

CHAPTER 5 / CAPÍTULO 5

**Recent changes and tendencies in
precipitation in Andalusia**

**Cambios y tendencias recientes en
las precipitaciones de Andalucía**

Recent changes and tendencies in precipitation in Andalusia

Mónica Aguilar Alba

Department of Physical Geography. University of Seville. C/ María de Padilla s/n. 41004 Sevilla. malba@us.es

ABSTRACT

Quantifying and understanding climatic changes at a regional scale is one of the most important and uncertain issues within the global change debate. An important step towards the understanding of regional climatic changes and impacts is the assesment of natural climate variability (Lionello et al. 2006). The analysis of a numerous precipitation monthly series over the period 1931-2007 located in the main mountainous ranges of Andalusia region (South of Spain) is presented. These areas are especially sensitive to climate changes due to the fact that most natural protected ecosystem and reservoirs are placed there, where most of the regional precipitation amounts fall and the main water volumes of the region are stored. Therefore, the occurence of changes in the averages of the pluviometric contributions in these mountains will have important environmental and socio-economic impacts.

The mosts relevant and significant changes is found in March when precipitation in the central and western regions of the Iberian Peinsula presents a clear continuous decline of 50% from the 60's onwards documented by several authors. In this paper we describe this phenomenon up to 2007 evaluating, on the one hand, its magnitude and evolution from a historical perspective and, on the other hand, the spatial variations of precipitation in the study area. Despite the similarities with other periods when considering various centuries of data, these last decades of the 20th century present different characteristics. The results of this study are related to climate change predictions and to recent studies reporting atmospheric circulation changes in the North Atlantic area.

Key words: *precipitation, trends, March, climate change, variability, Iberian Peninsula, Andalusia, mountains*

Cambios y tendencias recientes en las precipitaciones de Andalucía

Mónica Aguilar Alba

Departamento de Geografía Física y A.G.R. Universidad de Sevilla. C/ María de Padilla s/n. 41004 Sevilla. malba@us.es

RESUMEN

La cuantificación y el conocimiento de los cambios climáticos a escala regional es una de las temáticas más relevantes en el debate del cambio global. Poder entender los cambios a nivel regional y sus impactos es avanzar en el conocimiento de las características de variabilidad natural (Lionello et al. 2006). Se presentan en este trabajo los resultados del análisis de numerosas series de precipitación de Andalucía durante el periodo 1931-2007 de observatorios localizados en los principales sistemas montañosos de la región. Estas zonas son especialmente sensibles a las variaciones climáticas, ya que en ellas se localizan la mayor parte de los espacios naturales protegidos e infraestructuras hidráulicas. Las cantidades más importantes de precipitación se registran en estas zonas donde se acumulan los principales recursos hídricos de la región. Por ello, la existencia de cambios en las precipitaciones en estas áreas puede tener considerables impactos medioambientales y socio-económicos.

Desde los años sesenta hasta los años noventa del siglo pasado, el cambio más destacable en las series de precipitación, es una tendencia decreciente en marzo, que ha sido constatada por diversos autores para la vertiente occidental de la Península Ibérica. En este artículo ampliamos la dimensión temporal de este fenómeno, evaluando su magnitud con una perspectiva histórica (comienzos del siglo XIX), y extendiéndolo hasta el presente. Además, si examinamos las variaciones espaciales que se registran en todo el sur peninsular. El análisis del fenómeno a una escala plurisecular pone de manifiesto la singularidad de este comportamiento en las precipitaciones a lo largo de las últimas décadas del siglo XX. Por último, hemos puesto en relación los resultados obtenidos, con las previsiones de cambio climático y con estudios recientes sobre variaciones en los patrones de circulación atmosférica en el Atlántico norte.

Palabras clave: *precipitación, tendencias, marzo, cambio climático, variabilidad, Península Ibérica, Andalucía*

INTRODUCCIÓN

Probablemente el área mediterránea es una de las zonas en que la mayor parte de las simulaciones llevadas a cabo mediante distintos modelos climáticos ofrece resultados más coherentes en cuanto a las señales climáticas esperables en un futuro. De hecho,

las diferentes simulaciones acerca de los efectos antropogénicos sobre el clima coinciden en la predicción de un aumento general de las temperaturas mayor que la media planetaria y un descenso, también mayor al global, en las precipitaciones estivales (Lionello et al. 2006). Sin embargo, todavía existe una gran incertidumbre en esta

región sobre el comportamiento futuro de las precipitaciones debido a que la mayor parte de los modelos aún tienen dificultades en describir la cuenca mediterránea dada su accidentada y compleja topografía. Para captar el comportamiento de parámetros tan variables como el viento y la precipitación es necesario conocer bien la diversidad espacial de estos fenómenos, ya que sus escalas de variabilidad son inferiores a 10 Km. A esta complejidad hay que sumar los cambios estacionales, ya que esta zona de transición entre las latitudes subtropicales y las medias, se ve sometida a la alternancia de diferentes centros de presión a lo largo del año. En la región andaluza, a todos estos rasgos de la zona mediterránea hay que añadir la diversidad de su topografía, su localización meridional en Europa, cercana al continente africano, y la influencia de dos grandes mares, factores que añaden aún más complejidad al comportamiento de las precipitaciones. Por esta razón, conocer el funcionamiento de la precipitación a una escala regional y detallada resulta cada vez más necesario para poder validar y perfeccionar los modelos climáticos. De este modo se reduce la incertidumbre sobre los posibles escenarios futuros y la magnitud y tendencia de los cambios esperables para zonas de especial dificultad.

En los últimos años, el número de estudios sobre la precipitación y su comportamiento espacial y temporal han ido aumentando notablemente, siendo lo más habitual que se realicen a escala de la Península Ibérica, y a partir de un número no muy abundante de estaciones. Recientemente, comienzan a aparecer trabajos exhaustivos sobre la tendencia de la precipitación en el área mediterránea como los trabajos de Millán (Millán et al., 2005) y de González-Hidalgo sobre una red de estaciones muy densa (González-Hidalgo, 2006), lo que permite evaluar los cambios con una gran riqueza espacial. Sin embargo, aunque este último

estudio abarca parte de la zona sur oriental de Andalucía, el resto de la región andaluza no ha sido estudiado con el suficiente número de observatorios que permita conocer en detalle y evaluar, las tendencias que la precipitación está experimentando en la región.

Por otro lado, numerosos trabajos se centran en las precipitaciones invernales, intentando explicar los patrones de comportamiento espacial en relación con la NAO (Oscilación del Atlántico Norte). En estos meses invernales, cuando la fuerza de los vientos del oeste es mayor y los contrastes de presión latitudinales son más intensos, se han detectado cambios débiles en las tendencias para la Península, que parecen algo más acusados en el norte (Rodríguez-Puebla & Brunet, 2007).

Son menos frecuentes los estudios centrados en los meses equinocciales (Rodríguez-Puebla et al., 2002) aunque recientemente han recibido una mayor atención científica debido a los notables cambios que se detectan en las precipitaciones primaverales. Entre estos estudios, podemos mencionar, los dedicados al descenso de las precipitaciones en la zona occidental de la Península Ibérica en las últimas décadas del siglo XX (Raso, 1996; García-Barrón, 2002; Rodrigo, 2002; Rodríguez-Puebla et al, 2002; Saladié et al., 2002; González-Hidalgo et al., 2006; Rodrigo & Trigo, 2007) y, más detalladamente, para el mes de marzo (Serrano et al, 1999; Galán et al., 1999; Paredes et al., 2006; Aguilar et al., 2006). Los citados estudios han analizado este comportamiento hasta mediados de los años noventa, verificando la significación estadística de la tendencia. En el trabajo más reciente de Paredes et al. (2006), en el que se analiza este fenómeno en toda la Península Ibérica a lo largo del periodo 1941-1997, se pone de manifiesto cómo este descenso se inicia en 1960 y supone una

disminución de un 50% en los totales pluviométricos de marzo.

En Andalucía, los recientes escenarios regionalizados obtenidos del proyecto “Generación de Escenarios de Cambio Climático en Andalucía” realizados por la FIC (Fundación para la Investigación del Clima) en el marco de la Estrategia de la Comunidad Autónoma Andaluza ante el Cambio Climático (Junta de Andalucía, 2007), permiten disponer de información a escala local y para horizontes próximos (2011-2020, 2041-2050, 2091-2100). La escala espacial y temporal de estos escenarios es muy adecuada para los gestores (escala local y un horizonte de 10-20 años), facilitando las tareas de planificación y adaptación al cambio. A su vez, estos escenarios regionalizados se podrán integrar con modelos hidrológicos para traducirlos en términos de sus impactos sobre las aportaciones a ríos, embalses y acuíferos, y así poder evaluar la vulnerabilidad de los distintos sistemas de explotación agrícola. Cabe resaltar los excelentes resultados de la verificación de esta modelización para Andalucía en el caso de las temperaturas; sin embargo, estos escenarios se deben manejar con cautela para la precipitación, ya que los errores de verificación del modelo son, en algunos casos, similares a los cambios simulados (Giansante, 2007). Por todo ello, siguen siendo necesarios más estudios sobre esta región que permitan mejorar el conocimiento climático de Andalucía, tanto a escala espacial como temporal, no sólo para la precipitación, sino para la mayoría de las variables climáticas.

En esta línea, el presente trabajo pretende continuar profundizando en el conocimiento de los cambios y tendencias más destacables que ha experimentado la precipitación en Andalucía y continúa profundizando en los resultados presentados en 2006 por la autora y colaboradores (Aguilar et al., 2006). El análisis de la precipitación se centrará, espe-

cialmente, en series que comienzan a principios del siglo XX hasta el presente, dando una dimensión espacial a los cambios que en estas series temporales se detectan. De esta forma, podremos apreciar cómo los cambios atmosféricos, a gran escala, no necesariamente se traducen en cambios uniformes en espaciales y, por otro lado, cómo las diferencias espaciales permiten delimitar y evaluar la dimensión de los cambios atmosféricos que se están registrando.

En el estudio precedente, el ámbito analizado fue la región de Andalucía extendiendo sus límites al sector meridional de Portugal y la región murciana, lo que permitió analizar la dimensión espacial de los cambios en las precipitaciones en todo el sur peninsular. Uno de los resultados destacables fue que los descensos más importantes en las precipitaciones se producían en las zonas de montaña, áreas espacialmente sensibles y vulnerables a estos cambios. Por esta razón, el presente trabajo se centra en los ámbitos montañosos de la región, de gran valor natural, y donde se localizan gran parte de los pantanos que permiten regular y gestionar los recursos hídricos. Un descenso en las aportaciones pluviométricas tendrá, sin ninguna duda, unos impactos notables sobre estos valiosos ecosistemas y sobre los volúmenes embalsados, de consecuencias medioambientales y socio-económicas graves, ya que afecta a un recurso sometido a una fuerte demanda.

ÁMBITO DE ESTUDIO Y DATOS

En nuestro estudio, pretendemos avanzar en la caracterización de la precipitación en Andalucía partiendo de los trabajos precedentes, aunque ampliando la cobertura espacial y temporal. En primer lugar, hemos utilizado un número elevado de series, con el objeto de encontrar matices espaciales y, en segundo lugar, hemos enmarcado los

cambios detectados en un contexto temporal más amplio, utilizando para ello las series históricas más largas de Andalucía. En la medida de lo posible, las series utilizadas han sido actualizadas hasta el año 2007, con el fin de describir el comportamiento más reciente de la precipitación en aquellos meses que registran cambios significativos, fundamentalmente el mes de marzo. Por último, relacionaremos estos resultados con las proyecciones de cambio climático para la región y con recientes estudios sobre variaciones climáticas en el ámbito del Atlántico Norte.

de lagunas en su interior, las cuales se han interpolado a partir de los datos procedentes de observatorios cercanos, mediante regresión lineal simple a partir de la serie mejor correlacionada. Sólo en algunos casos, y especialmente en el ámbito oriental de Andalucía, donde la cobertura espacial de la red de observatorios es más deficiente, los criterios han sido algo menos rigurosos en estos requisitos.

Siguiendo estos criterios se han utilizado un total de 141 estaciones de observación, distribuidas en las principales zonas de montaña, como puede apreciarse en la Tabla 1

| Zonas | Provincia | Número de estaciones |
|--------------------------------|-------------------|----------------------|
| Sierra de Aracena | Huelva | 10 |
| Sierra Norte Córdoba y Sevilla | Córdoba y Sevilla | 19 |
| Pedroches | Córdoba | 21 |
| Serranía de Ronda | Cádiz y Málaga | 32 |
| Sierra Nevada | Granada y Almería | 19 |
| Sierras de Cazorla y Segura | Jaén | 40 |
| Total | | 141 |

Tabla 1. Número total de observatorios utilizados para el estudio según las zonas montañosas establecidas.

Iniciaremos nuestro estudio, con la caracterización de algunos rasgos esenciales de la precipitación en Andalucía para lo que utilizaremos un observatorio representativo de los rasgos más generales en la región, como es el observatorio de Jerez de la Frontera Aeropuerto, en la provincia de Cádiz. Posteriormente, profundizaremos en estos rasgos y así, partiendo de los resultados de nuestro estudio anterior, se han seleccionado las estaciones de observación situadas en los principales sistemas montañosos de la región, donde se han registrado los cambios más notables. Las series de precipitación se han escogido atendiendo a dos criterios fundamentales: la calidad de sus series y una extensión temporal lo más amplia posible, con un mínimo de 70 años de observación y prolongación hasta los años 2006 y 2007. Además, se les ha exigido un máximo de 5 %

y Figura 1. A este grupo hay que sumar, los observatorios que disponen de las series históricas más largas de la región que nos permitirán enmarcar los cambios detectados, en un contexto temporal más amplio y que aparecen en la Tabla 2.

Como es habitual en este tipo de estudios, lo que se pretende analizar es la señal espacial de cambio a largo plazo a una escala mayor que la local, se han combinado las series, con el objetivo de obtener una nueva serie regional representativa del territorio analizado (Jones & Hulme, 1996; Saladié et al., 2004). Ésta se construye a partir de las series individuales estandarizadas, lo que está especialmente recomendado en sectores con una alta variabilidad en la precipitación, como es el caso de suroeste peninsular. El periodo de referencia elegido para la estandarización de las series, ha sido el

último periodo internacional, 1971-2000, siguiendo las recomendaciones de la OMM (WMO, 1967).

No enumeraremos ni describiremos, todas las series utilizadas en este estudio ya que ocuparía un espacio excesivo. Hemos construido seis series regionales de los ámbitos montañosos formadas por un número variable de estaciones, según se recoge en la Tabla 1 y que comparten, como mínimo, el periodo común 1951-2006. A éstas, se suma una séptima serie regional, denominada “histórica”, que no siempre está constituida por el mismo número de observato-

rios. Se inicia con los registros de las dos series más largas (San Fernando y Gibraltar) a principios del siglo XIX, y, a medida que comienzan las demás series, se van incorporando éstas al cálculo de la serie regional (compuesta finalmente por 8 series). Por lo tanto, nuestro estudio parte del análisis de un total de 149 series de precipitación, todas ellas pertenecientes al Instituto Nacional de Meteorología, y, sólo una de ellas no española, Gibraltar, del servicio meteorológico británico (Mettooffice).

Las series de precipitaciones fueron sometidas a un control de calidad inicial que per-

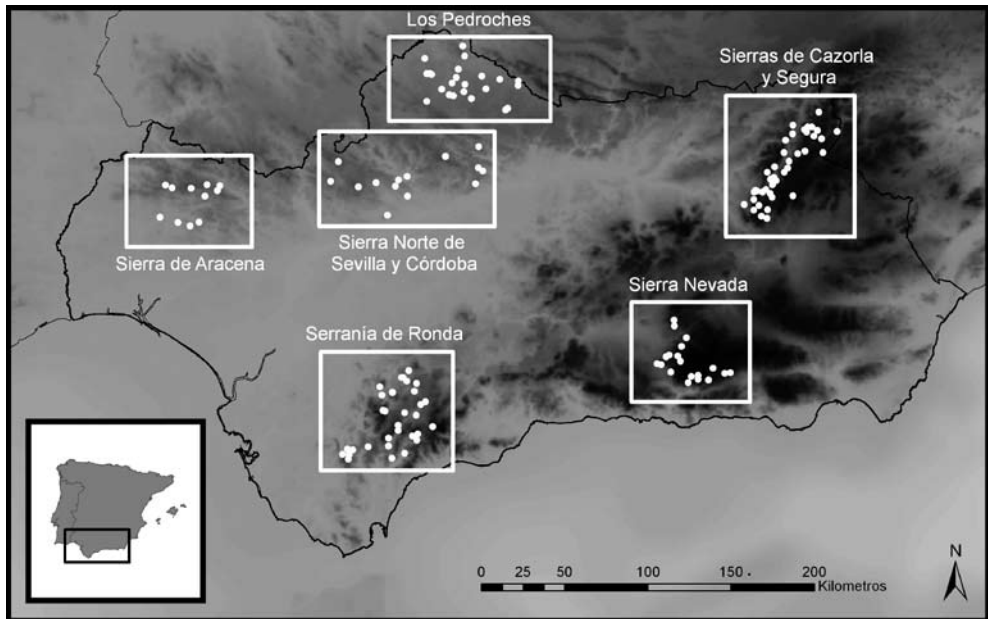


Figura 1. Localización de los observatorios utilizados para el estudio según las zonas montañosas establecidas.

| Observatorio | Provincia | Año Inicio | Año fin |
|-----------------------|-----------------|------------|---------|
| Gibraltar | Gibraltar (R.U) | 1813 | 2006 |
| Jerez de la Frontera | Cádiz | 1912 | 2007 |
| Sanlúcar de Barrameda | Cádiz | 1888 | 2005 |
| San Fernando | Cádiz | 1838 | 2005 |
| Sevilla | Sevilla | 1871 | 2005 |
| Tarifa | Cádiz | 1869 | 2005 |
| Úbeda | Jaén | 1864 | 2005 |
| Jaén | Jaén | 1867 | 2005 |

Tabla 2. Estaciones meteorológicas utilizadas para crear la serie histórica regional de Andalucía.

mitió detectar y corregir numerosos valores erróneos. Posteriormente, y para garantizar la homogeneidad de los datos, se les aplicó el Test de las Diferencias Acumuladas de Craddock (Craddock, 1979) y el Standardized Normal Homogeneity Test de Alexandersson para una sola serie (Alexandersson, 1986; Alexandersson & Moberg, 1997). Algunas de las series, consideradas en fases iniciales del estudio, no fueron finalmente utilizadas en la fase de análisis, por no presentar las garantías de homogeneidad suficientes.

EL RÉGIMEN DE PRECIPITACIONES EN ANDALUCÍA

Con el fin de comprobar si hay cambios en el régimen de precipitación, relacionados con el cambio climático, que pueden traducirse en desplazamientos estacionales, vamos a describir el ciclo anual más representativo en Andalucía para relacionarlos posteriormente con nuestros resultados. Cualquiera de las características que decidamos describir sobre la precipitación en los medios

mediterráneos destacará como rasgos esenciales, en primer lugar, la escasez de precipitaciones durante el verano, que marca el ritmo y ciclo biológico de los ecosistemas y de la sociedad en general en cuanto a consumos, y en segundo lugar, la variabilidad.

En general, si observamos el régimen medio de precipitaciones en Andalucía se caracteriza por presentar un mínimo estival centrado en el mes de julio (ver Figura 2). Los meses de mayor precipitación respecto al total son: noviembre, diciembre y enero con valores entre 12-13,5 %. A partir de enero, los valores comienzan a decrecer progresivamente, al mismo tiempo que las temperaturas van aumentando, lo que supone el inicio del periodo de déficit hídrico que se extiende desde abril hasta octubre, mes en el que vuelve a restituirse el equilibrio entre las pérdidas por evapotranspiración y las lluvias.

La diversidad de comportamientos en Andalucía es grande, al “mezclarse” los ciclos típicamente atlánticos con los mediterráneos. Esto se traduce, lógicamente, en la existencia de diferencias espaciales

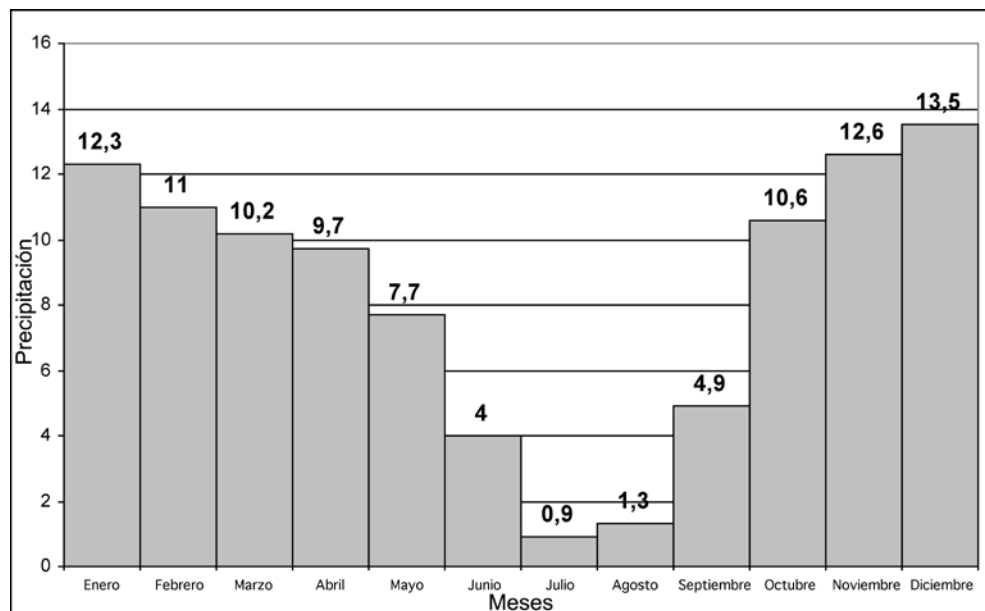


Figura 2. Régimen medio de las precipitaciones en Andalucía (en porcentajes).

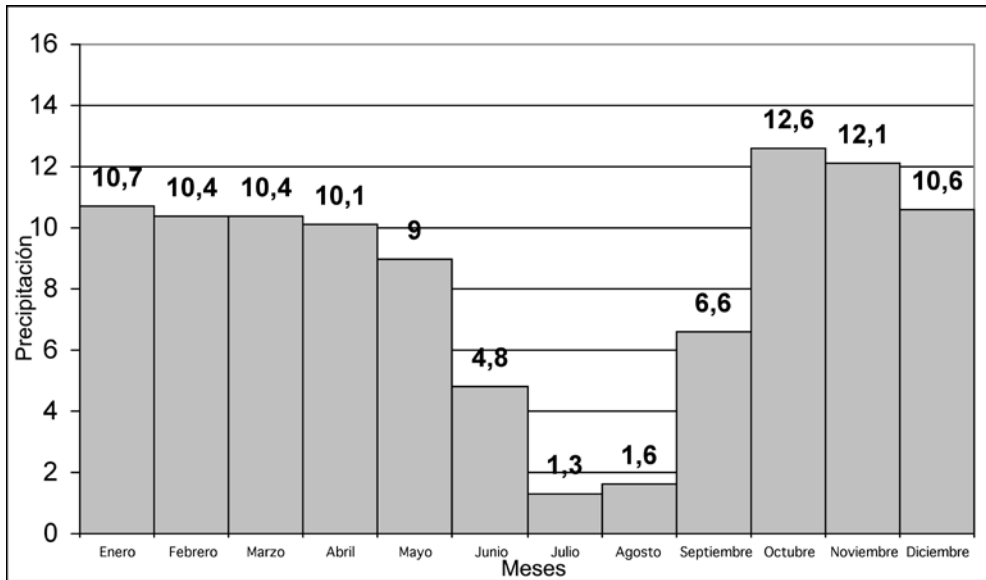


Figura 3. Régimen medio de las precipitaciones en Andalucía oriental (en porcentajes).

muy notables en el ciclo anual, debidas fundamentalmente, a la disposición del relieve, pero también a otros factores como la posición y distancia océano Atlántico y del mar Mediterráneo. Como resultado de todo ello, encontramos un comportamiento diverso en los volúmenes de precipitaciones anuales y mensuales, y en la localización de los máximos. Incluso el rasgo esencial que define los climas mediterráneos, la fuerte sequía estival, presenta diferencias notables en las cantidades registradas respecto al total anual de precipitación, desde mínimos en la zona más occidental, con valores en torno a 2,5 %, hasta valores que alcanzan un 12 % en los observatorios orientales de escasa pluviometría.

En cuanto al comportamiento en la zona oriental, (ver Figura 3), podemos observar cómo las precipitaciones se reparten de forma mucho más regular desde octubre a mayo, con valores en torno al 10%, destacando los meses de octubre y noviembre, que es cuando las precipitaciones ligadas al Mediterráneo, relacionadas con tipos sinópticos convectivos y de advecciones mediterráneas (levantes), son las que aportan mayores lluvias a estas zonas. Como

ponen de manifiesto los recientes trabajos de Estrella, Millán y Miró, que analizan las variaciones y tendencias de la precipitación en el ámbito Valenciano según tipos sinópticos, estos tipos de regímenes también están detectando cambios significativos que parecen explicar el comportamiento que también muestran las series de precipitación de la zona oriental de Andalucía (Estrella et al., 2006; Millán et al., 2006; Miró et al., 2006).

PRINCIPALES CAMBIOS Y TENDENCIAS DE LAS PRECIPITACIONES EN ANDALUCÍA. EL DESCENSO DE LAS PRECIPITACIONES EN MARZO

Aunque el presente estudio sólo presenta los resultados del tratamiento de las precipitaciones a escala mensual, se han analizado también, solo en alguno de los observatorios, los registros a escala diaria a fin de obtener el máximo diario mensual y el número de días de lluvia al mes. Para llevar a cabo un estudio completo es necesario contemplar estas dos variables ya que cambios en los

totales de precipitación pueden ser debidas a variación en la frecuencia de los episodios de lluvia, en la intensidad de éstos o en la combinación de ambos (Rodrigo & Trigo, 2007).

El análisis de las precipitaciones en el observatorio de Jerez de la Frontera Aeropuerto, ofrece los siguientes resultados que pueden apreciarse en la Tabla 3. A escala mensual sólo el mes de marzo presenta una tendencia decreciente significativa estadísticamente, que será el objetivo fundamental de nuestro estudio. El descenso se acompaña de una disminución, también significativa, de los máximos de precipitación diaria registrados durante este mes. Los citados resultados son coherentes con los presentados recientemente para la Península Ibérica por Rodrigo y Trigo, que constatan un descenso generalizado de la intensidad de la precipitación diaria (Rodrigo & Trigo, 2007). Sin embargo, esta tendencia, que la investigación registra fundamentalmente para los meses de invierno, no se detecta en nuestra serie, si bien es cierto que en el estudio se presenta con índices, y no directamente con las cantidades de estos episodios diarios máximos mensuales. Igualmente, los resultados de este trabajo, llevado con datos hasta el año 2002, no detectan ten-

dencias significativas en el número de días de precipitación. Sin embargo, en nuestros observatorios sí se registran durante los meses de octubre a febrero tendencias significativas en el número de días de precipitación, como se recoge en la Tabla 3.

Las conclusiones, aparentemente diferentes, ponen de manifiesto tres cosas. la complejidad de la variabilidad espacial de la precipitación, la necesidad de unificar metodologías para poder comparar resultados y el hecho de que, desde el 2002 al 2007, hasta donde llegan nuestras series, las tendencias se han ido agudizando, alcanzando este comportamiento significación estadística.

En nuestro estudio anterior (Aguilar et al., 2006) en el que analizamos 33 estaciones distribuidas por todo el territorio andaluz, se registra un descenso notable de las precipitaciones en el más de marzo. El fenómeno se produce en todo el ámbito de estudio, con la excepción de los observatorios del sureste, situados en las provincias de Almería y Murcia (Figura 4). Sin duda, la importante barrera separadora ejercida por el Sistema Bético entre los mecanismos atmosféricos “atlánticos” y “mediterráneos”, matiza espacialmente los efectos de unos y otros y determina esta individualización del sector sureste de la región.

| | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|---|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|------------|---------|-----------|-----------|
| Total mensual | NO | NO | SI(*) | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| Máximo diario mensual | NO | NO | SI(*) | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| Número días con precipitación al mes | SI(*) | SI(*) | NO | NO | NO | NO | NO | NO | SI(*) | SI(*) | SI(*) |

Tabla 3. Tendencias en las precipitaciones. Observatorio de Jerez de la Frontera Aeropuerto. (*) Descenso significativo al 95% según el test T-test para el coeficiente de regresión b1, el test de aleatoriedad para verificar la tendencia de los rangos de Spearman y el test de Mann-Kendall.

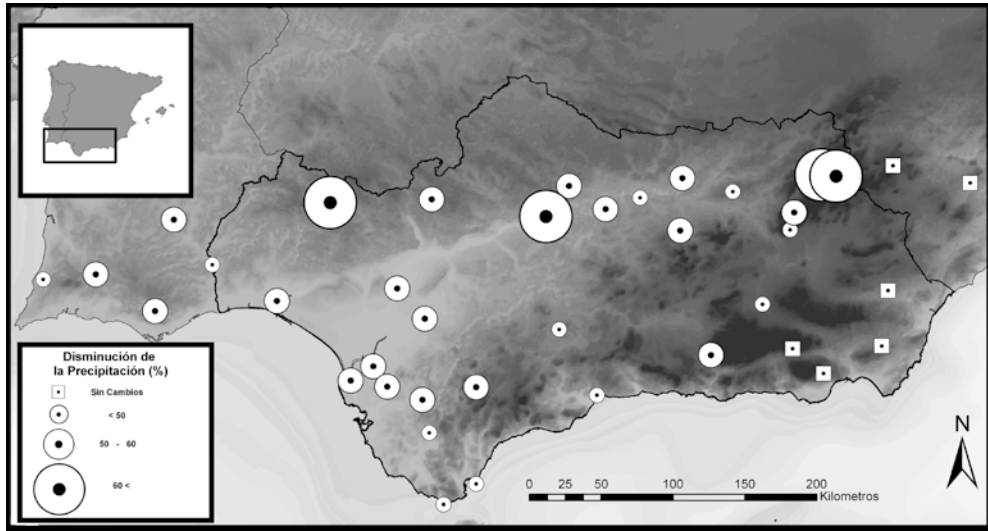


Figura 4: Mapa con el porcentaje de disminución de la precipitación en marzo del periodo 1971-2000 respecto a 1931-1960 (Aguilar et al., 2006).

Los estudios de Millán et al para la Comunidad Valenciana, ya mencionados, confirman un aumento en primavera de los episodios de torrencialidad ligados a las situaciones de frente en retroceso con respecto a las precipitaciones de origen convectivo o advecciones atlánticas que presentan una tendencia decreciente (Millán et al., 2006). Este efecto “compensatorio” entre los diferentes tipos de precipitaciones según su origen sinóptico explicaría la ausencia de tendencia en las series de marzo de la zona más sureste. Tal vez si distinguiéramos en los registros de marzo por tipos de tiempo, como hacen estos estudios citados, podríamos encontrar, también, tendencias decrecientes significativas en la zona, pero este tipo de análisis están fuera de los objetivos del presente estudio. No obstante, podemos concluir que en las series que presenten un régimen predominantemente mediterráneo, con predominio de inputs por frente en retroceso, es esperable que no encontremos una tendencia decreciente en las precipitaciones, por las razones que acabamos de exponer.

Así pues, a la vista de los resultados obtenidos, nos centraremos en las zonas de montaña que son las que están registrando los mayores porcentajes de disminución. Las estaciones más adecuadas fueron seleccionadas y posteriormente, una vez verificada su homogeneidad, se obtuvo la correspondiente serie representativa en cada una de ellas, siguiendo el procedimiento explicado en el apartado de ámbito de estudio y datos. La construcción de las series permite atenuar las diferencias locales y evaluando y cuantificando las tendencias y comportamientos más generales. En la Tabla 5 se recoge la disminución en valores absolutos y en porcentajes de las medias entre diferentes periodos internacionales establecidos por la OMM.

Habría que destacar en los resultados, cómo el descenso de las precipitaciones para el periodo 1971-2000 respecto a 1931-1960, supone más de un 50%. Cuando comparamos la disminución entre los años 1971-2000 respecto a 1961-1990, en que disponemos de registros para todas las zonas, podemos apreciar descensos notables para todas las zonas de Sierra Morena.

| | 1901-1930 | 1931-1960 | 1960-1990 | 1971-2000 |
|--------------------------------|-----------|--------------------|---------------------|--------------------|
| Sierra Aracena | 116,8 | 134,1 | 80,8 | 56,7 |
| Sierra Norte | | | 58,1 | 41,2 |
| Pedroches | | | 44,6 | 34,7 |
| Serranía Ronda | 211,7 | 170,8 | 92,2 | 76,6 |
| Sierra Nevada | | 78,5 | 60,6 | 51,3 |
| Sierra Cazorla | 146,5 | 131,7 | 92,8 | 74,4 |
| | | | | |
| Porcentaje de reducción | | 61-90/31-60 | 71-00 /61-90 | 71-00/31-60 |
| Sierra Aracena | | 39,8 | 29,8 | 57,7 |
| Sierra Norte | | | 29,1 | |
| Pedroches | | | 22,1 | |
| Serranía Ronda | | 46,0 | 16,9 | 55,1 |
| Sierra Nevada | | 22,9 | 15,3 | 34,6 |
| Sierra Cazorla | | 29,6 | 19,8 | 43,5 |

Tabla 5. Precipitaciones medias de marzo (milímetros) de los periodos internacionales del siglo XX y porcentaje de disminución entre ellos.

Este hecho concuerda con el apuntado por Paredes et al. (2006), pero introduce, además, matices espaciales en los valores de estos porcentajes de disminución y resalta el *gradiente*, de oeste a este y hacia la vertiente mediterránea, en el que los valores son notablemente inferiores (por

debajo de un 20%; ver Figura 5). Esta diferenciación pluviométrica en Andalucía no haría sino reforzar la ya detectada por Pita et al. (1999) en relación con la variabilidad de las precipitaciones. Según algunos autores, este fenómeno sería una manifestación más de los cambios

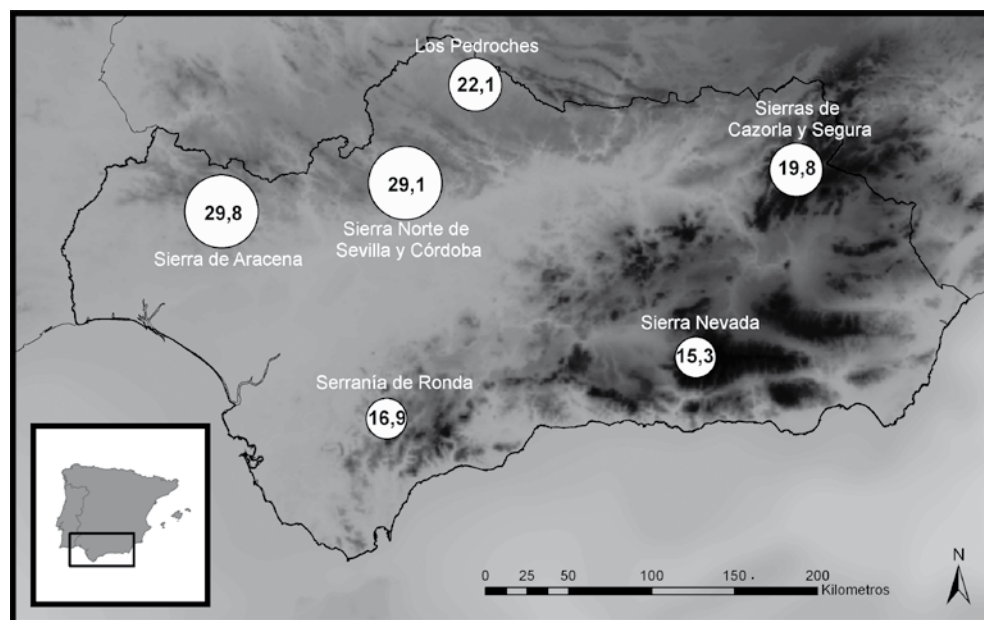


Figura 5. Mapa con el porcentaje de disminución de la precipitación en marzo del periodo 1971-2000 respecto a 1961-1990 en cada una de las zonas montañosas.

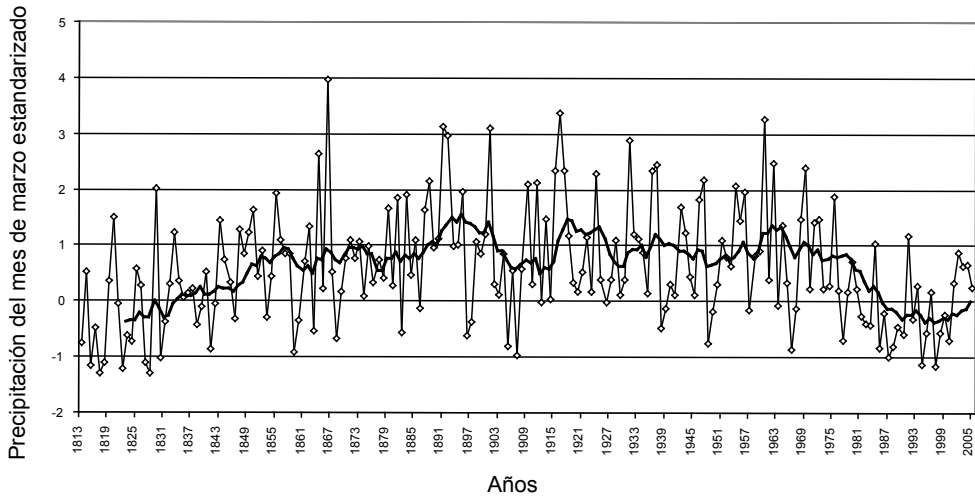


Figura 6. Serie histórica regional de precipitación de marzo estandarizada según el periodo 1971-2005 a la que se ha aplicado una media móvil de 11 años (1813-2005).

que se están detectando en la circulación atmosférica en el sector noratlántico de Europa (Kyselý & Domonkos, 2006; Cassou et al. 2004). En las últimas cuatro décadas, los cambios parecen estar asociados a variaciones significativas en las frecuencias de los tipos de tiempo y en las trayectorias de los ciclones (perturbaciones frontales), lo que están originando un aumento de la precipitación en las regiones más septentrionales (Islas Británicas y parte de Escandinavia), simultáneo a un descenso en la zona sur atlántica (Trigo & Dacamara, 2000).

En la Península, cuando analizamos el comportamiento en la Península, mediante un análisis de componentes principales, puede detectarse en toda la zona occidental que se encuentra bajo la influencia directa de las perturbaciones frontales ligadas a la corriente en chorro (Paredes et al., 2006), habiendo sido identificada esta zona como el primer modo de variación de la precipitación, (Rodríguez-Puebla, 1998; Serrano et al., 1999). La Oscilación del Atlántico Norte (NAO) es el principal mecanismo responsable de las fluctuaciones y cambios en las precipitaciones en este ámbito.

LA EVOLUCIÓN SECULAR DE LAS PRECIPITACIONES EN MARZO

Una vez descrita la importancia de las variaciones espaciales de fenómeno, hemos querido contextualizar los cambios a una escala temporal lo más extensa posible. Con este fin hemos utilizado algunas de las series históricas más largas de la región, que han servido de base para la construcción de la “serie histórica regional”. La evolución de las precipitaciones en dicha serie, desde comienzos del siglo XIX, aparece reflejada en las Figuras 6 y 7, y en ellas se pone claramente de manifiesto la relevancia, a escala plurisecular, de la tendencia decreciente en las precipitaciones, iniciada en los años 60 del siglo XX, la cual, además, continúa siendo significativa, estadísticamente, con arreglo al test de los Rangos de Spearman y el de Mann-Kendall, para un nivel de significación del 95 %.

En la serie histórica regional pueden distinguirse tres etapas: una primera, desde los inicios hasta 1840, con valores muy bajos y crecientes; una segunda etapa, muy extensa, que abarca el resto del siglo XIX y que se extiende hasta 1970 en que los valores son

bastante estables en su conjunto, y una tercera, que se prolonga hasta el final de la serie, en la que encontramos de nuevo pre-

diciones hídricas de este mes, por implicar una marcada permanencia en valores pluviométricos bajos.

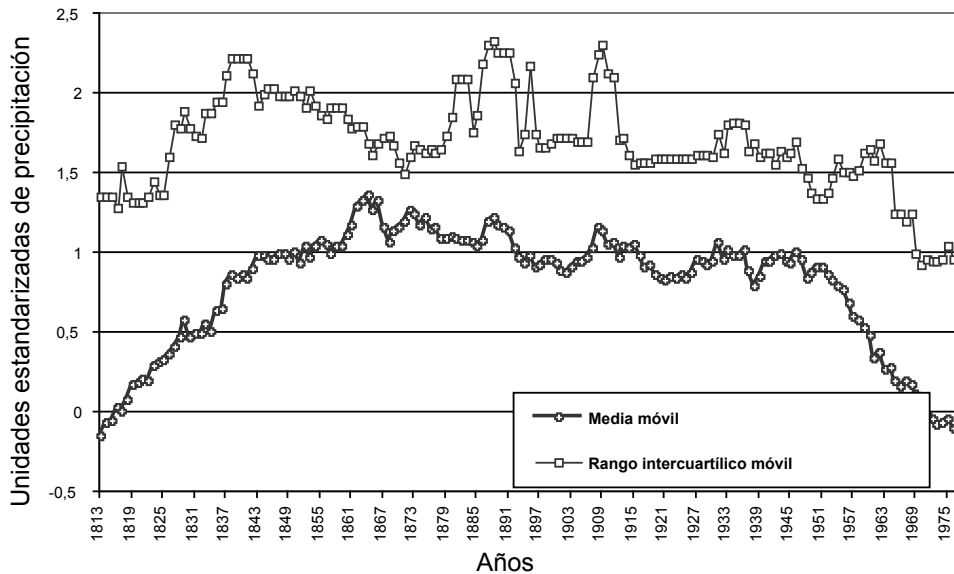


Figura 7. Media y rango intercuartílico móvil de 30 años de la serie regional histórica estandarizada para el periodo 1813-2005.

cipitaciones muy bajas, a pesar de que parecen remontar, ligeramente, en los últimos años. Estos mismos periodos de diferente comportamiento en las precipitaciones en el siglo XX, también han sido identificados en otras zonas de la Península (Aguilar & Pita, 1996; Creus, 1996; Saladié et al., 2002).

Asistimos, pues, a lo largo de estos dos siglos, a una disminución paulatina de la variabilidad pluviométrica y a un volumen de precipitaciones que se mantiene predominantemente estable, con la excepción de la etapa 1813-1840, de marcado ascenso y la etapa actual (1971-2000) en la que lo que se detecta es un descenso notable (Figura 7). Así pues, la singularidad de este último periodo vendría dada por un marcado descenso de las precipitaciones, unido a su reducida variabilidad. Esta circunstancia lo convertiría en único a lo largo de todo el periodo instrumental, además de dotarlo de un presumible agravamiento de las con-

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El estudio de numerosas series de precipitaciones del mes de marzo, en el sur de la Península Ibérica, pone de manifiesto los siguientes aspectos esenciales: en primer lugar, la existencia de una tendencia decreciente importante desde los años sesenta del siglo XX hasta la actualidad, a pesar del ligero repunte registrado en el año 2001. En segundo lugar, la significación estadística de la tendencia, incluso a escala plurisecular, lo que evidencia la magnitud histórica de este comportamiento. El descenso de las precipitaciones, de una duración ya muy prolongada, se acompaña de una disminución significativa de la variabilidad pluviométrica, lo cual agrava, aún más, su impacto sobre los recursos hídricos, por la permanencia de valores muy bajos de precipitación que no pueden compensarse inte-

ranualmente. Son también destacables las diferencias espaciales que aparecen en los porcentajes de disminución de la precipitación, destacando los gradientes norte-sur y este-oeste. Por otro lado, las diferencias espaciales encontradas son coherentes con el patrón general de la precipitación en la región, con dirección predominante SE-NW (Romero et al., 1998; Martín-Vide & Fernández, 2001).

Para evaluar la importancia de los cambios conviene situarlas en el marco de las tendencias registradas por esta variable a escala planetaria, en el contexto de los factores que potencialmente pueden generarlas y, desde luego, en el contexto de la amenaza de cambio climático que pesa sobre todo el planeta. En este sentido, podemos apuntar algunos hechos de especial interés:

Sabemos que el índice de Oscilación del Atlántico Norte (NAO) representa el principal modo de variación en la zona y, entre otros factores, se asocia con los cambios en la trayectoria y fuerza de las perturbaciones frontales, con la temperatura de la superficie del mar o con las anomalías en las temperaturas y en las precipitaciones en Europa, principalmente durante el invierno (Hurrell, 1995). Se ha confirmado, también, la asociación de esta tendencia decreciente de las precipitaciones, con un aumento de la temperatura del mar, el fenómeno el Niño y la Oscilación del Ártico (AO) (Rodríguez-Puebla et al., 2002). Recientemente, algunos estudios indican que la AO y la NAO tienen tendencia predominante a la polaridad positiva, o anomalías positivas de presión en zonas subtropicales, y negativas en las subpolares. Ello conlleva un desplazamiento hacia el norte de los vientos zonales del oeste y, como consecuencia, cambia el régimen de precipitación (Rodríguez-Puebla & Brunet, 2007). Otros muchos trabajos recientes, confirman los cambios significativos que se están produciendo en los patrones de circulación en el Atlántico Norte, especialmente

desde los años ochenta (Trigo & Dacamara, 2000; Fealy & Sweeney, 2005; Kyselý & Domonkos, 2006, entre otros).

En el contexto de un cambio climático, es bien conocida la fase positiva que a partir de mediados de la década de los setenta, experimenta la NAO. Esta circunstancia, explica el descenso de las precipitaciones que se registra en las latitudes subtropicales, lo que está relacionado con un aumento de las situaciones anticiclónicas en el sur de Europa (Schönwiese & Rapp, 1997; Folland & Karl, 2001). Cassou et al. (2004) analizan el desplazamiento del centro de acción de las Azores hacia el NE, como consecuencia del aumento de los gases de efecto invernadero, lo que explicaría el impacto del calentamiento global sobre la circulación atmosférica y la disminución de la precipitación en la Península Ibérica. Aunque fuera de los objetivos de este estudio, hemos verificado su evolución en los últimos años, a partir de los datos del índice NAO para marzo ofrecidos por Hurrell (2006). La duración de esta fase tiene su valor máximo en 1994 y, a excepción de 1996, con un valor negativo muy bajo, permanece con valores positivos hasta el 2003 (último dato disponible), aunque decreciendo. De todo ello puede deducirse que esta etapa podría estar finalizando. No obstante, la tendencia decreciente de las precipitaciones, se enmarca en un contexto de cambios más amplios que se están produciendo a escala global, desde los años ochenta, y forma parte de los cambios y variaciones climáticas más recientes y significativas. Si este comportamiento de las precipitaciones del mes persiste, y la recuperación iniciada en el año 2001 no continúa remontando, como parece estar sucediendo, las consecuencias para la agricultura y los recursos hídricos pueden agravarse, por lo que debería esta circunstancia ser tenida en cuenta en la planificación hidrológica.

La importancia de las fuertes disminuciones en este mes, no es sólo por el descenso de

las aportaciones, sino por el hecho de que es el último mes con balance excedentario. A partir de abril, cuando las temperaturas comienzan a ser elevadas, aumenta la ETp (evapotranspiración potencial) y ETr (evapotranspiración real) y los balances hídricos comienzan a ser negativos. Aunque no se aprecian tendencias negativas en las series en los meses siguientes, la efectividad de estas precipitaciones posteriores es muy pequeña, al superar la ETp a las precipitaciones registradas. Por lo tanto, las “últimas” precipitaciones útiles son las que aporta este mes, adelantándose el inicio de la estación desfavorable de abril a marzo, lo que sin duda significa un fuerte impacto en los ecosistemas. Estos cambios, unidos al incremento de las temperaturas y la ETr, no sólo modifican diversos aspectos del ciclo hidrológico, sino también la demanda de recursos hídricos (aumento de las demandas

de riego, usos residenciales, etc). Además, los impactos podrán ser tanto cuantitativos como cualitativos deterioro de la calidad de las aguas, cambio en la composición de especies, proliferación de algas, intrusión salina en el litoral (Giansante, 2007). Por todo ello, la planificación hidrológica debe adaptarse a los cambios que se constatan en el clima de la región, buscando estrategias que permitan mitigar sus consecuencias adversas.

AGRADECIMIENTOS

Petr Štipánek por proporcionar su versión ampliada del software Anclim y Proclim, a Juan Carlos González Hidalgo, Arturo Sousa y Leoncio García Barrón por su apoyo y ayuda inestimables, y al Instituto Nacional de Meteorología por las series de precipitación suministradas para este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, M. & M. F. Pita (1996). Evolución de la variabilidad pluviométrica en Andalucía occidental. su repercusión en la gestión de los recursos hídricos. En: *Clima y agua. La gestión de un recurso climático*. Marzol, M., Dorta, P. & P. Valladares (Eds): 299-311. Tabapress. La Laguna.
- Aguilar, M., E. Sánchez & M. F. Pita (2006). Tendencia de las precipitaciones en marzo en el sur de la Península Ibérica. En: *Clima, Sociedad y medio Ambiente*. (p. 167) Cuadrat, J. M., M. A. Saz, S.M. Vicente, S. Lanjeri, M. De Luis & J.C. González-Hidalgo (Eds.): 41-51. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. Serie A. 5. Zaragoza.
- Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology* 6: 661-675.
- Alexandersson, H. & A. Moberg (1997). Homogenization of Swedish temperature data. Part I. Homogeneity test for linear trends. *International Journal of Climatology* 17: 25-34.
- Cassou, C., L. Terray, J. Hurrell & C. Deser (2004). North Atlantic climate regimes: spatial asymmetry, stationarity with time and oceanic forcing. *Journal of Climate* 17: 1055-1068.
- Cradock, J. M. (1979). Methods of comparing annual rainfall records for climatic purposes. *Weather* 34: 332-346.
- Creus, J. (1996). Variaciones en la disponibilidad hídrica mensual en el valle del Ebro. En: *Clima y agua. La gestión de un recurso climático*. Marzol, M., Dorta, P. & P. Valladares (Eds): 79-86. Tabapress. La Laguna.
- Estrella, M. J., J. J. Miró & M. Millán (2006). Análisis de tendencia de la precipitación por situaciones convectivas en la Comunidad Valenciana (1959-

- 2004). En: *Clima, Sociedad y medio Ambiente*. Cuadrat, J. M., M. A. Saz, S.M. Vicente, S. Lanjeri, M. De Luis & J.C. González-Hidalgo (Eds.): 125-136. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. Serie A. 5. Zaragoza.
- Fealy, R. & J. Sweeney (2005). Detection of a possible change point in atmospheric variability in the North Atlantic and its effect on Scandinavian glacier mass balance. *International Journal of Climatology* 25: 1819 - 1833.
- Folland, C. K. & T. R. Karl (2001). Observed climate variability and change. En: *Climate Change 2001. The scientific basis*. Houghton, J. T. et al (Eds.): 99-182. Cambridge University Press. Cambridge,.
- Galán, E., R. Cañada, D. Rasilla, F. Fernández & B. Cervera (1999). Evolución de las precipitaciones en la Meseta meridional durante el siglo XX. En: *La climatología española en los albores del siglo XXI*. Raso Nadal, J. M. & J. Martín-Vide (Eds): 169-180. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. Serie A. 1. Barcelona.
- García-Barrón, L. (2002). Evolución de las precipitaciones estacionales en el Suroeste español; posibles efectos ambientales. En: *El agua y el clima*. Guijarro, J. A., Grimalt, M., Laita, M. & S. Alonso (Eds.): 209-218. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. Palma de Mallorca.
- Giansante, C. (2007). *El cambio climático y los recursos hídricos en el territorio andaluz*. Agencia Andaluza del Agua. Junta de Andalucía. Sevilla (En prensa)
- González-Hidalgo, J. C., M. De Luis, P. Stapanek & S. Lanjeri (2006). Propuesta metodológica para realizar el control de calidad de precipitaciones mensuales en la vertiente mediterránea de la península Ibérica. En: *Clima, Sociedad y medio Ambiente*. Cuadrat, J. M., M. A. Saz, S.M. Vicente, S. Lanjeri, M. De Luis & J.C. González-Hidalgo (Eds.): 391-409. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. Serie A. 5. Zaragoza.
- Hurrell, J. W. (1995). Decadal trends in the NAO: regional temperatures and precipitations. *Science* 269: 676-679.
- Hurrell, J. W. (2006). North Atlantic Oscillation Index data. <http://www.cgd.ucar.edu/~jhurrel/>
- Jones, P. D. & M. Hulme (1996). Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations. *International Journal of Climatology* 16: 361-377.
- CMA (2007). Junta de Andalucía. Estrategia de la Comunidad Autónoma Andaluza ante el Cambio Climático. <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/web/>
- Kysely, J. & P. Domonkos (2006). Recent increase in persistence of atmospheric circulation over Europe. Comparison with long-term variations since 1881. *International Journal of Climatology* 26: 461-483.
- Lionello, P., P. Malanotte-Rizzoli & R. Boscolo (2006). *Mediterranean climate variability*. Elsevier. Amsterdam. The Netherlands.
- Martín-Vide, J. & D. Fernández Belmonte (2001). El índice NAO y la precipitación mensual en la España peninsular. *Investigaciones Geográficas* 26: 41-58.
- Millán, M., M. J. Estrella & J. J. Miró (2006). Análisis de tendencia de la precipitación bajo situación de frente en retroceso en la Comunidad Valenciana (1959-2004). En: *Clima, Sociedad y medio Ambiente*. Cuadrat, J. M., M. A. Saz, S.M. Vicente, S. Lanjeri, M.

- De Luis & J.C. González-Hidalgo (Eds.): 199-209. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. Serie A. 5. Zaragoza.
- Miró, J. J., M. J. Estrella & M. Millán (2006). Análisis de tendencia de la precipitación por frentes atlánticos en la Comunidad Valenciana (1959-2004). En: *Clima, Sociedad y medio Ambiente*. Cuadrat, J. M., M. A. Saz, S.M. Vicente, S. Lanjeri, M. De Luis & J.C. González-Hidalgo (Eds.): 211-220. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. Serie A. 5. Zaragoza.
- Paredes, D., R.M. Trigo, R. García-Herrera & I. Franco Trigo (2006). Understanding Precipitation Changes in Iberia in Early Spring. Weather Typing and Storm-Tracking Approaches. *Journal of Hydrometeorology* 7: 101-113.
- Pita, M. F., J. M. Camarillo & M. Aguilar (1999). La evolución de la variabilidad pluviométrica en Andalucía y sus relaciones con el índice de la NAO. Raso Nadal, J. M. & J. Martín-Vide (Eds): 399-408. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. Serie A. 1. Barcelona.
- Raso, J. M. (1996). Variación de las precipitaciones en el sur de la España peninsular durante el siglo XX. En: Marzol, M., Dorta, P. & P. Valladares (Eds): 123-132. Tabapress. La Laguna.
- Rodrigo, F. S. (2002). Changes in climate variability and seasonal rainfall extremes: a case study from San Fernando (Spain), 1821-2000. *Theoretical and Applied Climatology* 72: 192-207.
- Rodrigo, F. S. & R. M. Trigo (2002). Trends in daily rainfall in the Iberian Peninsula from 1951 to 2002. *International Journal of Climatology* 27: 513-529.
- Rodríguez-Puebla, C., A. H. Encinas, S. Nieto & J. Garmendia. (1998). Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula *International Journal of Climatology* 18: 299-316.
- Rodríguez-Puebla, C., A. H. Encinas, M. D. Frías & S. Nieto (2002). Impacto de índices climáticos en las variaciones de precipitación acumuladas en los meses de febrero, marzo y abril. En: *El agua y el clima*. Guijarro, J. A., Grimalt, M., Laita, M. & S. Alonso (Eds.): 315-323. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. Palma de Mallorca.
- Rodríguez-Puebla, C., A. H. Encinas, S. Nieto & M. D. Frías, (2006). Comparación de la tendencia de índices de precipitación en la Península Ibérica. En: *Clima, Sociedad y medio Ambiente*. Cuadrat, J. M., M. A. Saz, S.M. Vicente, S. Lanjeri, M. De Luis & J.C. González-Hidalgo (Eds.): 465-474. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. Serie A. 5. Zaragoza.
- Rodríguez-Puebla, C. & M. Brunet (2007): Variabilidad y cambio climático. En: *La climatología española. Pasado, presente y futuro*. Cuadrat Prats, J. M. & J. Martín-Vide (Eds): 283-330. Prensas Universitarias de Zaragoza. Zaragoza.
- Romero, R., J. A. Guijarro, C. Ramis & S. Alonso (1998). A 30-year (1964-1993) daily rainfall data base for the Spanish Mediterranean regions: first exploratory study. *International Journal of Climatology* 18: 541-560.
- Saladié, O., M. Brunet, E. Aguilar, J. Sigró. & D. López (2002). Evolución de la precipitación en el sector suroriental de la depresión del Ebro durante la segunda mitad del siglo XX. En: *El agua y el clima*. Guijarro, J. A., Grimalt, M., Laita, M. & S. Alonso (Eds.): 335-346. Publicaciones de la Asociación

- Española de Climatología. Palma de Mallorca.
- Saladié, O., M. Brunet, E. Aguilar, J. Sigró & D. López (2004). Variaciones y tendencia secular de la precipitación en el Sistema Mediterráneo Catalán (1901-2000). En: *El clima, entre el mar y la montaña*. García, J. C., Diego, C., Fernández, P., Garmendia, C. & D. Rasilla (Eds.): 399-408. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, Serie A, 4, Santander.
- Saladié, O., M. Brunet, E. Aguilar, J. Sigró & D. López (2006). Análisis de la tendencia de la precipitación en primavera en la cuenca del Pirineo Oriental durante el periodo 1896-2003. En: *Clima, Sociedad y medio Ambiente*. Cuadrat, J. M., M. A. Saz, S.M. Vicente, S. Lanjeri, M. De Luis & J.C. González-Hidalgo (Eds.): 475-485. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. Serie A. 5. Zaragoza.
- Serrano, A., V. L. Mateos & J. A. García (1999). Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian Peninsula for the period 1921-1995. *Physics and Chemistry of the Earth* 24: 85-90.
- Schönwiese, C. D & J. Rapp (1997). *Climate trend atlas of Europe based on observations 1891-1990*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. The Netherlands. 224 pp.
- SNIRH (2006). Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. <http://snirh.inag.pt/>
- Sneyers, R. (1975). *Sur l'analyse statistique des séries d'observation*. WMO. Technical Note 143.189 pp.
- Štípanek, P. (2005). AnClim - software for time series analysis (for Windows). Dept. of Geography. Fac. of Natural Sciences. MU, Brno. 1.47 MB.
- Trigo, R. M. & C. C. Dacamara (2000). Circulation weather types and their influence on the precipitation regime in Portugal. *International Journal of Climatology* 20: 1559-1581.
- WMO (1967). A Note on Climatological Normals. Technical Note n° 84. World Meteorological Organization. Geneva. Switzerland.