

# ANÁLISIS DE TENDENCIAS EN OLAS DE CALOR A PARTIR DE SERIES LARGAS DE TEMPERATURA

José A. LÓPEZ DÍAZ  
*Instituto Nacional de Meteorología*

## RESUMEN

Se analizan las tendencias en series largas de olas de calor, utilizando una definición de ola de calor basada exclusivamente en la temperatura, y que tiene en cuenta la posible fusión de periodos sucesivos próximos de ola de calor. En el análisis de las tendencias se emplea un nuevo test estadístico basado en la posición de eventos extremos en una serie. Por último se caracteriza el anormalmente cálido verano de 2003.

**Palabras clave:** Ola de calor, cluster, evento extremo.

## ABSTRACT

*Trends in long heat wave series are analysed using a definition of heat wave relying exclusively on temperature and including the possibility of a merge between successive nearby periods. In the trend analysis a new statistical test is applied which focuses on the position of extreme events in a series. Finally the abnormally warm summer of 2003 is characterised.*

**Key words:** Heat wave, cluster, extreme event.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las olas de calor son responsables de un apreciable aumento de la mortalidad en muchos países. Con las actuales previsiones acerca del cambio climático inducido por la actividad del hombre es razonable suponer que pueden aumentar en frecuencia, severidad, duración o extensión de superficie afectada en el futuro. Un estudio climatológico dirigido a analizar las tendencias observadas hasta el momento en estas variables tropieza con una primera dificultad de orden metodológico, al no existir una única definición comúnmente aceptada de ola de calor (de manera análoga a lo que ocurre para las sequías). Una referencia reciente sobre este tema es ROBINSON (2001), en que se presentan los diversos enfoques posibles de este problema. En este trabajo se propondrá una definición de ola de calor basada exclusivamente en los datos de temperatura máxima y mínima. Esto tiene el inconveniente de que no permite dar cuenta cabal del impacto que el calor excesivo tiene sobre el ser humano, ya que esto requeriría incluir la humedad necesariamente (y otras variables como el viento o la radiación también en teoría), como se discute en la referencia citada antes. Pero ofrece la indudable ventaja de permitir un análisis más potente de posibles tendencias, al disponerse de series con garantías de homogeneidad más largas de temperatura que de las otras variables citadas. Y ambos requisitos, longitud y homogeneidad, son fundamentales para el análisis de tendencias.

Por otra parte no se utilizarán umbrales fijos para todos los observatorios analizados, sino umbrales relativos a base de percentiles apropiados. Esto supone, en línea con ROBINSON (2001) atenerse más al aspecto “sociológico” del calor excesivo, en que se tiene en cuenta la adaptación al

clima reinante en un determinado lugar, que al aspecto “fisiológico”, que gira en torno al proceso de termorregulación del cuerpo humano (y para el que tiene sentido considerar umbrales fijos). Una consecuencia de esta elección es que todas las estaciones del año tendrán *a priori* la mismas propiedades en cuanto a olas de calor se refiere, y no se presentará el ciclo estacional con clara preponderancia de la estación veraniega que los umbrales fijos impondrían.

En el presente estudio se han utilizado las siguientes series de datos diarios de temperatura:

- La Coruña 1944- 2003
- San Sebastián Igueldo 1929- 2003 (se desecha 1936 por lagunas)
- Tortosa 1910- 2003 (se desechan 1938 y 1939 por lagunas)
- Matacán (Salamanca) 1945- 2003
- Alcantarilla (Murcia) 1942- 2003 (se desechan 1948 por lagunas)

## 2. DEFINICIÓN DE OLA DE CALOR

Es habitual en la literatura utilizar definiciones para ola de calor en que, a partir de unos umbrales de temperatura, bien fijos, bien relativos, se considera como ola de calor una secuencia de al menos un número  $n$  de días consecutivos en que se sobrepasa este umbral. Un valor típico de  $n$  es dos días. En este trabajo, siguiendo una línea similar a la adoptada en otros trabajos sobre la sequía (ABAURREA *et al.*, 2002; CEBRIÁN 1999), se considera la posibilidad de solape de dos o más periodos cálidos sucesivos siempre que en los días intermedios se cumplan determinadas condiciones. En concreto se han adoptado las siguientes definiciones:

- Un periodo cálido puro es aquel intervalo temporal de al menos 2 días en que la temperatura máxima y la mínima están siempre por encima del percentil 80%.
- Dos periodos cálidos puros sucesivos se agrupan formando un “cluster” si la distancia entre ellos es como mucho de 24 horas y tanto la temperatura mínima como la máxima están por encima de la mediana de la serie correspondiente.
- Aplicando hasta donde sea posible este proceso de “clustering” se forman las distintas olas de calor.
- Los percentiles utilizados, tanto para temperatura mínima como máxima son los correspondientes a la serie formada grupos de unos 10 días sucesivos, para cada mes los dos primeros grupos de 10 y el resto del mes, a lo largo de todos los años de las series.

## 3. SERIES DE DÍAS DE CALOR

Se ha calculado para cada año el total de días en que se presenta la situación de “ola de calor” de acuerdo con la definición dada anteriormente. Las series obtenidas para las cinco estaciones analizadas se representan en la figura 1.

Tabla 1. Estadísticos de las series anuales de número total de días de calor

ESTACIÓN	p- valor Mann	días calor 2003	Posición 2003	Diferencia
LA CORUÑA	< 0,1%	60	5	-39
IGUELDO	3%	85,5	1	1,5
TORTOSA	< 0,1%	65,5	2	-5
MATACÁN	0,2%	78	9	-38
ALCANTARILLA	< 0,1%	43,5	1	3

Como se aprecia en la segunda columna, que contiene el nivel de significación del test de tendencia de Mann, todas las series muestran tendencia creciente al 5% de nivel de significación, y las de La Coruña, Tortosa y Alcantarilla un p-valor especialmente bajo (tendencia muy significativa). La cuarta columna muestra la posición que ocupa en la serie de días de calor el valor correspondiente a 2003. Para las estaciones de Igueldo y Alcantarilla éste es el valor más alto. La última columna da idea de lo destacado que fue este valor mediante la diferencia con el segundo valor más alto de la serie, si el valor de 2003 fue el más alto, o la diferencia con el valor más alto si no es así (y entonces aparece con signo negativo). Vemos que en Tortosa el valor fue muy próximo al máximo, que se alcanzó en 1994.

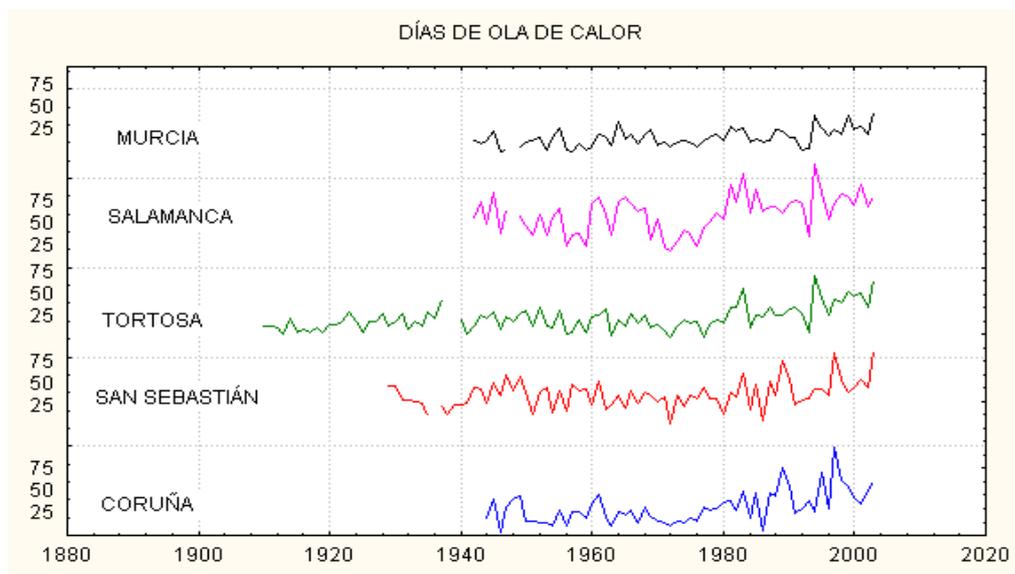


Fig. 1. Serie de días de calor por año en cada una de las estaciones

#### 4. TEST DE TENDENCIA EN LA OCURRENCIA DE VALORES EXTREMOS APLICADO A LAS SERIES DE DÍAS DE CALOR

Se ha aplicado el test no paramétrico de tendencia en la ocurrencia de valores extremos a las series de días de calor (LÓPEZ, 2003). En la aplicación de este test que se usa en este trabajo se busca para cada número  $m$  de elementos (bien más altos, bien más bajos) sus posiciones en la serie total y se aplica el test para contrastar la hipótesis nula de distribución aleatoria de posiciones frente a la alternativa bilateral de tendencia al desplazamiento hacia el principio o hacia el fin de la serie.

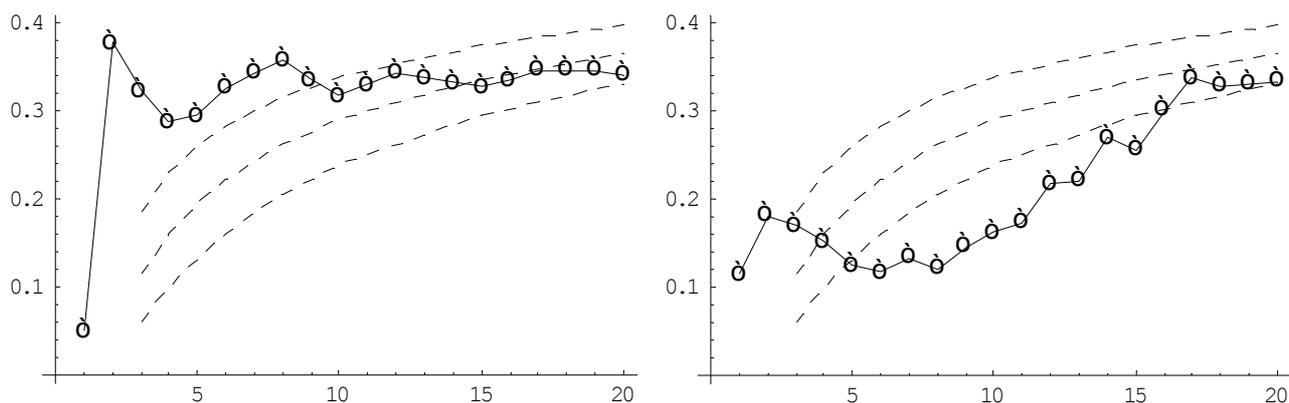


Fig. 2. Test de los valores extremos para La Coruña (izquierda valores bajos, derecha valores altos; eje de ordenadas valores de la posición media, abscisas tamaños de elementos extremos  $m$ ; curva punteada superior p-valor 5%, media p-valor 1%, inferior p-valor 0,1%; triángulo vértice hacia arriba tendencia creciente, punta hacia abajo decreciente)

En el caso de La Coruña se observa en la figura 2 que los valores más bajos muestran tendencia significativa al 5% a concentrarse hacia el principio de la serie a partir de  $m = 9$  ( $m$  es el número de elementos más bajos considerados). Para los valores más altos esta tendencia es aún más significativa (esto es, tienden a concentrarse hacia el final de la serie), y entre  $m = 5$  y  $m = 15$  el p-valor es muy bajo (inferior al 0,1%).

En Igueldo los valores más bajos de días de calor anuales no muestran tendencia significativa en su posición en la serie, mientras los valores altos son los que para algunos valores de  $m$  menores de 15 muestran casi todos una tendencia significativa a agruparse hacia el final.

En Tortosa de nuevo los valores más bajos no son significativos en cuanto a su posición en la serie, sólo a partir de  $m = 16$  rozan el nivel 5%. No así los más altos que revelan una tendencia enormemente significativa a concentrarse en los años más recientes hasta  $m = 20$  como pone de manifiesto la figura 3.

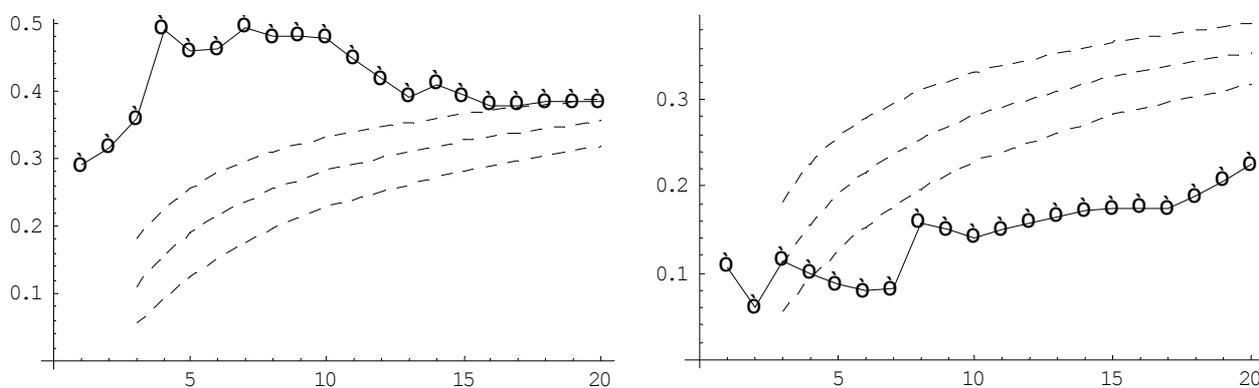


Fig. 3. Test de los valores extremos para Tortosa (misma clave que en Fig. 2)

En Matacán los resultados del test sobre la posición de valores extremos son bastante parecidos a los de Igueldo, aunque algo más significativos, de modo que son sobre todo los valores más altos de días de calor anuales los que acusan la tendencia en su distribución.

En Alcantarilla (Fig. 4) los valores más bajos dan tendencia significativa a partir de  $m = 9$ , con p-valor entre 5% y 1%, pero los valores altos muestran tendencia significativa para todos los valores de  $m$  analizados ( $m \leq 20$ ), con p-valores entre 1% y 0,1%.

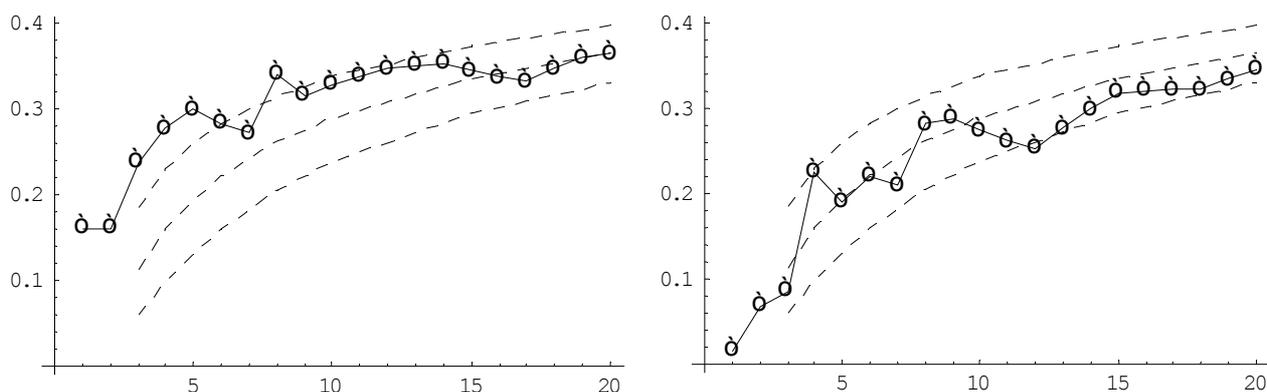


Fig. 4. Test de los valores extremos para Alcantarilla (misma clave que en Fig. 2)

## 5. OLA DE CALOR MÁS LARGA

Se ha formado la serie anual de longitudes de la ola de calor más larga del año para las cinco estaciones (Fig. 5). De nuevo son las estaciones de La Coruña, Tortosa y Alcantarilla las que muestran tendencias crecientes claras (p-valor inferior al 0,1% para el test de Mann) en la longitud de la ola de calor más larga, mientras que Igueldo y Matacán no dan tendencia significativa. Para ninguna de las estaciones analizadas es la ola de calor más larga la correspondiente a 2003, aunque en Tortosa está muy próxima al máximo de 16 días que se dio en 1994.

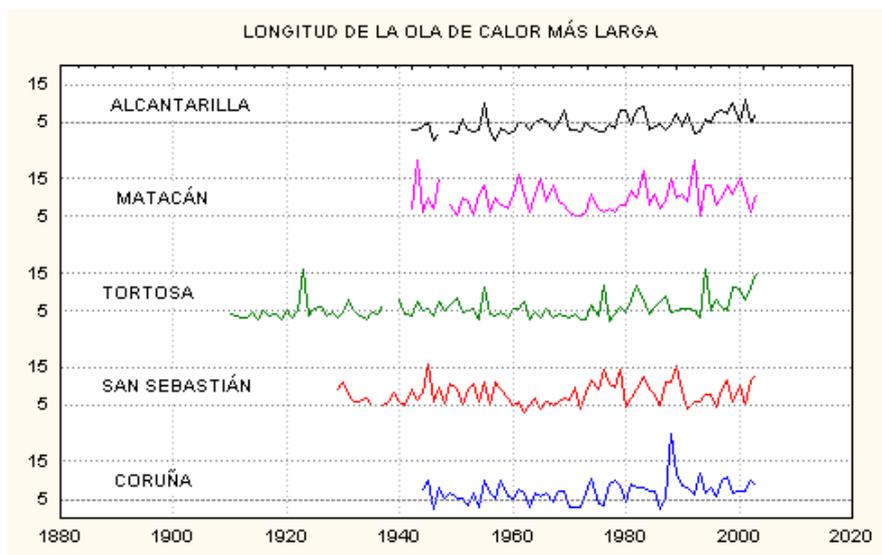


Fig. 5. Longitud de la ola de calor más larga

Tabla 2. Estadísticos de las series anuales de longitud de la ola de calor más larga

ESTACIÓN	p- valor Mann	L ola más larga	Posición 2003	Diferencia
LA CORUÑA	0,1 %	8,5	14	-14
IGUELDO	16 %	13	5	-3
TORTOSA	< 0,1%	15	3	-1
MATACÁN	13%	11	15	-9
ALCANTARILLA	< 0,1%	7	11	-4

## 6. TEST DE LA POSICIÓN DE VALORES EXTREMOS

A las series del apartado anterior de longitudes de la ola de calor más larga de cada año se les ha aplicado el test de tendencia basado en la posición de los valores extremos, como en el apartado 4. En La Coruña este test sólo da valores significativos a partir de  $m = 15$  tanto para los valores más altos como para los más bajos. En Igueldo sólo dan tendencia significativa los valores más altos, a partir de  $m = 5$  rozan el p-valor 5%.

En Tortosa son los valores más altos los que muestran tendencia en la distribución de sus posiciones en el seno de la serie, y con un p-valor muy significativo (inferior al 0,1%) a partir de  $m = 10$ . En Matacán ni los valores más altos ni los más bajos muestran tendencia en sus posiciones. En Alcantarilla tanto los valores más altos como los bajos muestran tendencia significativa en sus posiciones, los más altos alcanzado p-valores del test muy significativos para  $m$  alrededor de 15.

## 7. DÍAS DE CALOR EN VERANO

Se ha analizado también el número de días dentro de ola de calor según la definición empleada en este trabajo, pero restringiendo en cada año a los días comprendidos entre el 1 de junio y el 30 de septiembre (Fig. 6).

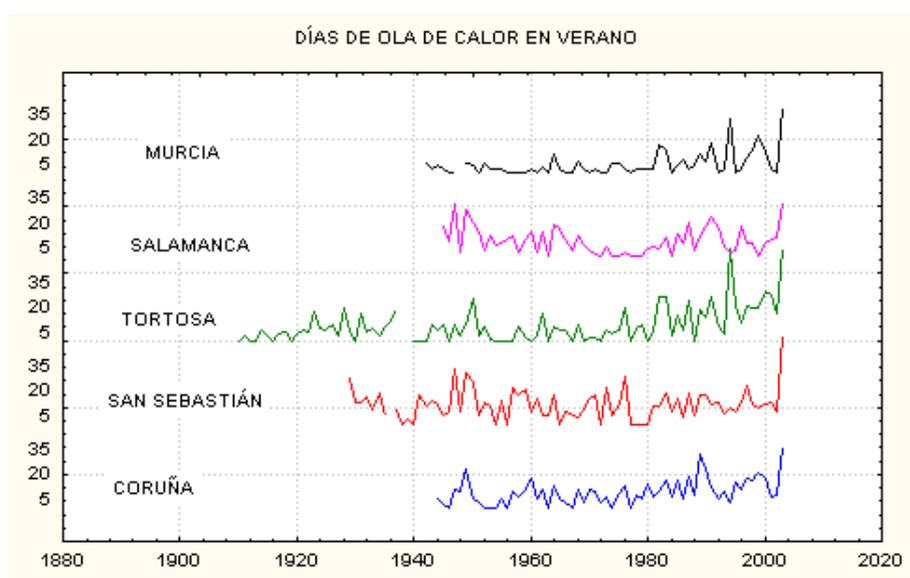


Fig. 6. Número de días total en ola da calor en junio-septiembre

Tabla 3: Estadísticos de las series anuales días de ola de calor en junio-septiembre

ESTACIÓN	días calor 2003	p- valor Mann	Posición 2003	Diferencia
LA CORUÑA	36	<0,1%	1	4
IGUELDO	53	No sig.	1	20
TORTOSA	55	<0,1%	1	0
MATACÁN	32	No sig.	1	1
ALCANTARILLA	39	1%	1	7

De la columna cuarta de la tabla se deduce que para todas las estaciones analizadas el número de días de calor en verano de 2003 fue el mayor de toda la serie, aunque en Tortosa se igualó este valor en 1994. Las series muestran una tendencia creciente muy significativa en La Coruña y Tortosa, y significativa al 1% en Alcantarilla (Murcia). En San Sebastián (Igueldo) aunque la serie no muestra tendencia creciente significativa sin embargo los 53 días de “ola de calor” de 2003 fueron con mucho el valor más alto en la serie de más de 70 años. Estas conclusiones coinciden con otros trabajos sobre el tema (LÓPEZ *et al.*, 2003; RODRÍGUEZ, 2004) que han puesto de manifiesto el carácter climatológicamente excepcional del verano de 2003.

Por otra parte, aplicando el test sobre la posición de valores extremos se ve que en La Coruña los valores tanto más altos como más bajos muestran una tendencia en su posición congruente con la tendencia global de la serie muy significativa para  $m$  mayor que 10. En cambio en Tortosa sólo los valores más altos denotan tendencia a acumularse en los últimos años, eso sí, con un nivel de significación enormemente alto (p-valor inferior al 0,1%). También en Murcia (Alcantarilla) son los valores más altos los que muestran la tendencia creciente, aunque con menos rotundidad que en La Coruña. Por el contrario los valores extremos no muestran tendencia significativa ni en San Sebastián ni en Salamanca (Matacán).

## 8. CRONOGRAMA DE LA OLA DE CALOR DE VERANO DE 2003

En la figura 7 se representa para cada una de las estaciones analizadas los días en que ha habido situación de ola de calor. En el mes de junio de 2003 se observa en todas las estaciones una acumulación importante de días de calor. En La Coruña, San Sebastián y Salamanca se dan muchos días de calor también en agosto, mientras que en Tortosa hay más días en julio que en agosto. Las dos estaciones más septentrionales muestran días de calor también en el mes de septiembre.

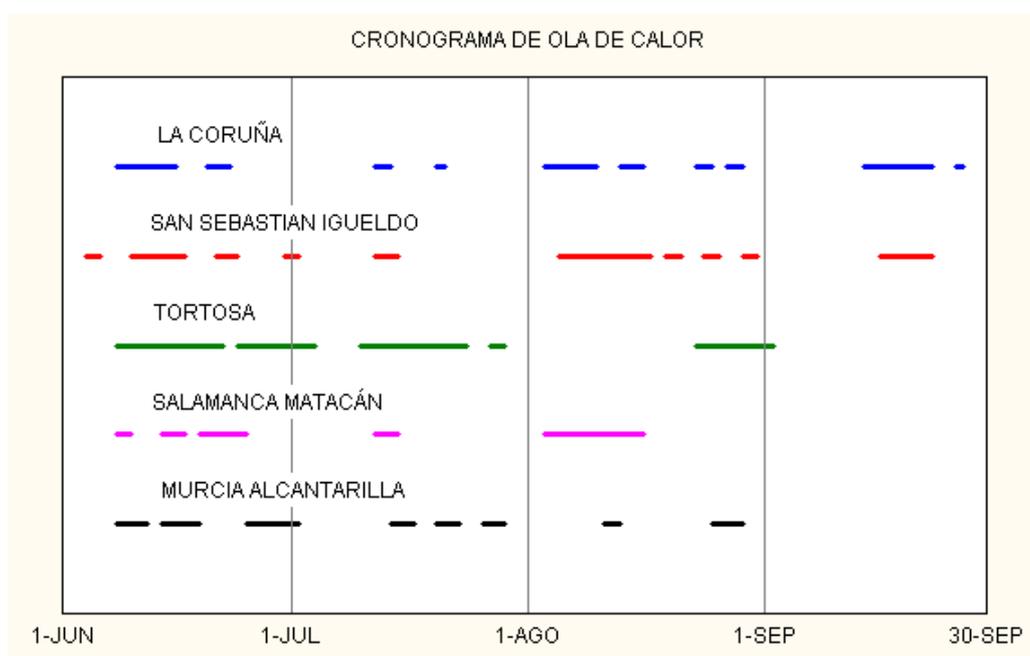


Fig. 7. Periodos sucesivos con ola de calor en verano de 2003

## 9. REFERENCIAS

- ABAURREA, J y CEBRIÁN, A.C. (2002). Distribución de la sequía más severa en un intervalo de tiempo dado. En: GUIJARRO PASTOR, J.A. *et al.* (Eds.). *El agua y el clima*. AEC, Serie A, 3, pp 125-142.
- CEBRIÁN, A.C. (1999). *Análisis, modelización y predicción de episodios de sequía*. Tesis doctoral, Universidad de Zaragoza.
- LÓPEZ, J.A. (2003). "A non-parametric test for trends in the occurrence of rare events". *Journal of Climate* 16, pp. 2602-2614
- LÓPEZ, J.A. y GAMO, A (2003). "Ola de calor en verano de 2003". *Revista Tecno-Ambiente*, 13, 133.
- ROBINSON, P.J. (2001). "On the Definition of a Heat Wave". *Journal of Applied Meteorology*, 40, pp. 762-775.
- RODRÍGUEZ, C. (2004). Carácter extremo del verano de 2003 en la España peninsular y las Islas Baleares. En: *5º Encuentro hispano-luso de meteorología: la meteorología y climatología en los sectores público y privado*.