

Estudio de la variabilidad de temperaturas extremas en Andalucía mediante *Peaks-over-Threshold*

Matilde García-Valdecasas Ojeda

Máster en Geofísica y Meteorología



Departamento de Física Aplicada
Universidad de Granada

Resumen: Los eventos extremos de temperatura tienen una gran repercusión en la sociedad por su relación directa con el aumento de la mortandad, daños a los ecosistemas, así como al medio ambiente en general. Es por ello que su caracterización es indispensable con el fin de disminuir el riesgo que conlleva la existencia de dichos fenómenos dentro de la variabilidad climática natural. El objetivo de este estudio es el de analizar en profundidad las variaciones producidas en los eventos extremos de temperatura en Andalucía, aportando así información sobre la evolución de los eventos extremos de temperatura a una escala regional en la segunda mitad del siglo XX.

Palabras clave: temperaturas extremas; Andalucía; variabilidad climática regional; Teoría de Valores Extremos; *Peaks-over-threshold*; distribución Generalizada de Pareto.

1. INTRODUCCIÓN

La evidencia ya demostrada del cambio climático hace que para un correcto estudio de temperaturas extremas sea necesario tener en cuenta la intensificación del calentamiento global; Lo que con anterioridad se consideraba como un valor extremo de temperatura, ha pasado a formar parte de los valores frecuentes de la distribución, por lo que se prevé una variación en la intensidad, duración y frecuencia de dichos fenómenos (IPCC, 2007).

Dentro de los posibles análisis de eventos de temperaturas extremas, en este estudio se hace uso del método *Peaks-Over-Threshold* (POT) por ser un método particularmente efectivo en la selección de eventos extremos. Dicho método, se basa en la selección de los valores de la serie original que quedan por encima de un umbral u previamente definido. La serie de excesos así construida sigue una distribución generalizada de Pareto (GPD). De esta forma se permite, a partir de un ajuste a las distribuciones de probabilidad teóricas, la extrapolación y predicción de valores futuros. Mediante el uso de este método se intentará relacionar las variaciones producidas en las temperaturas medias con los valores extremos, considerándose que su intensidad varía con el tiempo por efecto del cambio climático, ya que dicha relación no es obvia (Nogaj *et al.* 2006).

2. DATOS

Los datos de temperaturas máximas y mínimas diarias se han obtenido de la base de datos de la Agencia Estatal de Meteorología. Para la selección de estaciones se realizó un filtrado con el objetivo de tener una base de datos adecuada para el estudio de eventos extremos.

Cualquier estudio climatológico requiere que las series temporales de la variable sean de al menos 30 años. Así pues, se rechazaron aquellas estaciones cuyos registros temporales eran inferiores al periodo de tiempo mínimo mencionado. A continuación, y con el propósito de tener un conjunto de estaciones de estaciones representativo, e intentando a su vez que sus registros fueran lo más actuales posibles, se tomó como intervalo temporal de estudio el comprendido entre los años 1975 y 2009. Las estaciones de Almadén de la Plata y Sevilla (Tablada) cuyas series temporales terminan en 2002 para las temperaturas máximas, y Montoro que finaliza en 2006 para las temperaturas mínimas son tres excepciones. La inclusión de estas series se hizo con el fin de obtener datos de una zona en la cual no se tienen series con mayor cobertura temporal. Una vez elegido el periodo de estudio, se descartaron aquellas series con un número de huecos superior al 15%.

Por otro lado, se ha examinado la coherencia de los datos aplicando un control de calidad comprobando la no existencia de temperaturas máximas por encima de 50°C, y temperaturas mínimas inferiores a -20°C, así como registros diarios de temperaturas mínimas igual o mayores a las temperaturas máximas. En tales casos, los valores fueron considerados como "huecos".

Por último, se descartaron aquellas series que presentaban inhomogeneidades mediante la aplicación del test SNHT a las series de temperaturas máximas y mínimas medias mensuales a partir del software *Anclim* (Štěpánek, 2008).

De esta forma, de las 224 estaciones repartidas por toda la Comunidad Autónoma de Andalucía se han seleccionado para este estudio un total de 35 estaciones para temperaturas máximas y 19 para temperaturas mínimas.

3. METODOLOGÍA

Para la selección de valores extremos de temperaturas máximas y mínimas se ha hecho uso del método de POT de umbrales variables en el tiempo ($u_{y,s}$). Este permite analizar la existencia de ciclos temporales y tendencias climáticas en los valores centrales de la serie a lo largo del periodo de estudio. Dichos umbrales han sido definidos para cada estación del año por separado, pudiendo así tener en cuenta las oscilaciones estacionales de la temperatura. A tal efecto, se tomó invierno (DEF), primavera (MAM), verano (JJA) y otoño (SON). A partir de la aplicación del método se obtienen las series de excesos como la diferencia entre los registros diarios de temperaturas máximas y mínimas y los valores de umbral.

Las series de excesos obtenidas a partir de la aplicación del método POT tienden a agruparse en clústers. Es por ello que para cumplir con el requisito de independencia entre eventos de la EVT, es necesario realizar un *declustering* de los datos. En este

estudio se realizó un *run declustering* con $r = 1$ (Furrer *et al.*, 2010). Una vez identificados los diferentes clústers se seleccionó el valor de mayor magnitud de cada uno de ellos creándose así una nueva serie de excesos independientes.

Los valores de excesos se aproximaron a una GPD, realizándose una validación del método mediante tres tests de bondad de ajuste: Test de *Kolmogorov-Smirnov* (KS), Test de *Anderson-Darling* (AD) y Test Chi-cuadrado a un 90 y 95% de nivel de confianza. Así pues, una aceptación de la hipótesis nula según los distintos tests permite asegurar que los umbrales variables en el tiempo son lo suficientemente extremos para que la aproximación de la muestra de excesos a una GPD sea aceptable.

La interpretación de los periodos de retorno de los eventos extremos permitió comparar las distribuciones de excesos de las diferentes localidades. A modo de ejemplo se calcularon para excesos de 2°C y 4°C por encima del umbral de temperaturas máximas en verano, y de 2 y 4°C por debajo del umbral para temperaturas mínimas en invierno, tomándose como umbral el percentil 95 y el percentil 5 respectivamente. Por otro lado, y debido al corto periodo de tiempo de este estudio, se realizó una división de la serie de excesos para el cálculo de periodos de retorno en dos intervalos de tiempo: de 1975 a 1992 y de 1993 a 2009. Para cada uno de estos intervalos de tiempo se calcularon los periodos de retorno de temperaturas máximas y mínimas para excesos de 2 y 4°C por encima y por debajo del umbral respectivamente, pudiendo determinarse con ello el cambio de dichos periodos de retorno en el tiempo.

Finalmente, y con el objetivo de analizar el comportamiento que presentan los extremos de temperaturas durante el periodo de tiempo de este estudio se usó el test de *Mann-Kendall*, el cual permite detectar tendencias en las series temporales, aplicándose en (1) el término $L_{y,s}$, permitiendo examinar la variación en los valores centrales de la distribución de temperaturas máximas y mínimas y en (2) la tendencia de los excesos medios anuales de temperaturas máximas y mínimas. La cuantificación de dicha tendencia se obtiene mediante el análisis de la pendiente de la recta ajustada mediante mínimos cuadrados.

4. RESULTADOS

El análisis de la tendencia de los valores centrales de la distribución ha reflejado un aumento de las temperaturas máximas en un gran número de localidades analizadas para las estaciones de invierno, primavera y verano. Estos resultados coinciden con otros estudios realizados en la Península Ibérica (Bladé y Castro-Díez, 2010). En cambio, en otoño, se produce una disminución de las temperaturas máximas medias con el tiempo, coincidiendo dicho resultado con los expuestos por Martínez *et al.* (2009) en su estudio de tendencias de temperaturas máximas en Cataluña. Para el caso de las temperaturas mínimas la tendencia de los valores centrales es positiva para las estaciones de primavera, verano y otoño, sin embargo, en invierno, aunque con poca representación de estaciones significativas, prevalece un número mayor de estaciones con tendencias negativas.

El ajuste de los excesos de temperaturas máximas y mínimas a una GPD fue significativo en todos los casos según el test KS, no ocurriendo de igual forma para los tests AD y Chi-cuadrado.

Para temperaturas máximas, los valores tomados por el parámetro de escala de la GPD indicaron una mayor variabilidad para primavera y otoño. El parámetro de forma muestra distribuciones de excesos acotadas para la gran mayoría de localidades y para todas las estaciones del año. En cambio, para temperaturas mínimas, el parámetro de escala refleja una mayor variabilidad de excesos para el otoño y mínima para la primavera. El parámetro de forma es, en invierno y primavera, en muchas de las estaciones estudiadas positivo, revelando que dichas distribuciones de excesos tienden a infinito, mientras que para verano y otoño, como ocurría en temperaturas máximas, las distribuciones de excesos están predominantemente acotadas.

Los periodos de retorno de excesos de 2°C por encima del umbral en verano se encuentran comprendidos entre 2 y 12 años, siendo más frecuente los valores entre 3 y 5 años. Para excesos de 4°C la gran mayoría de estaciones poseen periodos de retorno entre 10 y 40 años siendo la excepción más notoria la de Granada Aeropuerto con un periodo de retorno de 333 años. Los periodos de retorno de temperaturas mínimas, de excesos de 2°C por debajo del umbral para invierno se encuentran comprendidos entre 3 y 5 años en un gran número de estaciones. Respecto a los excesos de 4°C por debajo del umbral, los valores se encuentran comprendidos entre 9.35 y 56 años. En ambos casos, comparando estos resultados con los valores que toma el parámetro de escala en los ajustes a una GPD se puede ver que aquellas estaciones que poseen periodos de retorno más bajos toman como parámetro de escala un valor mayor y viceversa.

Tanto en la comparación de los periodos de retorno en los subintervalos de 1975-1992 y 1993-2009 de temperaturas máximas como mínimas se refleja un aumento en dichos periodos de retorno en el tiempo en la mayoría de las estaciones indicando con ello, una disminución en las frecuencias medias de valores de excesos de 2°C y 4°C por encima del umbral. En la interpretación de este resultado debe tenerse en cuenta que el umbral considerado aumenta por lo general en el segundo periodo, de tal forma que, ante el cambio en los parámetros de la distribución, el segundo periodo no puede considerarse intrínsecamente menos extremo que el primero.

Para temperaturas máximas, y a partir del análisis de las tendencias de los excesos medios anuales se puede concluir que dichos excesos poseen tendencias predominantemente negativas para invierno y verano, y positivas para primavera y otoño, aunque en esta última estación, son pocos los resultados significativos. Estos resultados están en consonancia a los obtenidos tras el análisis en la evolución en los periodos de retorno de temperaturas máximas en verano.

La comparación de los resultados en la tendencia de los valores centrales de la distribución y los excesos para temperaturas máximas indican que para primavera e invierno la intensificación del calentamiento global viene acompañada de un aumento en los valores extremos de temperatura. Invierno y verano, por su parte refleja una disminución en la variabilidad de las temperaturas máximas. Por otro lado, otoño presenta señales de un aumento en la variabilidad en los valores de temperaturas máximas.

Para temperaturas mínimas, el análisis de las tendencias de los excesos proporcionó escasos resultados significativos, siendo la tendencia predominante para invierno y verano negativa en todas las localidades. Estos resultados son coherentes con el estudio de Nogaj *et al.* (2006) en el cual se expone que por el efecto del calentamiento global los extremos de temperaturas mínimas están disminuyendo en magnitud. Sin embargo los resultados significativos con tendencias positivas encontrados para primavera y

otoño pueden ser una evidencia de un aumento en el carácter extremo de los excesos de temperaturas mínimas. En cualquier caso, dado el limitado número de localidades para las que se tienen tendencias significativas, estos resultados deben ser considerados con cautela. Se puede observar que los resultados expuestos tras el análisis en la evolución de los periodos de retorno están de nuevo en consonancia con el análisis de los excesos de temperaturas mínimas en invierno ya que la disminución en la frecuencia de excesos de cierta magnitud está propiciada con una tendencia negativa en los excesos de temperatura.

Este estudio, por tanto, ha analizado el potencial de la metodología POT de umbrales variables en el tiempo en el análisis de eventos extremos, ofreciendo un enfoque complementario al de los estudios realizados en base a índices climáticos basados en umbrales predefinidos. Las conclusiones obtenidas deben considerarse con cierta precaución debido al limitado periodo de tiempo analizado y al número de estaciones, particularmente, para las temperaturas mínimas. Para una mejor interpretación de los resultados sería aconsejable contar con registros temporales más largos que permitan analizar las posibles causas de estas tendencias, lo que será el objetivo de futuros trabajos.