EMS/10th ECAM.

ENSEMBLES project (2009). Ensembles: Climate change and its impacts at seasonal, decadal and centennial timescales . Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Van der Linden, P. , Mitchell , J. F. B., Gilbert , P.

Zwiers F. W., Zhang X. & Feng Y. (2006). Anthropogenic Influence on Long Return Period Daily Temperature Extremes at Regional Scales. *Journal of Climate*, Vol, 24. p.881-892. DOI: 10.1175/2010JCLI3908.1