

**XXXIV Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica
Española (Teruel, 29 febrero – 2 marzo 2016)
ISBN 978-84-617-5240-9**

**ESTUDIO DE LAS PROYECCIONES
REGIONALIZADAS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA
LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE ESPAÑA**

Amblar-Francés P.⁽¹⁾, Ramos-Calzado P.⁽¹⁾, Casado-Calle, M. J.⁽²⁾, Pastor-Saavedra,
M. A.⁽²⁾, Rodríguez-Camino, E.⁽²⁾.

⁽¹⁾Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Sevilla. mamblarf@aemet.es,
pramosc@aemet.es

⁽²⁾Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Madrid. mcasadoc@aemet.es
mpastors@aemet.es, erodriguezc@aemet.es.

Resumen

En el quinto informe de evaluación del IPCC (AR5) se confirma que el calentamiento del sistema climático es inequívoco; con un aumento en la temperatura en superficie de 0,85°C en el período 1880-2012, siendo el decenio actual el más cálido desde que se cuenta con registros instrumentales (IPCC, 2014).

Por otra parte, la influencia del cambio climático en el ciclo del agua y la situación geográfica de la península ibérica en la cuenca mediterránea, zona de particular interés porque los modelos climáticos proyectan una desecación en esta área (en términos de precipitación media y de índices de sequía (Kysely et al. 2012, Giorgi y Lionello, 2008); justifican ampliamente el estudio de proyecciones de cambio climático en zonas con peculiaridades o características propias como son las cuencas hidrográficas, consideradas como unidades de gestión de recursos indivisibles (Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas).

En este contexto, se presenta el análisis anual y estacional de las variaciones de la temperatura (máxima y mínima), de la precipitación y de algunos índices de extremos a lo largo del siglo XXI en las cuencas hidrográficas españolas, así como sus incertidumbres asociadas con 24 modelos climáticos globales. Los resultados muestran un aumento de la temperatura en todas las cuencas, más pronunciado en las cuencas interiores (Duero, Tajo, Ebro, Guadiana y Guadalquivir) y del este peninsular y con incertidumbre significativa, junto a una ligera tendencia a la disminución de la precipitación.

Palabras clave: Proyecciones climáticas, cambio climático, cuencas hidrográficas, regionalización.

Introducción

Una de las mayores preocupaciones a las que se enfrenta la humanidad es el cambio climático global, dado los graves efectos que está teniendo ya en la sostenibilidad del planeta; como se ha puesto de manifiesto en los sucesivos informes del IPCC (www.ipcc.ch). El cambio climático inducirá, entre otros, cambios en los patrones de precipitación y temperatura que afectarán, en consecuencia, al ciclo hidrológico global (Teutschbein y Seibert, 2010) y, por tanto, a la gestión de las cuencas hidrográficas. Estos cambios, junto a la propia vulnerabilidad de la península ibérica y de la cuenca mediterránea, donde existe un consenso entre los modelos que prevén un descenso de las precipitaciones; despiertan un gran interés por el conocimiento de la evolución futura del clima y sus impactos en estas áreas.

Los modelos climáticos globales (GCM, de sus siglas en inglés) constituyen la herramienta básica y fundamental para simular el funcionamiento del sistema climático y realizar estimaciones de su posible evolución. Desafortunadamente tienen poca resolución espacial, lo que supone un inconveniente para realizar estudios locales y/o evaluar el impacto del cambio climático en áreas pequeñas. En consecuencia, para utilizarlos en estudios regionales y obtener estimaciones de mayor resolución

espacial se recurre a la regionalización o downscaling, proceso que transforma la información de menor resolución en otra de resolución espacial más fina, exigiendo que se reproduzca el efecto medio de la circulación general y que considere los procesos físicos a escala local para aportar así más información que una simple interpolación. Existen dos técnicas de regionalización: la dinámica y la estadística, esta última es la que se emplea en este trabajo, que establece relaciones empíricas entre las variables atmosféricas a gran escala de los GCM (predictores) y las variables locales observadas que se quieren simular (predictandos).

Para incorporar a los modelos diferentes opciones de evolución futura se utilizan escenarios de emisiones, en los que se consideran supuestos básicos respecto de la evolución socioeconómica, demográfica y tecnológica futura, que permiten analizar el cambio climático futuro. Para el AR5, la comunidad científica, ha definido cuatro escenarios nuevos: las denominadas sendas de concentración representativas (RCP, por sus siglas en inglés), que identifican valores del forzamiento radiativo total en torno al año 2100. Así, el escenario RCP2.6 supone 2.6 W/m^2 , en el RCP4.5 supone 4.5 W/m^2 , 6.0 W/m^2 , en RCP6.0, y 8.5 W/m^2 , en RCP8.5 (Moss et al., 2010). Los cuatro representan la adopción de varias políticas climáticas en el siglo XXI, frente a los escenarios de emisiones (SRES) que no contemplaban políticas climáticas y que fueron utilizados en el tercer (TAR) y cuarto informe (AR4) del IPCC.

A pesar de la continua mejora en modelos, metodologías y las características, cada vez más realistas, de los escenarios, la existencia de incertidumbres es inevitable, como en todo proceso predictivo. Las principales fuentes de incertidumbre son los forzamientos naturales, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), las concentraciones GEI y los aerosoles, los modelos globales y las técnicas de regionalización; estas se van acumulando en cada paso del proceso de downscaling a modo de cascada (Mitchell y Hulme, 1999).

Metodología

Para llevar a cabo este estudio se han seleccionado 361 estaciones termométricas y 2093 pluviométricas de la base de datos de AEMET repartidas en la península ibérica, sobre las cuales se han proyectado un conjunto de 24 modelos globales de cambio climático de la fase 5 del proyecto de intercomparación de modelos acoplados (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, CMIP5) utilizados en la elaboración del AR5.

En el presente trabajo se han obtenido las proyecciones mediante dos métodos de regionalización estadística, uno basado en técnicas de análogos (Petisco y Martín, 2006) y otro basado en regresión lineal múltiple (SDSM, Statistical DownScaling Method) (Wilby et al., 2002).

El método de análogos busca variables análogas sinópticas diarias entre los datos del clima pasado y el clima futuro, teniendo en cuenta los patrones de tiempo de manera que mantiene la covarianza espacial entre los predictandos. La base de datos de clima pasado corresponde al reanálisis realizado por el National Center for Atmospheric Research (NCEP-NCAR), (Kalnay et al., 1996) del periodo 1951-2005. Los predictores utilizados para las proyecciones de la temperatura son: la temperatura a 2 metros, las temperaturas a diferentes niveles de presión (850, 700 y 500 hPa), las componentes zonal y meridiana del viento a nivel del mar, la presión a nivel del mar y la temperatura a 2 metros del día anterior, la humedad específica a 700 hPa y la función del día del año, que representa la insolación teórica del día problema. En las proyecciones de la precipitación se han utilizado como predictores: la presión a nivel del mar, la vorticidad a nivel del mar y a 500 hPa, las componentes zonal y meridiana del viento a 500 hPa, las componentes del viento geostrofico a nivel del mar y a 500 hPa, el gradiente vertical de temperatura entre los niveles de 850 y 500 hPa, la humedad específica a 700 hPa, la temperatura a 500 hPa y la tendencia de presión a nivel del mar.

El método de regresión lineal múltiple, utiliza para obtener las proyecciones de la temperatura un modelo no condicional, que supone la existencia de una relación directa entre el predictando y los predictores. En el caso de la precipitación se utiliza un modelo condicional que relaciona los predictores y el predictando mediante la probabilidad de ocurrencia del fenómeno. Los predictores que se utilizan son: temperatura, humedad específica y componentes zonal y meridiana del viento a: 850, 700 y 500 hPa, componentes zonal y meridiana del viento a nivel del mar, presión a nivel del mar y temperaturas máxima y mínima a 2 metros.

Una vez obtenidas las proyecciones de cambio climático de la temperatura máxima, mínima y la precipitación (predictandos) para cada escenario de proyección futura, se calculan las anomalías de estos respecto a los valores que toman las proyecciones en el escenario histórico (*historical*), tomando 1961-1990 como periodo de referencia. Ante los indicios de cambios en los diferentes tipos de eventos climáticos extremos y las variaciones en su comportamiento, se estudia la frecuencia y el cambio de estos valores recurriendo a algunos de los índices de extremos, publicados en el proyecto STARDEX (Statistical and Regional dynamical Downscaling of EXtremes for European regions), (STARDEX, 2004). Relacionado con la variación de la temperatura máxima, se analizan: el cambio en el número de días cálidos (WD, del acrónimo en inglés warm days), definido como el número de días con temperatura máxima superior a su percentil 90 diario del periodo de referencia, y las variaciones en la duración máxima de las olas de calor (LOC). La ola de calor se define como la existencia de al menos 5 días cálidos consecutivos. En relación con la temperatura mínima, se estudia el cambio en el número de noches cálidas (WN, del acrónimo en inglés warm nights), es decir, la variación en el número de días con temperatura mínima superior al percentil 90 del periodo de referencia, y el cambio en el número de días de helada (FD, del acrónimo en inglés frost days), es decir, la variación en el número de días con temperatura mínima inferior a 0°C. En relación con la precipitación, se presentan tres índices. En primer lugar, la variación en el número de días con precipitación (R1) con respecto al periodo de referencia, que se define como el número de días con precipitación igual o superior a 1 mm; el cambio en las precipitaciones intensas (CP95) que viene definido como la fracción de la precipitación total registrada en los días cuya precipitación en 24 horas es superior al percentil 95 de la distribución de precipitaciones diarias (superiores a 1 mm) en el periodo de referencia, expresada en porcentaje respecto al periodo de referencia considerado. Por último, el índice longitud del periodo seco (LPS), definido como el número máximo de días consecutivos sin precipitación o con precipitaciones inferiores a 1 mm, expresando los cambios en días respecto al periodo de referencia.

Como resultado, se obtienen 83 proyecciones para la precipitación (41 con la técnica de regresión y 42 con análogos) y un total de 74 para temperatura (41 de regresión y 33 de análogos), analizándose el comportamiento anual y estacional.

Resultados

En este estudio se calculan las anomalías de las temperaturas máxima y mínima, de la precipitación y de los índices de extremos en el periodo de proyección 2010-2099 frente a los valores del periodo 1961-1990 que se toma como referencia. El análisis de las anomalías se ha abordado de dos maneras, en primer lugar el estudio de la evolución, anual y estacional, de los valores medios de los modelos por escenario y sus incertidumbres calculadas como más/menos una desviación típica (figuras 1, 4, 5, 6, 9 y 10); por otro lado, mediante la función de distribución empírica (figuras 2 y 7) y finalmente con la representación de las anomalías del último treintenio mediante diagramas de cajas y bigotes (boxplots) de Tukey (Chambers et al. 1983) (figuras 3 y 8). En el estudio estacional (los gráficos se pueden consultar en www.aemet.es), las mayores anomalías en las temperaturas máxima y mínima se observan durante el verano (figura 3) y el otoño, siendo más pronunciadas en las cuencas interiores y en las de la zona este de la península ibérica. La tendencia al aumento en la temperatura, anual y estacional, se obtiene con las dos técnicas de regionalización y para todas las cuencas, siendo la magnitud mayor en la temperatura máxima. Queda de manifiesto que los incrementos de temperatura son mayores en los resultados obtenidos mediante el método de regresión que mediante el de análogos (figura 1). Se observa consenso en la tendencia que muestran los tres escenarios con pequeñas diferencias cuantitativas.

Analizando los resultados obtenidos a escala anual y estacional de las variaciones mediante la función de distribución empírica, de nuevo se perciben las diferencias de los resultados según el escenario. En general, la mayoría de los valores anuales del periodo 2010-2099 muestran un incremento entre 1°C y 6°C para el caso de la temperatura mínima y máxima. Estacionalmente, es el verano la estación en la que las dos variables amplían su rango de valores. En el caso particular de la cuenca del Cantábrico Occidental (figura 2) se observan incrementos entre 1°C y 4°C para el caso de la temperatura mínima y entre 2°C y 6°C para la máxima.

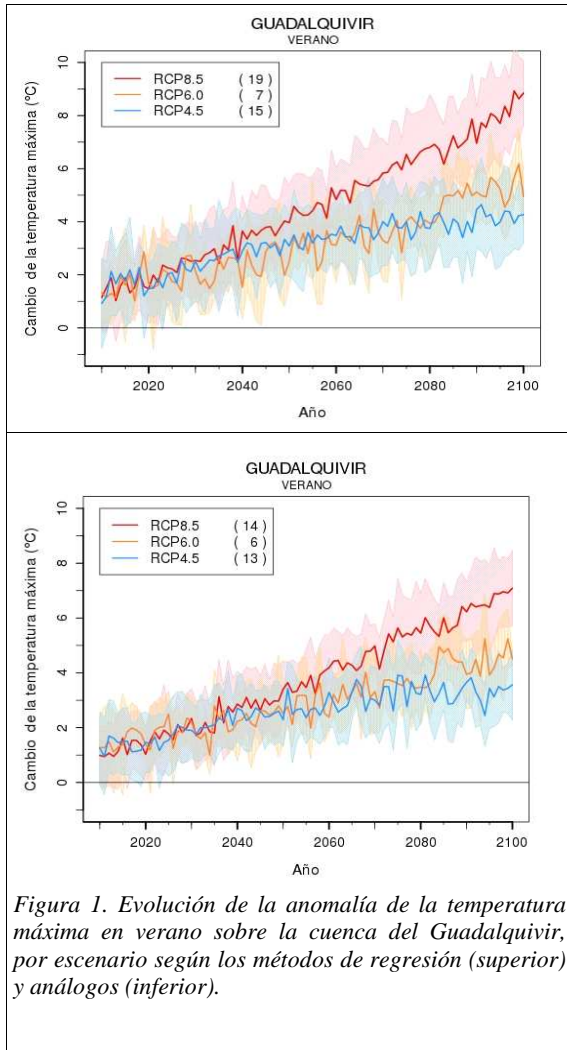


Figura 1. Evolución de la anomalía de la temperatura máxima en verano sobre la cuenca del Guadalquivir, por escenario según los métodos de regresión (superior) y análogos (inferior).

Además se ha realizado un estudio de los cuantiles de los últimos 30 años del siglo XXI, mediante diagramas de caja (boxplots) de ambas técnicas de regionalización, para estudiar la variación del periodo final 2070-2099 tomando como periodo de referencia: 1961-1990. En lo que respecta a la temperatura máxima, destacan las cuencas de la zona norte peninsular (Galicia-costa, Miño-Sil, Cantábrico Occidental y Oriental) las cuencas mediterráneas de Andalucía y la del Guadalete-Barbate con menores incrementos que el resto en el caso de la temperatura máxima en verano, comportamiento que se extiende al resto de las estaciones y escenarios. Como contraste, el comportamiento de las variaciones de temperatura mínima es, en general, el mismo sin distinción por cuencas, (figura 3).

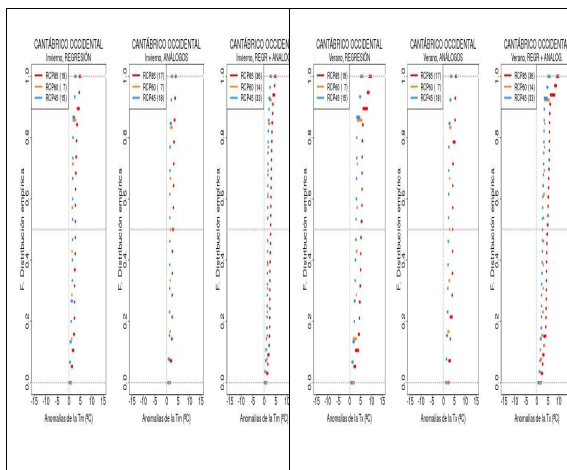


Figura 2: Función de distribución empírica de las variaciones de temperatura en el periodo 2010-2099, obtenidas con las técnicas regresión y análogos. Para la temperatura mínima en invierno (izquierda) y máxima en verano (derecha), bajo los escenarios RCP8.5, RCP6.0 y RCP4.5, en la cuenca del Cantábrico occidental con periodo de referencia 1961-1990.

Continuando con el análisis de índices extremos, se analiza la longitud de la ola de calor (LOC) cuya tendencia general es al aumento, especialmente en el verano y en el otoño. Es claro el consenso existente entre las dos técnicas estadísticas utilizadas para todas las cuencas y todos los periodos de estudio (anual y estacional), alcanzando variaciones a final de siglo, en la mayor parte de las cuencas, entre 15 y 60 días (regresión) y entre 10 y 30 días (análogos), (figura 5). Esta tendencia es más débil en las cuencas del cuadrante noroeste con un aumento en la segunda mitad del siglo XXI de entre 10 y 30 días y más acusada con valores de hasta 60 días en cuencas del este de la península ibérica y del sur. En los resultados de regresión se observa un ritmo de aumento mayor que en análogos (figura 4). Los resultados obtenidos con el método de análogos no muestran diferencias notables entre las cuencas mientras que los correspondientes a la técnica de regresión sitúan los menores incrementos en la mitad norte peninsular.

Cuando se analiza la variación del número de días y noches cálidas, en todas las estaciones los resultados de ambas técnicas tienden al aumento en todas las cuencas, sin apreciarse muchas diferencias entre ellas. En el análisis estacional, se observan menores incrementos a final de siglo durante el invierno y la primavera; los mayores incrementos se vislumbran para el escenario RCP8.5 a final de siglo en verano y otoño, con anomalías entre 10 y 50 días (figura 4), respecto al periodo de referencia. En el análisis de la variación en el número de días de helada, los modelos considerados en ambas técnicas de regionalización apuntan, en todas las cuencas, a la disminución, en torno al 10%. En las cuencas del Duero, Ebro y Tajo, se obtienen disminuciones mayores especialmente en invierno, con valores entre 15 y 40 días de disminución; ya que actualmente el número de días de heladas que se registran en estas cuencas es mayor. Para finales de siglo, en primavera, las cuencas del Duero y del Ebro muestran mayores decrementos, entre 10 y 20 días frente al resto de las cuencas, entre 1 y 5 días.

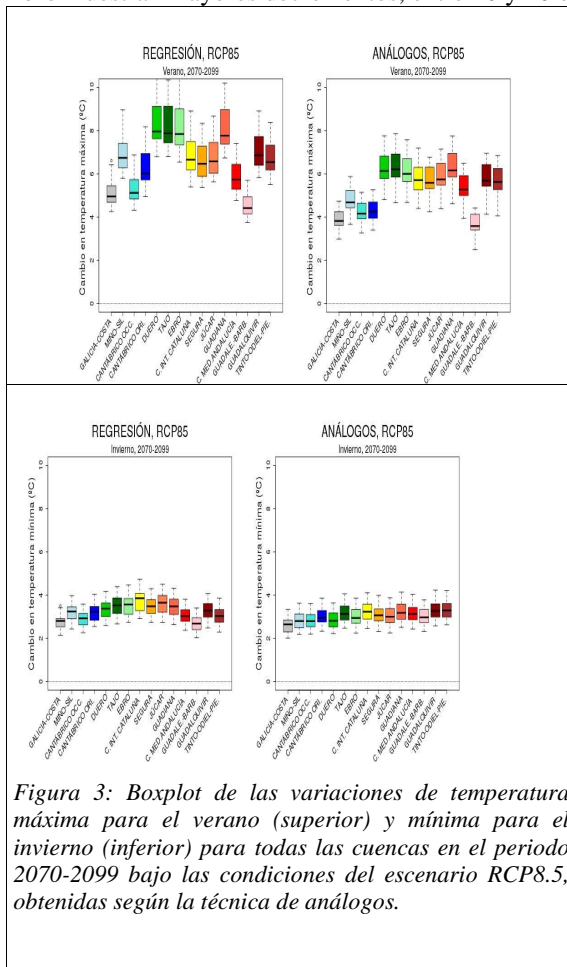


Figura 3: Boxplot de las variaciones de temperatura máxima para el verano (superior) y mínima para el invierno (inferior) para todas las cuencas en el periodo 2070-2099 bajo las condiciones del escenario RCP8.5, obtenidas según la técnica de análogos.

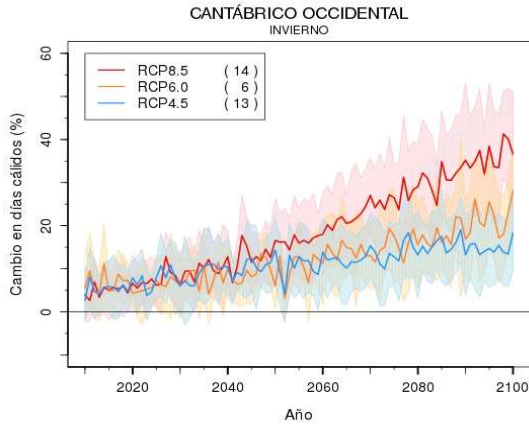


Figura 4: Evolución de la anomalía del número de días cálidos sobre la cuenca del Cantábrico occidental en invierno, por escenario, según el método de análogos.

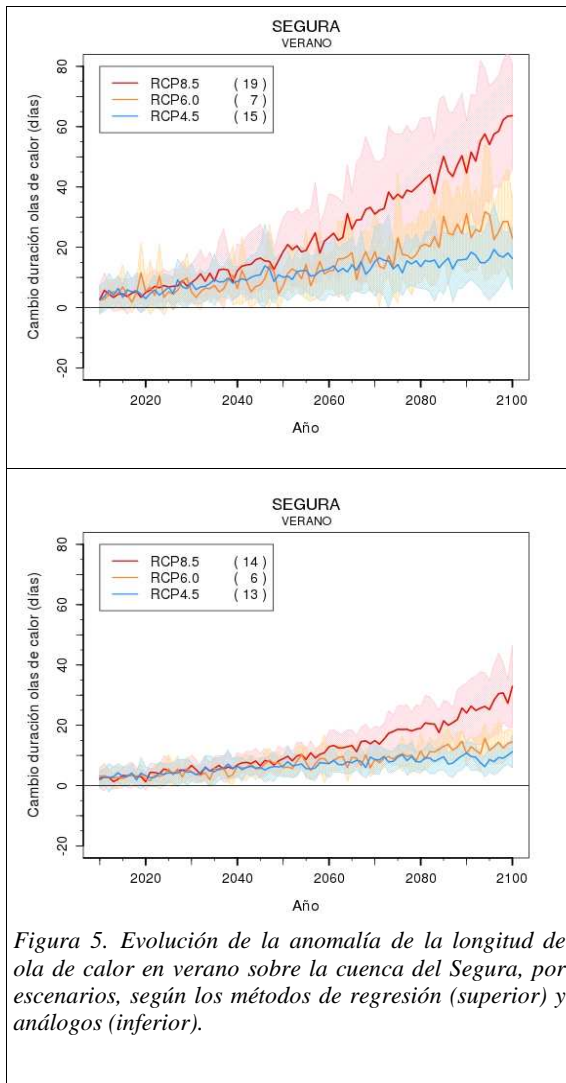


Figura 5. Evolución de la anomalía de la longitud de ola de calor en verano sobre la cuenca del Segura, por escenarios, según los métodos de regresión (superior) y análogos (inferior).

Respecto a la precipitación, anualmente, se atisba una ligera tendencia a la disminución, obteniéndose variaciones entre el 5% y el 45% (figura 7), para finales de siglo con el método de regresión; por el contrario con el método de análogos no se obtienen variaciones notables, aunque en algunas cuencas se observa una ligera tendencia a la disminución.

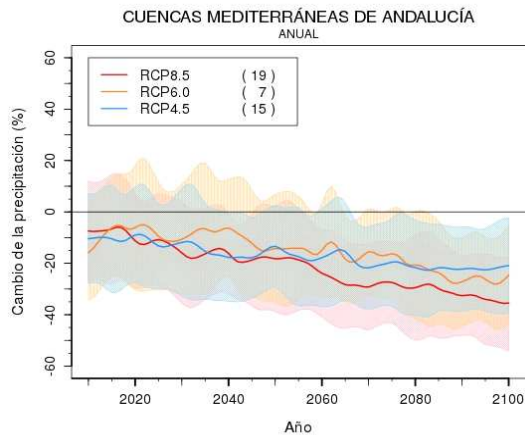


Figura 6: Evolución de la anomalía anual de la precipitación en las cuencas mediterráneas de Andalucía, por escenarios según el método de regresión.

Estacionalmente, el otoño y la primavera son las estaciones que podrían tener una mayor disminución para todas las cuencas. Dada la gran variabilidad natural de la precipitación, se ha aplicado un filtro gaussiano a las proyecciones obtenidas para proporcionar conclusiones más claras.

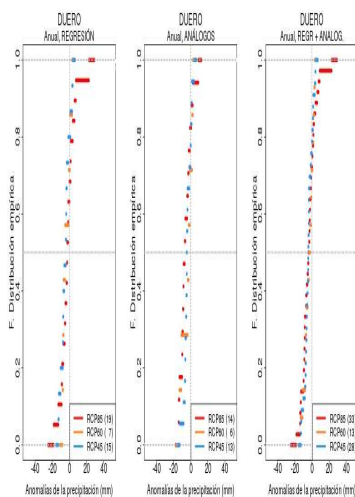


Figura 7. Función de distribución empírica para las anomalías de precipitación anual en la cuenca del Duero, obtenidas por regresión, periodo: 2070-2099.

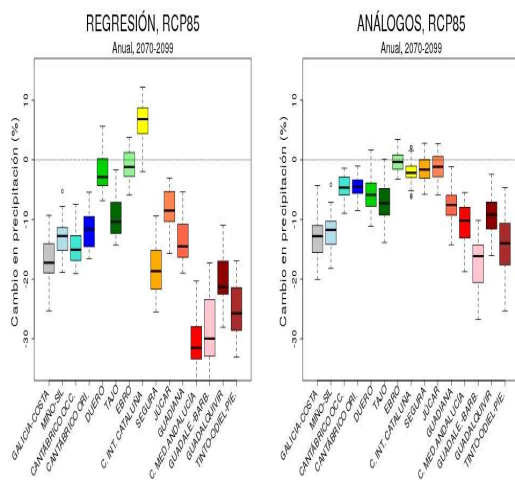


Figura 8. Boxplot de las variaciones de la precipitación anual (%) obtenidas por regresión, escenario RCP8.5, para el periodo 2010-2099.

Cabe destacar la gran incertidumbre que presentan los resultados, en parte debido al escaso consenso entre los modelos, por lo que los resultados tienen un nivel de confianza medio o bajo, en la misma línea que afirma el IPCC en su último informe (AR5). En general, para la precipitación no se aprecia diferencias entre los resultados de los escenarios y existe una mayor discrepancia entre las técnicas. En el periodo final del siglo XXI, las cuencas del sur de la península podrían presentar disminuciones, en promedio, inferiores a 20 %. Las cuencas de Galicia costa, Miño-Sil, Cantábrico occidental y oriental, Tajo, Guadiana, Júcar y Segura apuntan a disminuciones en torno al 15%, contrastando estas con las cuencas del Duero, Ebro y las cuencas internas de Cataluña en las que no se aprecia apenas variación, (figura 8).

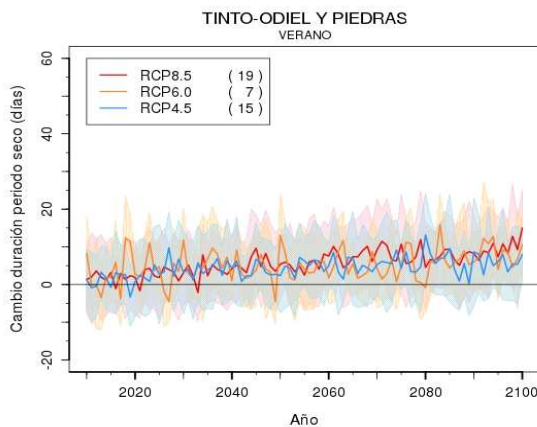


Figura 9: Evolución de la anomalía de la longitud del periodo seco en verano, sobre la cuenca del Tinto-Odiel y Piedras, por escenarios, según el método de regresión.

Un parámetro de interés, cuando se estudia el régimen pluviométrico, es el cambio en el número de días de lluvia, existiendo menor consenso entre los resultados obtenidos con las dos técnicas de regionalización.

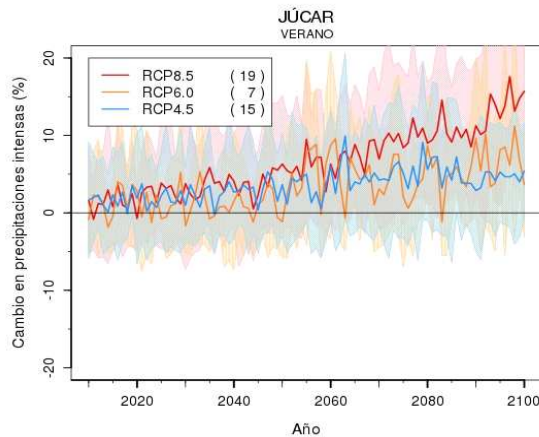


Figura 10: Evolución de la media por escenarios del cambio en precipitaciones intensas sobre la cuenca del Júcar, en verano, método de regresión.

Los resultados obtenidos muestran una tendencia general a la disminución en todas las cuencas y estaciones, siendo el invierno la estación que registra menores disminuciones. Respecto al cambio en las precipitaciones intensas (figura 10), las mayores variaciones podrían darse a escala anual y en el verano, mientras que el invierno no muestra una tendencia clara. En los resultados obtenidos con la técnica de regresión, las cuencas del Duero, Ebro, Tajo, Júcar, Segura, Guadiana y Guadalquivir podrían tener una ligera tendencia al incremento de este índice. En cuanto a la longitud del periodo seco, no se aprecia tendencia, excepto durante el verano en las cuencas de la mitad sur de la península y en la cuenca de Galicia costa, donde se vislumbra una tendencia al aumento, con anomalías entre 5 y 10 días en el periodo final en el caso de regresión. En otoño y primavera no se observa una tendencia clara (figura 9).

Conclusiones

El calentamiento en el sistema climático es inequívoco y, desde la década de 1950, muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios (IPCC, 2014). En el estudio del cambio en las temperaturas se observa, en todas las cuencas, un aumento progresivo a lo largo del siglo XXI, tanto en los valores de la temperatura mínima como en los de la máxima, siendo mayor en estos últimos. Esta variación mayor en las máximas con respecto a las mínimas, implicará una mayor oscilación térmica diaria. El incremento de las temperaturas será más pronunciado en las cuencas interiores de los grandes ríos de la península (Duero, Tajo, Ebro, Guadiana y Guadalquivir) y en las del este peninsular (cuencas internas de Cataluña, Júcar y Segura) para todas las estaciones.

En general, la tendencia al aumento en la proporción de noches y días cálidos y en la longitud de la ola de calor es generalizada, con mayores variaciones durante el verano y el otoño. Las cuencas del Cantábrico occidental, oriental, Galicia costa, Miño-Sil, Guadiana y Guadalete-Barbate siguen, en conjunto, una pauta común con un aumento más suave que el resto.

En lo que respecta a la precipitación, se atisba, con menor certeza, una tendencia a la disminución en la mayor parte de las cuencas. Las cuencas del oeste peninsular, bajo la influencia atlántica, podrían presentar mayores disminuciones que el resto de las cuencas, hecho que puede atribuirse a que los modelos climáticos globales reproducen mejor la escala sinóptica y reproducen peor las interacciones locales de la zona mediterránea. Con respecto a los índices de extremos de la precipitación, las mayores variaciones parece que se producirán en la mitad oeste de la península: con aumento de la longitud de periodo seco y disminución de los días de lluvia.

Con ambos métodos de regionalización estadística se observa, en general, un comportamiento similar en la variación de las variables. Respecto a los resultados obtenidos para la temperatura, estos dependerán más de los escenarios que en el caso de la precipitación, especialmente a finales de siglo. Cabe destacar la similitud en los resultados de los escenarios RCP4.5 y RCP6.0, justificada por la estabilización del valor del forzamiento radiativo en ambos, frente al RCP8.5, que muestra variaciones mayores, ya que considera mayor forzamiento radiativo.

Agradecimientos

Nuestra gratitud a los equipos desarrolladores de los reanálisis (NCEP-NCAR) y a los del proyecto CMIP5.

Referencias

- Brunet, M., Casado, M. J., de Castro, M., Galán, P., López, J. A., Martín, J. M., Pastor, A., Petisco, E., Ramos, P., Ribalaygua, J., Rodríguez, E., Sanz, I. y Torre, L. (2008). Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España. Ministerio de Medio Ambiente Medio Rural y Marino. Madrid. 165 pp. ISBN: 978-84-8320-470-2.

- Chambers, J. M., Cleveland, W. S., Kleiner, B., and Tukey, P. A. (1983). Graphical Methods for Data Analysis. Wadsworth International Group, Belmont.

- Giorgi, F. y Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. Global and Planetary Change Vol.63

- IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer (eds)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

- Moss et al. (2010) . The next generation of scenarios for climate change research and assessments. Nature 463: 743-756.

- Kalnay et al. (1996). The NCEP-NCAR 40-year reanalysis project. Bulletin of the American Meteorological Society, 77, 437-471.

- Kyselý, J., Beguería, S., Beranová, R., Gaál, L., López-Moreno, J. I., (2012). Different patterns of climate change scenarios for short-term and multi-day precipitation extremes in the Mediterranean. Global and Planetary Change, 98-99, 63-72 [doi 10.1016/j.gloplacha.2012.06.010].

- Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente. (2008). Primer Informe de Seguimiento del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/1_prog_trabajo_v1_tcm7-12426.pdf

- Petisco, S. E., Martín, J. M. (2006). Escenarios de temperatura y precipitación para la España peninsular y Baleares durante el período 2001-2100 basados en “downscaling” estadístico mediante métodos de análogos. XXIX Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española.

- STARDEX, 2004. STARDEX Diagnostic Extremes Indices Software. http://www.cru.uea.ac.uk/projects/stardex/deis/Diagnostic_tool.pdf

- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Alexander, L. V., Allen, S. K., Bindoff, N. L., Bréon, F.-M., Church, J. A., Cubasch, U., Emori, S., Forster, P., Friedlingstein, P., Gillett, N., Gregory, J. M., Hartmann, D. L., Jansen, E., Kirtman, B., Knutti, R., Krishna Kumar, K., Lemke, P., Marotzke, J., Masson-Delmotte, V., Meehl, G. A., Mokhov, I.I., Piao, S., Ramaswamy, V., Randall, D., Rhein, M., Rojas, M., Sabine, C., Shindell, D., Talley, L. D., Vaughan, D. G., y Xie, S.-P. (2013). Resumen técnico. 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. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, EEUU.

- Teutschbein, C. and Seibert J. (2010). Regional Climate Models for Hydrological Impact Studies at the Catchment Scale: A Review of Recent Modeling Strategies. Geography Compass 4, pp 834-860, doi:10.1111/j.1749-8198.2010.00357.x

- Wilby R. L., Dawson C. W. y Barrow E. M. (2002). SDSM - a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. Environmental Modelling Software, 17: 145-157