



Congreso Nacional del Medio Ambiente
Cumbre del Desarrollo Sostenible

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Análisis del estado del clima en Andalucía mediante índices climáticos atmosféricos

Autor: Paulina Ordóñez Pérez

Institución: Egmasa
E-mail: pordonez@egmasa.es

Otros autores: Carlos J. Ceacero Ruiz (Egmasa), Ana I. Mesas Robles (Egmasa), J. Miguel Méndez Jiménez (Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía), Rafael Barba Salcedo (Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía)



RESUMEN:

La variabilidad climática es un elemento clave en la detección y estimación de la magnitud del cambio climático. Es necesario disponer de información sobre el carácter anómalo/normal del clima actual en la región de interés en los estudios de impactos en sistemas naturales y sociales. Desde la Consejería de Medio Ambiente se han elaborado una serie de índices relacionados con la variabilidad climática con la intención de proporcionar una herramienta conveniente para resumir el estado del clima, la cuál sea útil de cara a la toma de decisiones en regiones sensibles. De los índices recomendados por el Grupo de Expertos para la Detección del Cambio Climático y el Seguimiento de Índices (ETCCDMI, según sus siglas en inglés), se han elegido aquellos que muestran cambios en la intensidad, frecuencia y duración de los eventos climáticos basados en las variables de temperatura y precipitación. Del análisis de los resultados, se han obtenido una serie de conclusiones generales que muestran el comportamiento de nuestras variables de estudio en el periodo de tiempo considerado (1971 – 2005) para toda Andalucía. Entre ellas, se puede resaltar que la temperatura ha aumentado, y este aumento ha resultado ser algo más acusado para el caso de las temperaturas mínimas que para las máximas. El incremento de temperatura es diferente según la zona, pero la moda o el valor más frecuente encontrado se sitúa en los 0,40 °C más por década. El aumento de la temperatura ha sido mucho más perceptible durante la primavera que en otras estaciones. La tendencia anual de la precipitación total no muestra cambios, sin embargo, los resultados muestran una gran disminución del total de lluvia caída durante el invierno y la primavera, por lo que parece que estamos viviendo un cambio en el régimen de distribución de lluvias. La duración de los periodos de sequía se ha incrementado notablemente en el transcurso de los 30 años estudiados.



1. INTRODUCCIÓN

Durante muchas décadas, la mayoría de los análisis de cambio climático que se han realizado usando datos observacionales de precipitación y temperatura han estado enfocados en los cambios de los valores medios. Sin embargo, un pequeño cambio en el valor medio puede resultar en un gran cambio en la frecuencia de extremos.

Actualmente existe un incremento en la actividad de la investigación en el área de los eventos climáticos extremos por su enorme impacto en actividades humanas sociales y económicas. Resultados de trabajos recientes (p.e., Ribera et al. 2004, Alexander et al. 2006) han señalado cambios lo suficientemente significativos en los eventos extremos como para tomar en consideración tal circunstancia.

Para considerar un rango de eventos climáticos extremos o intensos en una región se necesita analizar datos diarios así como disponer de una serie moderadamente larga de datos históricos (Jones et al., 1999). El desarrollo de bases de datos fiables y suficientemente largas es un desafío objeto de estudio de varios proyectos de investigación actualmente en marcha, tanto a nivel español como europeo (por ejemplo, el European Climate Assessment & Dataset Project, ECA&D).

Para tendencias diarias de temperatura (independientemente del periodo de tiempo analizado) se han realizado estudios para diferentes regiones de la Península Ibérica, como los realizados por Abaurrea et al. (2001) sobre la cuenca media del río Ebro, o Galán et al (2001) sobre la meseta sur española. Brunet et al. (2006) analiza las tendencias de datos diarios de temperaturas máximas y mínimas para 22 estaciones meteorológicas distribuidas por España, obteniendo un calentamiento diferencial diario en esta región mayor que el obtenido a escalas globales y hemisféricas.

En cuanto a la precipitación, la mayoría de los trabajos publicados en España también se limitan a ciertas áreas o regiones, como los análisis de las tendencias de la lluvia diaria en Valencia (González-Hidalgo et al., 2003), en el observatorio de Fabra de Barcelona (Lana et al., 2005) o en el valle del Ebro (Vicente-Serrano y Berguería-Portugués, 2003).

Recientemente, Rodrigo y Trigo (2007) analizan la tendencia de varios índices de precipitación diaria en 22 estaciones españolas y portuguesas durante el periodo 1951-2002. El indicado estudio comprende las tendencias de estos índices para tres estaciones meteorológicas ubicadas en Andalucía. Varios factores parecen ejercer una importante influencia en el régimen de lluvia, en particular, las variaciones locales parecen ser muy significativas. Así, por ejemplo, Granada (localizada a 705 m s.n.m.) y las otras dos estaciones situadas en Andalucía (Sevilla y Málaga, muy cerca del nivel del mar) presentan diferentes comportamientos, principalmente en verano y otoño, cuando los fenómenos locales y convectivos juegan un papel más importante en los mecanismos causantes de la lluvia. Es decir que este problema subraya la importancia de extender la base de datos a estudiar, no sólo temporalmente sino también la cobertura espacial con el fin de poder detectar las zonas más sensibles al cambio climático.

2. METODOLOGÍA Y DATOS

En este apartado se describe, en primer lugar, la base de datos meteorológicos empleada en el presente trabajo, a continuación la metodología de trabajo utilizada en el tratamiento

y procesado de datos y por último, se exponen los índices seleccionados y el método usado para el cálculo de la significatividad de las tendencias obtenidas.

2.1. Base de datos

La Red de Información Ambiental de la Consejería de Medio Ambiente (en adelante CMA) de la Junta de Andalucía consta de una estructura temática muy diversa. Dentro de la citada Red se encuentra el Subsistema de Información de Climatología Ambiental (CLIMA), el cuál está formado por varias redes de observación meteorológica pertenecientes a distintos organismos: la Agencia Estatal de Meteorología (AEMet) y las Consejerías de Medio Ambiente y de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. Aparte de las ya mencionadas, existen otras estaciones pertenecientes a centros de investigación y empresas privadas.

Dentro de las redes de estaciones meteorológicas integradas en el subsistema CLIMA, existen algunas cuyo inicio es relativamente próximo por lo que se han seleccionado aquellas que poseen registros históricos lo más largos posibles (más de 30 años de datos), manteniendo siempre como requisito imprescindible que comiencen antes del año 1971 y que lleguen hasta el 2005, puesto que este periodo es el intervalo de tiempo mínimo que hemos considerado en nuestro estudio. Por esta razón se ha optado por la Red de Estaciones Completas (semiautomáticas) y la Red de Estaciones Secundarias (manuales) pertenecientes a la AEMet considerándose como las más idóneas para nuestro propósito.

Por último, se han recopilado los datos diarios de temperatura máxima y mínima y de precipitación de las estaciones meteorológicas, pertenecientes a las dos mencionadas Redes, que contienen menos de un 10% de datos perdidos.

2.2. Trabajo con datos

Seguidamente se describen las funciones que se han utilizado para completar el pequeño porcentaje de datos perdidos en las series de temperatura y precipitación:

- Generalmente la temperatura se aproxima por una distribución normal estándar¹ si las series están normalizadas, especialmente si se promedia sobre una cantidad de tiempo suficientemente prolongado (Storch et al., 1999). Sin embargo, las variables de temperatura diaria cerca de la superficie pueden tomar otros valores (Nese, 1994). En el presente trabajo se ha calculado el valor medio y la varianza en base a los valores mensuales de las series de cada observatorio.

¹ La forma de una **distribución normal** está completamente determinada por la media (μ) y la varianza (σ^2) y viene dada por la ecuación 1. Se denomina distribución normal estándar a la distribución normal de media cero y varianza uno.

$$f_N(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad \text{para todo } x \in \mathfrak{R} \quad \text{ecuación (1)}$$

- Para la sustitución de datos perdidos en las series pluviométricas usamos una distribución binomial² para decidir si un día concreto lloverá o no y una distribución gamma³ para completar los valores de precipitación en aquellos días en los que la binomial ha generado presencia de lluvia.

Una vez que se han sustituido los datos perdidos, y antes de pasar al cómputo de tendencias e índices, se desestacionalizan las series meteorológicas para hacer el estudio de extremos de carácter anual. Para ello existen numerosos métodos, en el presente trabajo se ha empleado una serie anual de datos promediados por meses (promedio de todos los meses de enero, de febrero, etc.) incluidos en el total del periodo de referencia (1971 - 2000) y se ha restado a la serie original. Esto implica que una vez realizados estos cálculos, nuestras temperaturas mínimas se corresponden con valores tomados durante la noche y nuestras máximas con datos registrados durante el día, independientemente de la época del año en la que fueron tomadas.

2.3. Índices climáticos

De los 27 índices recomendados por el Grupo de Expertos para la Detección del Cambio Climático y el Seguimiento de Índices (ETCCDMI, según sus siglas en inglés), se han elegido aquellos que muestran cambios en la intensidad, frecuencia y duración de los eventos climáticos basados en las variables de temperatura y precipitación⁴.

- Índices basados en percentiles que representan la ocurrencia de noches frías (TN10p) y cálidas (TN90p), de días fríos (TX10p) y cálidos (TX90p), y de días con precipitación extrema (DP90p). Todos ellos se han calculado anual y estacionalmente.
- Índices que definen periodos de excesivo calor, frío, humedad o sequía. De entre ellos hemos elegido el número máximo de días secos consecutivos (CDD) y el número máximo de días húmedos consecutivos (CWD).
- Otros índices, como el de precipitación total anual (PRCPTOT) y el número de días con precipitación (DP).

² La **distribución binomial** es una función discreta de probabilidad la cual se refiere a los resultados de las situaciones donde, en un cierto número de ocasiones, uno o el otro de dos acontecimientos mutuamente excluyentes ocurrirá.

³ La distribución binomial puede ser aplicada a la "ocurrencia" o "no ocurrencia" diaria de precipitación (Wilks, 1995). Sin embargo, es ampliamente reconocido que la distribución de la precipitación total diaria en los casos de "ocurrencia" puede ser aproximada por una **distribución gamma** (García – Herrera et al., 2003), la cual se representa por la ecuación 2.

$$\Gamma(x; \alpha, \beta) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \quad \text{ecuación (2)}$$

donde $x > 0$ y $\Gamma(x; \alpha, \beta) = 0$ cuando $x \leq 0$. El parámetro x es el valor de precipitación, α define la forma de la distribución, mientras que el parámetro β caracteriza la escala de intensidad de la precipitación diaria. $\Gamma(\alpha)$ es la función Gamma completa.

⁴ Esta lista de índices puede consultarse en http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/list_27_indices.html. Se ha de decir que algunos de estos índices han sido modificados para ajustarlos a las características climáticas de nuestra región y a los requerimientos de nuestro estudio.

A modo de resumen se presentan los índices que se han seleccionado en la tabla 1.

ID	Nombre del Indicador	Definición	Unidad
TX10p	Días fríos	Número de días cuando TX<10 percentil	Días/década
TX90p	Días calientes	Número de días cuando TX>90 percentil	Días/década
TN10p	Noches frías	Número de días cuando TN<10 percentil	Días/década
TN90p	Noches calientes	Número de días cuando TN>90 percentil	Días/década
PRCPTOT	Precipitación total anual en los días húmedos	Precipitación total en los días húmedos (RR>=1mm)	mm/década
DP	Número de días con precipitación	Número de días en un año en que PRCP>=0mm	Días/década
DP90p	Número de días con precipitación extrema	Número de días en que RR>90 percentil	Días/década
CDD	Días secos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con RR<1mm	Días/década
CWD	Días húmedos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con RR>1mm	Días/década

Tabla 1. Lista de índices climáticos usados en este estudio. (Fuente: ETCCDMI).

2.4. Análisis de tendencias

Se ha estudiado la tendencia que siguen las variables de temperatura y precipitación durante el periodo de tiempo desde el año 1971 hasta el 2005. Para calcular la significatividad de estas tendencias, se ha ajustado a un modelo lineal ($y=ax+b$) la evolución que siguen estas variables frente al tiempo minimizando el error estadístico de la distribución Chi-cuadrado.

Mediante el test Chi-cuadrado se analiza el grado de asociación entre las dos variables. Se ha realizado el test obteniéndose el nivel de significación para una probabilidad del 90% y se han representado aquellas series que han superado este nivel de confianza (Wilks, 1995).

3. RESULTADOS

A continuación se muestran los principales resultados obtenidos a partir del cálculo de los índices climáticos y de las tendencias de nuestras variables de estudio para el periodo 1971- 2005.

3.1. Análisis de las variaciones de la temperatura máxima

La tendencia anual de la temperatura máxima diaria (TX) es creciente en la mayoría de los observatorios (figura 1). Como muestran las figuras 2 y 3, dicho incremento se puede deber más a un descenso en el número de días fríos (TX10p) que al aumento de días cálidos (TX90p).

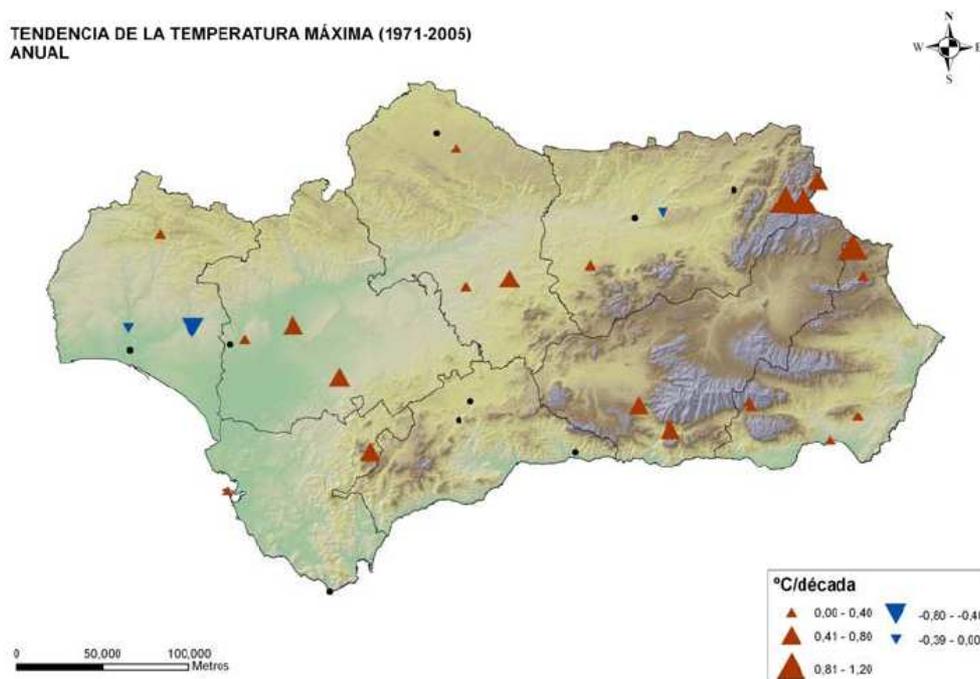
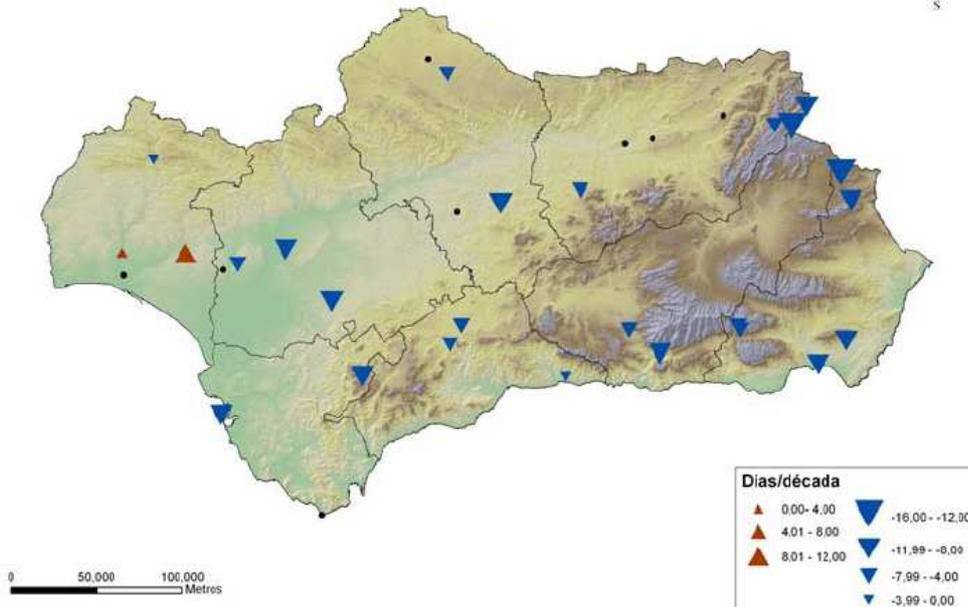


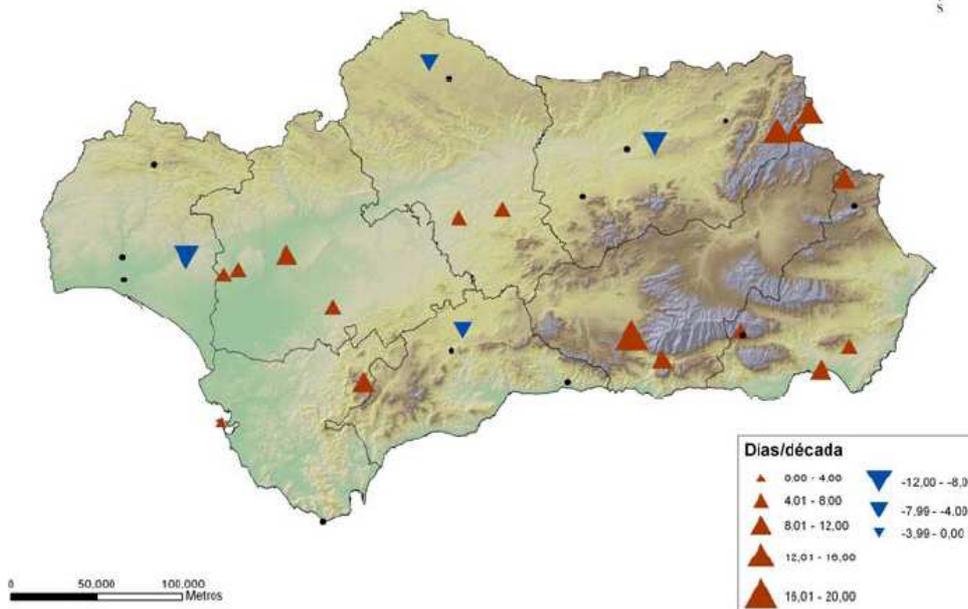
Figura 1. Tendencia en TX anual para el periodo 1971 – 2005. Las flechas indican tendencias significativas con un nivel de confianza del 90%; los puntos indican observatorios que no muestran cambios significativos.

En invierno la tendencia general es positiva, siendo ésta más patente que la tendencia anual debido a que aumentan los observatorios con tendencias significativas. Al igual que ocurre con la temperatura máxima anual, parece que esta tendencia puede ser debida en gran parte a un decremento en el número de días fríos por estar esta variación algo más extendida en el territorio. La mayoría de los incrementos de la tendencia de la temperatura máxima en invierno se sitúan en el intervalo de los 0,41°C – 1,20°C por década. Los observatorios que manifiestan las mayores tendencias se localizan en la zona noreste del territorio, tomando valores que superan los 0,81°C por década.

**DÍAS FRÍOS (1971-2005)
ANUAL**



**DÍAS CÁLIDOS (1971-2005)
ANUAL**



Figuras 2 y 3. Tendencia en los índices TX10p y TX90p respectivamente durante el periodo 1971 – 2005. Las flechas indican tendencias significativas con un nivel de confianza del 90%; los puntos indican observatorios que no muestran cambios significativos.

En primavera la gran mayoría de los observatorios adoptan tendencias positivas con incrementos que superan en la casi totalidad de los casos los $0,41^{\circ}\text{C}$ por década. Sigue destacando la zona noreste de Andalucía debido a que toma valores algo mayores, superando los $1,21^{\circ}\text{C}$ por década.

De las 33 estaciones meteorológicas estudiadas sólo 15 dan tendencias significativas para la temperatura máxima durante la época estival. Se encuentran tendencias positivas en casi la mitad de los casos y casi todos se sitúan en la parte más oriental del territorio tomando valores muy dispares que van desde los $0,01^{\circ}\text{C}$ a los más de $0,81^{\circ}\text{C}$ por década. El verano se caracteriza por tanto, por una falta de tendencias claras para TX en Andalucía.

Otoño es la única época en la que hemos encontrado una tendencia general decreciente para la temperatura máxima diaria. La tendencia decreciente general no es, sin embargo, muy notoria debido al alto número de observatorios con tendencias no significativas. En este caso, la tendencia no parece ser debida a una variación en el número de días fríos puesto que en general no se observan cambios significativos, mientras que el número de días cálidos manifiesta un significativo descenso en más del 45% de los observatorios.

3.2. Análisis de las variaciones en la temperatura mínima

La temperatura mínima diaria (TN) anual muestra una tendencia creciente, es decir, aumentan las temperaturas mínimas en todo el territorio (figura 4).

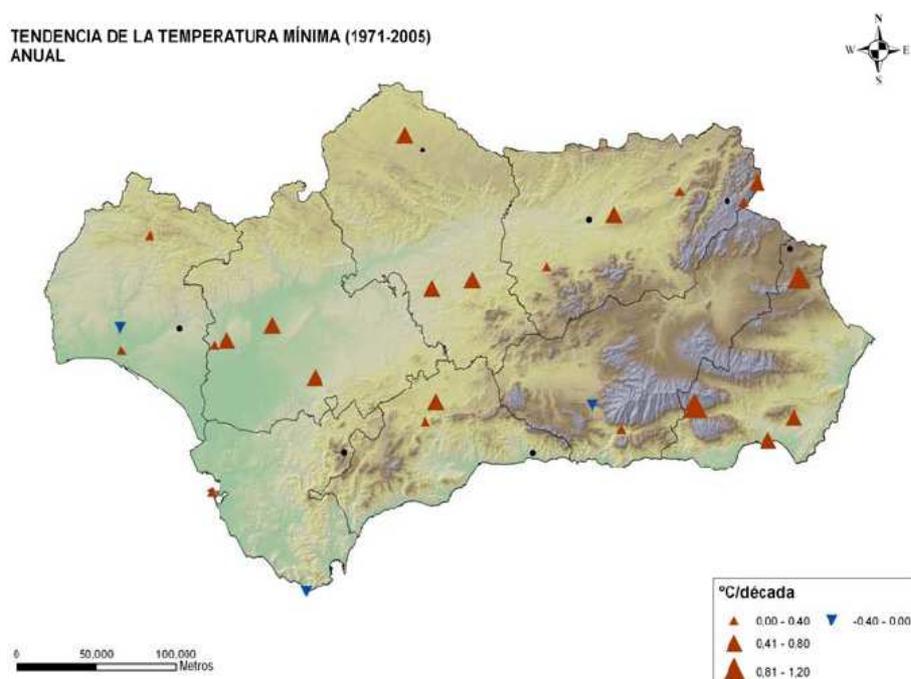
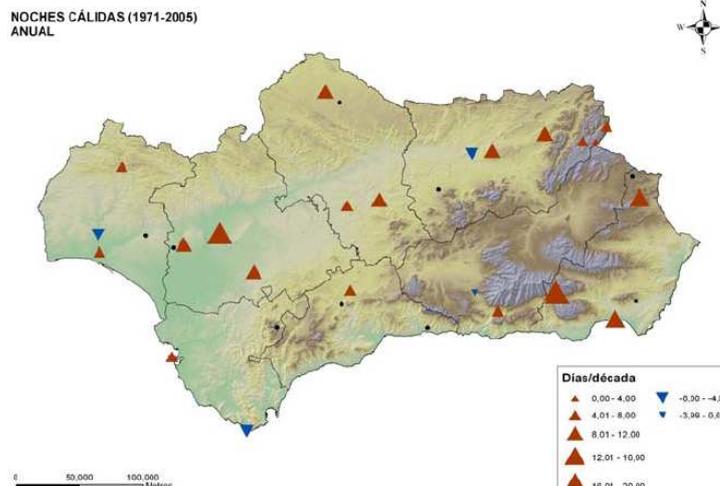
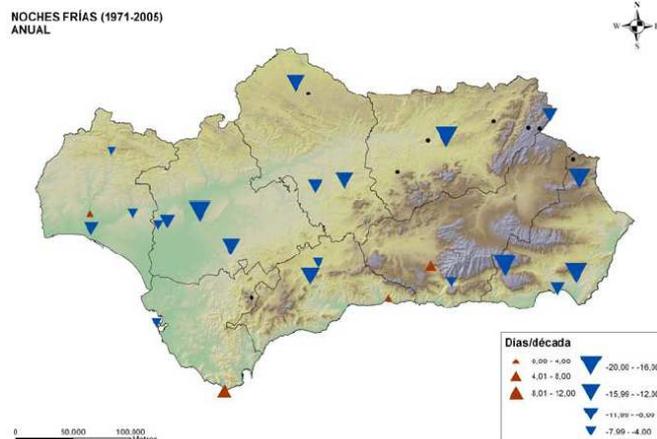


Figura 4. Tendencia en TN anual para el periodo 1971 – 2005. Las flechas indican tendencias significativas con un nivel de confianza del 90%; los puntos indican observatorios que no muestran cambios significativos.

Esta tendencia creciente se debe tanto a disminución de la frecuencia de noches extremadamente frías (TN10p) como a un aumento en el número de noches cálidas (TN90p) (Figuras 5 y 6).



Figuras 5 y 6. Tendencia en los índices TN10p y TN90p respectivamente durante el periodo 1971 – 2005. Las flechas indican tendencias significativas con un nivel de confianza del 90%; los puntos indican observatorios que no muestran cambios significativos.



En invierno, la tendencia general sigue siendo positiva pero resulta ser la menos intensa al compararla con las demás estaciones del año puesto que más de la mitad de los puntos muestran incrementos que no llegan a alcanzar los 0,41°C/década. Se observa un gran número de observatorios con tendencias no significativas en las temperaturas mínimas.

La primavera presenta una tendencia al aumento y muy extendida por todo el territorio para la temperatura mínima. Esta tendencia resulta además bastante pronunciada puesto que los valores que alcanza superan en gran parte de los casos un incremento de 0,70°C/década.

Durante el otoño la tendencia de la temperatura mínima también es positiva y toma valores comprendidos entre los 0,41°C y los 0,80°C/década en la mayoría de los puntos, pero se encuentra algo menos extendida en el territorio debido a que casi la mitad de los observatorios no manifiestan tendencias significativas.

La tendencia de la temperatura mínima durante la época estival es creciente, aunque algo menos intensa que la tendencia que mostraba la primavera ya que los valores que adoptan muchos de los puntos oscilan alrededor de los 0,50°C/década.

Se observa un notable decremento en el número de noches frías (TN10p) durante el verano. Más del 60% de los observatorios señalan esta tendencia, que oscila en torno a las 4,0 noches frías menos por década para la mayor parte de los casos. En la variación de noches cálidas (TN90p) se percibe un leve aumento, representado por algo menos de la mitad de los observatorios, que revela incrementos de alrededor de las 3,0 noches por década.

3.3. Análisis de las variaciones en la precipitación diaria

A continuación se describen los resultados obtenidos para los índices PRCPTOT, DP y DP90p a nivel anual y estacional y para los índices CDD y CDW, los cuales se han calculado a escala anual.

3.3.1. Precipitación total

No se observan cambios significativos en los totales pluviométricos anuales para casi el 90% de los puntos analizados en Andalucía. Sólo la mitad sur de Jaén y algunos observatorios de la zona suroriental del territorio andaluz muestran reducciones significativas, en torno a 1,5% de lluvia menos por década (figura 7).

Durante el invierno la precipitación total sufre un notable decremento en aproximadamente el 25% de los observatorios estudiados. Estas reducciones se distribuyen por todo el territorio, tomando valores que van desde el 1,0% al 1,9% menos de lluvia por década para la mayoría de los puntos. El resto de los observatorios no muestran tendencias significativas.

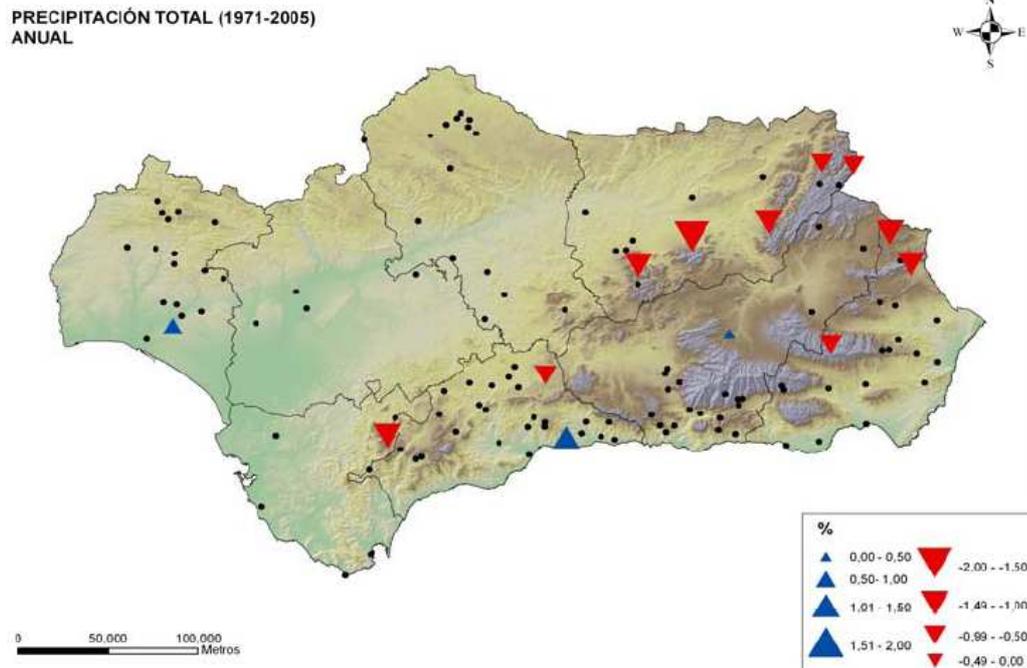


Figura 7. Índice PRCPTOT expresado en porcentaje por década para el periodo de estudio, 1971 – 2005. Las flechas indican tendencias significativas con un nivel de confianza del 90%; los puntos indican observatorios que no muestran cambios significativos.

En primavera existe una tendencia decreciente de los totales pluviométricos bastante extendida, puesto que casi el 40% de los observatorios muestran este cambio. Las zonas norte y oeste del territorio no muestran cambios significativos en la precipitación total y no se encuentran casos en los que la tendencia sea positiva.

Al contrario de lo que ocurre con los totales pluviométricos de invierno y primavera, otoño manifiesta un incremento en la precipitación total en aproximadamente el 20% de los observatorios. Todos estos puntos se distribuyen por todo el territorio y la mayoría de ellos sufren un incremento de 2% a 3% de lluvia más por década.

Verano también es una época en la que no se observan cambios significativos para PRCPTOT en la mayoría del territorio. No obstante, puede apreciarse un incremento en la precipitación total en algunos observatorios, que en muchos casos supera el 4.0% hasta llegar casi al 10,0% más de lluvia por década. La mayoría de estos puntos se localizan en las zonas sur y oeste de Andalucía.

3.3.2. Número de días con precipitación

Del análisis anual del índice DP de los datos ha resultado un decremento moderado en el número de días lluviosos en Andalucía. Los puntos que indican una disminución en el número de días con precipitación son el doble de numerosos que aquellos que manifiestan resultados contrarios. Así mismo, se aprecia una acumulación de puntos en la provincia almeriense que revelan tendencias decrecientes. Los resultados obtenidos no presentan valores excesivamente altos para la mayor parte de los casos analizados, aquellos puntos que denotan una disminución no superan los 10,0 días menos por década, y aquellos que muestran un aumento comprenden valores que no llegan a alcanzar los 6,0 días más de lluvia por década.

En invierno se ha encontrado una disminución en el número de días lluviosos. Los puntos con tendencia decreciente se localizan por todo el territorio tomando valores situados en el intervalo de 2,0 a 6,0 días menos de lluvia por década.

Durante la primavera la disminución en el número de días con lluvia también se hace patente en todo el territorio andaluz, aunque resulta ser menos notable que la que se daba en invierno debido a que aumenta algo el número de observatorios sin tendencias significativas y con tendencias positivas.

Por el contrario, el otoño muestra un notorio incremento en el número de días con lluvia en toda Andalucía. Estos observatorios se distribuyen de forma uniforme por todo el territorio, tomando la mayoría de ellos valores que en pocos casos superan los 6,0 días más de lluvia por década. Los observatorios que indican reducción son pocos y muestran reducciones pequeñas, alrededor de los 2,0 días menos por década, pero resulta llamativo el hecho de que se concentren casi todos ellos en la provincia de Almería.

El verano no presenta una tendencia palpable puesto que el número de observatorios con tendencias no significativas es muy elevado (más de la mitad de los puntos). Los pocos observatorios que muestran aumentos son algo más numerosos que los que no lo muestran, y la mayor parte de ellos se concentran en las zonas sur de Granada y este de Málaga, con valores que oscilan en torno a los 2,0 días más de lluvia por década.

3.3.3. Número de días con precipitación extrema

El 80% de los puntos observados no muestran una tendencia significativa en el número de días con precipitación extrema (DP90p) a escala anual para el periodo de estudio en Andalucía (figura 8). Aún así, se puede dividir el territorio en dos partes: la mitad oriental de Andalucía alberga a la mayoría de los puntos que muestran cambios significativos, aunque éstos no revelan una tendencia predominante.

En invierno, el índice DP90p no muestra cambios para la mayoría del territorio. No obstante, se observa un grupo de observatorios que señalan tendencias decrecientes, del orden de los 0,5 a 1,0 día menos de lluvia extrema/década, que se disponen formando una línea que cruza Andalucía desde la zona nor-oriental hasta la zona sur-occidental, justo por debajo del valle del Guadalquivir.

La tendencia general en el número de días con precipitación extrema durante la primavera sigue sin manifestar cambios significativos, encontramos cerca de un 20% de observatorios que señalan una disminución de este índice, casi todos ellos situados en el

cuadrante sur-oriental de Andalucía y con valores que oscilan alrededor de los 0.5 días menos de lluvia intensa por década.

Otoño tampoco queda caracterizado por variaciones significativas, el 90% de los puntos dan tendencias no significativas. Del 10% de los casos restantes, la mayoría muestran un cambio al alza en el número de días con precipitación extrema y sólo unos pocos, situados en la provincia de Almería, manifiestan leves tendencias negativas.

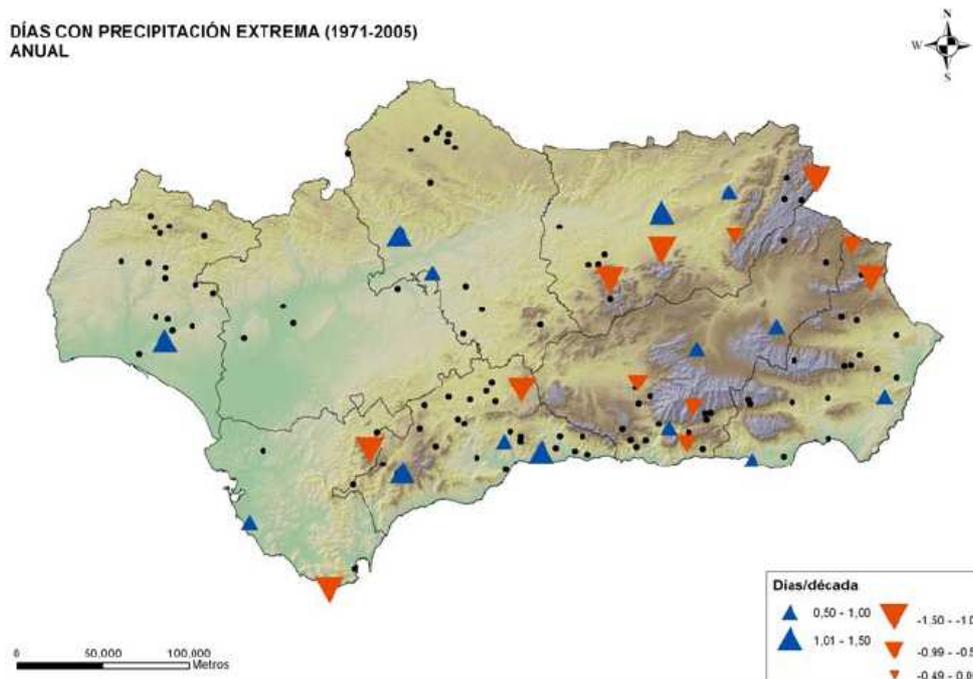


Figura 8. Índice DP90p anual para el periodo 1971 – 2005. Las flechas indican tendencias significativas con un nivel de confianza del 90%; los puntos indican observatorios que no muestran cambios significativos.

En verano se observa un aumento del número de observatorios que muestran tendencias significativas, hasta casi el 30% de los puntos. Estos puntos se localizan principalmente en la mitad oriental de Andalucía y la mayoría de ellos manifiestan incrementos en el número de días con precipitación extrema que no superan los 0.3 días más por década.

3.3.4. Duración de rachas con precipitación y sin precipitación.

No existe un cambio significativo generalizado en la longitud de los periodos con precipitación más duraderos (CDD) que se hayan observado anualmente en Andalucía. Sólo el 25% de los observatorios muestran cambios significativos y de éstos la mitad indican un incremento en la duración de rachas con precipitación y la otra mitad señalan lo contrario. La mayoría de los puntos con tendencias negativas se sitúan en la mitad

norte del territorio y los puntos que muestran resultados positivos se localizan principalmente en la mitad sur.

Los resultados obtenidos para CWD manifiestan un notable incremento en la duración de las rachas sin precipitación en toda Andalucía (figura 9). Casi el 55% de los observatorios manifiestan esta tendencia que además revela cifras bastante importantes. En todos los casos la racha sin lluvia más prolongada en el tiempo se incrementa en más de 5,0 días y en algunas ocasiones se llegan casi a los 20,0 días.

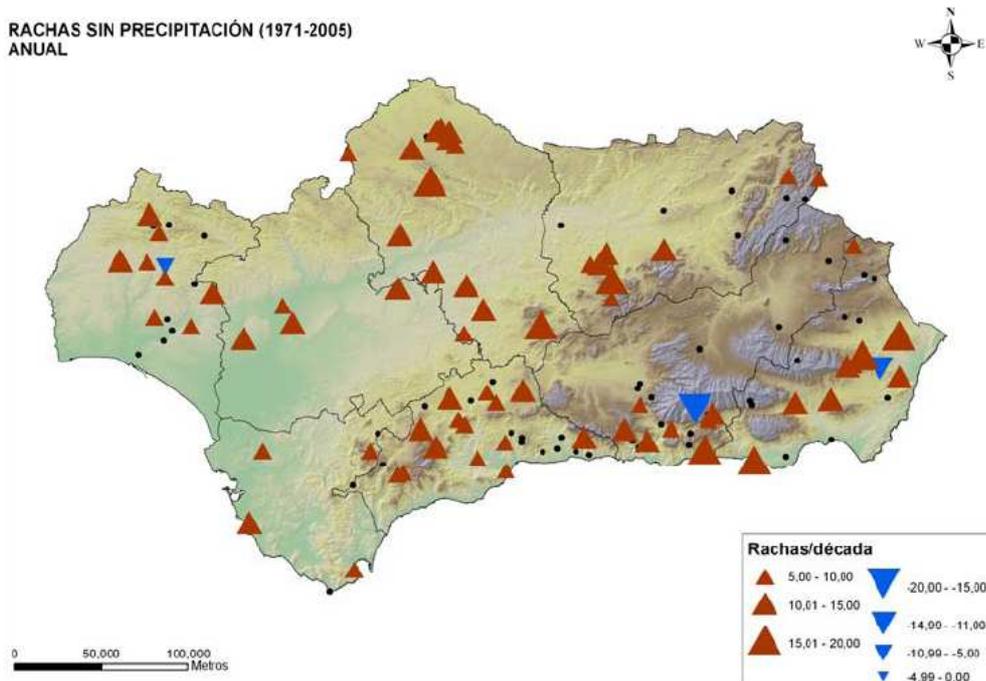


Figura 9. Índice CWD anual para el periodo 1971 – 2005. Las flechas indican tendencias significativas con un nivel de confianza del 90%; los puntos indican observatorios que no muestran cambios significativos.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados del presente trabajo se han obtenido una serie de conclusiones generales que muestran el comportamiento de nuestras variables de estudio en el periodo de tiempo considerado, 1971 – 2005, y para toda Andalucía.

La temperatura ha aumentado y, como puede verse, este aumento ha resultado ser algo más acusado para el caso de las temperaturas mínimas que para las máximas (lo cual significa que las noches han sido cada vez menos frías y los días sólo un poco más cálidos). El incremento de temperatura es diferente según la zona, especialmente en el caso de la temperatura máxima que muestra valores más dispares, pero la moda o el valor más frecuente encontrado se sitúa en los 0,40°C más por década, lo que supone que en muchos observatorios la temperatura ha aumentado 1,20°C en los últimos 30 años.



En cuanto a sus causas, este aumento parece estar más relacionado con una reducción de los eventos térmicos extremadamente fríos (noches frías) que con un incremento en los eventos térmicos de extremo calor (días cálidos).

El aumento de la temperatura ha sido mucho más perceptible durante la primavera que en otras estaciones, lo que parece corroborar los resultados obtenidos a partir de los modelos regionales de clima futuro, en los que las proyecciones también muestran mayores tendencias al calentamiento durante esta época (Brunet et al., 2007).

La tendencia anual de la precipitación total (PRCPTOT) no muestra cambios, por lo que parece ser que los totales pluviométricos apenas han variado en 30 años. Pero esto no quiere decir que no haya podido cambiar el régimen de distribución de las lluvias. El clima característico de Andalucía establece un periodo de lluvias que se prolonga durante los meses de octubre a mayo, esto es durante el otoño, el invierno y parte de la primavera (en la que se produce un aporte importante de los recursos hídricos de la Comunidad). Sin embargo, los resultados muestran una gran disminución del total de lluvia caída durante el invierno y la primavera, por lo que la ausencia de cambio de los totales pluviométricos anuales sólo puede explicarse si durante la estación otoñal la lluvia caída es capaz de compensar la disminución sufrida en las otras dos estaciones mencionadas.

Las tendencias generales mostradas tanto anuales como estacionalmente adquieren el mismo signo para los índices DP y DP90p en el mismo periodo analizado. Por ejemplo, la tendencia seguida durante la primavera siempre es decreciente para cualquiera de los dos índices. No obstante, aunque el signo sea igual en todos los casos, no ocurre lo mismo con la intensidad, entendida ésta como el número de observatorios que muestran una tendencia. A este respecto, la tendencia presentada por el número de días con precipitación (DP) resulta ser más intensa que la mostrada en el índice del número de días con precipitación extrema (DP90p), el cual muestra un importante porcentaje de puntos sin tendencias significativas. Esto implica que los cambios sufridos en los totales pluviométricos estacionales anteriormente comentados, pueden estar más relacionados con la variación del número de días en los que llueve (DP) que con la torrencialidad de la precipitación (DP90p).

Los cambios sufridos durante los últimos 30 años en el régimen de las lluvias, como se ha comentado, prácticamente no afectan al total de lluvia caída, aunque sí tienen una grave repercusión sobre la duración de los periodos de sequía (no hay que olvidar los estragos que causa una sequía duradera en el medio natural). Tal y como muestran los resultados, la duración de los periodos de sequía (CWD) se ha incrementado notablemente en el transcurso de los 30 años estudiados.

Las proyecciones del clima basadas en modelos regionalizados revelan una ligera reducción de la precipitación anual en la mitad occidental de la Península Ibérica y un ligero aumento en la mitad oriental (Brunet et al., 2007). En este caso los resultados obtenidos no parecen concordar con las proyecciones de los modelos utilizados en España, exceptuando el hecho de estos modelos prevén que se produzca un importante decremento en la cantidad de lluvia caída durante la primavera, lo cual se ha detectado en el presente estudio.

Por último, es importante mencionar el hecho de que todas estas conclusiones se refieren a comportamientos generales de la región andaluza. Así mismo, hay que decir que los



resultados son orientativos y no definitivos puesto que las series de datos se pueden someter a una mayor cantidad de filtros que los que se han aplicado hasta este momento.

Se detectan casos o zonas concretas que muestran un comportamiento peculiar no comentado en el presente estudio y que debiera ser objeto de estudios futuros. De esta forma podrán descubrirse situaciones que no tienen tanto que ver con el cambio climático en sí mismo sino con otras cuestiones relacionadas, por ejemplo, con los asentamientos humanos, con los microclimas, con condiciones topográficas particulares, etc. Ahondar en estos estudios ayudaría a esclarecer la situación climática actual y futura de Andalucía.

BIBLIOGRAFÍA

Aburrea J, Asín J, Erdozain O y Fernandez E, 2001. **Climate variability análisis of temperatura series in the medium Ebro River Basin**. Detecting and Modelling Regional Climate Change, M. Brunet and D. López (Eds). Springer: Berlin, 109-118.

Alexander LV, Zhang X, Peterson TC, Caesar J, Gleason B, Klein Tank AMG, Haylock M, Collins D, Trewin B, Rahimzadeh F, Tagipour A, Rupa Kumar K, Revadekar J, Griffiths G, Vicent L, Stephenson DB, Burn J, Aguilar E, Brunet M, Taylor M, New M, Zhai P, Rusticucci M y Vazquez – Aguirre JL, 2006. **Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation**. Journal of Geophysical Research, 111:DO5109, doi:10.1029/2005JD006290.

Brunet M, Casado MJ, De Castro M, Galán P, Lopez JA, Martín JM, Pastor A, Petisco E, Ramos P, Ribalaygua J, Rodríguez E y Torres L, 2007. **Generación de Escenarios Regionalizados de Cambio Climático para España. Primera Fase**. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

Brunet M, Saladié O, Jones P, Sigró J, Aguilar E, Moberg A, Lister D, Walther A, Lopez D y Lamarza C, 2006. **The development of a new dataset of spanish daily adjusted temperature series**. Internacional Journal of Climatology, 26: 1777-1802.

Galán E, Cañada R, Fernández F y Cervera B, 2001. **Annual temperature evolution in the Southern Plateau of Spain from the construction of regional climatic time series**. Detecting and modelling regional climate change. M. Brunet and D. López (Eds). Springer-Verlag. 119–131.

García – Herrera R, Gallego D, Hernández E, Gimeno L, Ribera P, Calvo N, 2003. **Precipitation trends in the Canary Islands**. International Journal of Climatology, 23: 235 – 241.

González-Hidalgo JC, De Luís M, Raventós J y Sánchez JR, 2003. **Daily rainfall trend in the Valencia region of Spain**. Theoretical and Applied Climatology, 75: 117-130.

Jones PD, Horton EB, Folland CK, Hulme M, Parker DE y Basnett TA, 1999. **The use of indices to identify changes in climatic extremes**. Climatic Change, 42:131-149.

Lana X, Martínez MD, Serrra C y Bargeño A, 2005. **Spatial and temporal variability of the daily rainfall regime in Catalonia (northeastern Spain) 1950-2000**. International Journal of Climatology, 24:613-641



Nese JM, 1994. **Systematic Biases in Manual Observations of Daily Maximum and Minimum Temperature**. Journal of Climate, 7: 834-842.

Ribera P, Gimeno L, Gallego D, García-Herrera R, Hernández E, de la Torre L, Nieto R y Calvo N, 2004. **Two approaches for determining extreme years of global atmospheric temperature**. Stud. Geophys. Geod., 48, 447-458.

Rodrigo FS y Trigo RM, 2007. **Trends in daily rainfall in the Iberian Peninsula from 1951 to 2002**. International Journal of Climatology, doi: 10.1002/joc.1409.

Storch HV y Zwiers FW, 1999. **Statistical Analysis in Climate Research**. Cambridge University Press, Cambridge. 484pp.

Vicente-Serrano SM y Berguería-Portugués S, 2003. **Estimating extreme-dry spell risk in the middle Ebro valley (northeastern Spain): a comparative analysis of partial duration series with a general Pareto distribution and annual maxima series with a Gumbel distribution**. International Journal of Climatology, 23: 1103-1118.

Wilks DS, 1995. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. Academic Press, San Diego. 464pp.