

ANOMALÍAS TÉRMICAS EXTREMADAMENTE CÁLIDAS EN CATALUÑA 1981-2016

Beatriz TÉLLEZ JURADO

Delegación Territorial de AEMET en Cataluña

RESUMEN: El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático confirma que la influencia humana en el sistema climático es clara y va en aumento. Además del aumento global de temperatura, se observan cambios asociados a los fenómenos extremos. Por ello, surge la necesidad de estudiar en diferentes entornos geográficos tanto la evolución de la temperatura media como los cambios en la ocurrencia e intensidad de valores extremos. En este artículo se analizan los días extremadamente cálidos en Cataluña durante el periodo 1981-2016. El análisis se realiza a partir de los valores promediados para Cataluña de las anomalías diarias de temperatura máxima relativas al periodo de referencia 1981-2010. El uso de anomalías presenta la ventaja de que el comportamiento estacional de la temperatura queda anulado. Los días extremadamente cálidos se definen como aquellos en los que la anomalía de la temperatura máxima supera un determinado valor. Este umbral se calcula promediando los percentiles 99 de las series de anomalías térmicas diarias de cada uno de los años del periodo de referencia. Los resultados muestran diferencias muy acusadas en la intensidad y en la frecuencia de ocurrencia de los días extremadamente cálidos entre las últimas décadas del siglo XX y los años correspondientes a este siglo.

1. INTRODUCCIÓN

El quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014) confirma que la influencia humana en el sistema climático es clara y va en aumento, y que sus impactos se observan en todos los continentes y océanos. Además del aumento de temperatura a escala global, se observan cambios asociados a los fenómenos extremos. Sin embargo, el calentamiento no es uniforme en todas las regiones, y la vulnerabilidad de los seres humanos y de los ecosistemas a los fenómenos más extremos varía de unas zonas u otras. Es por esto que es importante profundizar en el estudio de la evolución de las temperaturas y de los eventos extremos en diferentes escalas espaciales y temporales.

En Cataluña, en concordancia con las conclusiones del IPCC, durante los últimos años, y en particular en lo que va de siglo XXI, también se ha observado un aumento de la temperatura media con respecto a los periodos de referencia anteriores. En repetidas ocasiones se han superado las temperaturas anuales y mensuales más altas de las series históricas. El aumento ha sido desigual para las temperaturas máximas y para las mínimas, y tampoco ha sido uniforme en todas las estaciones del año (TICC, 2016). A escala diaria, aunque la variabilidad es muy grande, también se observan variaciones notables en la frecuencia y la intensidad de los eventos extremos.

En muchos estudios científicos, se define un valor de temperatura como extraordinario o extremo aquel que ha superado o ha sido inferior a un umbral predeterminado (ALEXANDER, L. V. y otros, 2005; LABAJO IZQUIERDO y otros, 2014; DÍAZ J. y otros, 2006). Partiendo de estos valores, se analiza lo que se suelen llamar olas de calor y de frío. Con esta definición, los episodios extremos se producen generalmente en verano e invierno, siendo

muy poco probables en las estaciones intermedias (primavera y otoño). Sin embargo, a lo largo del año se producen episodios en los que las temperaturas son “extremas” por las fechas en que se registran, aunque esos mismos valores puedan ser muy normales en otras épocas del año. Estas temperaturas extremas no tienen un impacto en la salud de las personas tan fuerte como las olas de calor o de frío e incluso pueden ser agradables. Sin embargo, pueden tener efectos muy significativos en ecosistemas o sectores socioeconómicos vulnerables al calor o al frío “relativo” de una determinada época del año. Por ejemplo, en la agricultura, cuando las heladas tardías o las altas temperaturas prematuras alteran el ciclo biológico del cultivo, o en hidrología con el riesgo de desbordamiento de ríos a causa de deshielos rápidos.

Para analizar estos eventos extremos, es necesario anular la componente de estacionalidad característica de las series de temperatura. Una solución a este problema consiste en estudiar el comportamiento de las anomalías, es decir, las diferencias de la temperatura respecto a un valor de referencia, en lugar de las propias temperaturas.

La ocurrencia de estas temperaturas extraordinarias no consiste en fenómenos aislados espacialmente. Ello es debido a que las situaciones meteorológicas que las originan tienen una escala mayor que la local. Es por esto que el valor medio en una región es un buen indicativo para estudiar estos casos, a pesar de enmascarar anomalías extremas asociadas a otro tipo de situaciones de escala más pequeña. Tampoco son fenómenos temporalmente aleatorios, ya que se encuentran asociados a advecciones o perturbaciones atmosféricas que suelen afectar durante varios días a un mismo territorio.

Este artículo se centra en las anomalías extremadamente cálidas de las temperaturas máximas diarias del periodo 1981-2016. Es decir, en los días extremadamente cálidos relativos a la época del año en que se han producido. Para ello, utilizando resultados y metodologías de trabajos previos, se han calculado las anomalías diarias de las temperaturas máximas en Cataluña para el periodo de estudio y se han identificado aquellos días cuya temperatura diurna ha superado ampliamente a su propio valor de referencia.

Los valores diarios de la serie de anomalías de temperaturas máximas diarias están calculados con respecto al valor de referencia del periodo 1981-2010 y promediados para toda la región. Cada dato diario de la serie corresponde al valor medio de una malla regular de anomalías. Esta ha sido calculada a partir de los datos diarios de temperatura de todas las estaciones disponibles de la red climatológica de AEMET y de su valor de referencia diario respectivo.

2. METODOLOGÍA

2.1. Cálculo de los valores diarios en Cataluña de las anomalías de la temperatura máxima

En trabajos previos (TÉLLEZ, 2015) se calcularon las matrices mensuales de temperaturas máximas, mínimas y medias de referencia del periodo 1981-2010 en Cataluña. A partir de estas matrices se obtuvieron los valores de referencia mensuales para todas las estaciones climatológicas de la red.

El valor de referencia diario de la temperatura máxima en cada estación se ha calculado a partir de sus valores de referencia mensuales correspondientes (TÉLLEZ, 2015; 2016). Para cada estación se dispone de 12 valores normales mensuales de temperatura media de las máximas. Es decir, de un conjunto de datos distribuidos en intervalos regulares a la

largo de un eje temporal que abarca un año. Para encontrar la función que mejor se ajusta a estos valores mensuales se ha utilizado la transformada rápida de Fourier (FFT). Se ha aceptado así la hipótesis de que la temperatura máxima diaria de referencia en cualquier estación es una función periódica que se puede representar como una combinación de ondas sinusoidales. La función de ajuste es de la forma:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^6 \left[a_n \cos \frac{2n\pi}{T} t + b_n \sin \frac{2n\pi}{T} t \right] \quad (1)$$

Una vez obtenida la función correspondiente a cada estación, se puede calcular el valor de la temperatura máxima de referencia para cualquier día del año.

Posteriormente, y ya computados los valores de referencia diarios, se calculan las anomalías diarias de las temperaturas máximas en todas las estaciones de la red. Estas anomalías, irregularmente distribuidas se interpolan a los puntos de una malla regular, cuyo promediado permite obtener la anomalía diaria media de la temperatura diurna en Cataluña.

2.2. Cálculo de umbrales y selección de días con valores extremos

Se definen como valores extremos de temperatura a aquellos valores cuya anomalía excede a un determinado umbral. Siguiendo a GRIFFITHS y otros (2005), estos umbrales se han establecido promediando los percentiles 99 de las anomalías de temperatura máxima de cada uno de los años del periodo de referencia. Para cada año del periodo 1981-2010 se ha calculado el percentil 99 de las anomalías de las temperaturas máximas diarias, es decir, el cuarto valor más alto de cada año, y posteriormente se han promediado los percentiles anuales, tomando el valor final como umbral para la definición de día cálido extremo. El cálculo de umbrales por este método reduce el peso de los años con valores muy extremos y aumenta el de otros años con valores menos extremos. El resultado es menos exigente que el percentil 99 calculado a partir de la serie completa de 30 años.

3. RESULTADOS

Los días extremadamente cálidos para la época del año se definen como aquellos en los que la anomalía de la temperatura máxima supera el valor de 6,28 °C (promedio de los percentiles de orden 99 de cada año sobre el periodo 1981-2010). Los días que han superado este umbral son 200, solo un 1,5 % de la serie de datos diarios estudiada, comprendida entre 1981 y 2016. Su distribución temporal se muestra en la figura 1, donde cada año viene representado por una fila y cada día por una columna. Los días que cumplen el criterio establecido están marcados en rojo.

Los días extremadamente cálidos están dispersos irregularmente en todo el periodo de estudio. En primer lugar, hay que destacar que más de la mitad de los días (56 %) se encuentran aislados o agrupados en secuencias de dos días consecutivos. No hay ningún episodio extremo que se prolongue 6 o 7 días, y como caso extraordinario destaca el de septiembre de 1987 que duró 8 días consecutivos. En este episodio, la secuencia de días extremadamente cálidos se inició el día 13 y se prolongó ininterrumpidamente hasta el día 20, alcanzando el día 14 el máximo valor (7,5 °C). Esta larga secuencia fue el punto culminante de un mes de septiembre de 1987 que ha sido el más cálido de su correspondiente serie histórica iniciada en 1940. Otros episodios destacados por su persistencia se dieron en junio de 1981, abril de 2011 y mayo de 2015, todos ellos con una duración de 5 días.

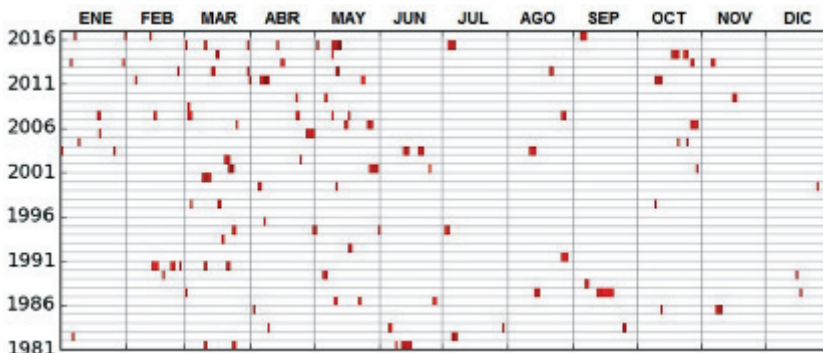


Figura 1. Distribución temporal de las anomalías de la temperatura máxima superiores a 6,28 °C en el periodo 1981-2016. Cada columna representa un día y cada fila un año. Los días marcados en rojo representan los días extremadamente cálidos.

El rango de valores ha oscilado entre 6,28 °C y 10,63 °C, un abanico térmico de algo más de 4 °C de diferencia entre el mínimo establecido y el máximo de la serie. En 94 ocasiones (casi el 50 % de los casos) las anomalías han sido inferiores a 7 °C, y solo 8 días (el 4 %) ha sido superior a 9 °C (tabla 1).

Anomalía (°C)	(6,28-7,0)	(7,0-8,0)	(8,0-9,0)	(9,0-10,0)	(10,0-10,63)
N.º de días	94	78	20	3	5

Tabla 1. Número de días extremadamente cálidos que se han dado para cada intervalo de valores de anomalías.

Es importante resaltar que los ocho días con anomalías superiores a 9 °C no están asociados a uno o dos episodios extraordinarios, sino que están distribuidos en varios episodios independientes entre sí y que solo uno de ellos sucedió en las primeras décadas del estudio. Es decir, el valor máximo de las anomalías de las décadas 80-90 (9,07 °C) ha sido superado en seis ocasiones en el presente siglo, estableciéndose un nuevo máximo (10,63 °C) superior en 1,56 °C al anterior.

El episodio más intenso del periodo de estudio tuvo lugar en abril de 2011. Los días 8 y 9 se dieron anomalías de 10,57 °C y 10,63 °C respectivamente. Las temperaturas diurnas de estos días promediadas para Cataluña fueron similares a las de referencia de finales de junio o finales de agosto. Los otros episodios con anomalías superiores a 9 °C ocurrieron el 13 y 14 de mayo de 2015, el 23 de marzo de 2001, el 12 de mayo de 2012, el 7 de julio de 1982 y el 12 de octubre de 2011. Excepto los dos últimos, que se han dado en verano y en otoño, el resto se dieron en primavera.

Las anomalías no se distribuyen de forma uniforme a lo largo de las estaciones. La primavera es la estación del año que concentra el mayor número de casos, abarcando el 45 % de los datos extremos. El verano y el otoño agrupan el 20,5 % y el 21,5 % de los días, siendo el invierno la estación menos favorable para este fenómeno.

La primavera no solo concentra el mayor número de casos, sino también los más extremos. En el periodo 1981-2010, los valores máximos mensuales del trimestre no alcanzaron los 9 °C. Sin embargo, en los años del siglo XXI, en cada uno de los meses del trimestre se han superado los 10 °C.

En abril, las anomalías más intensas de los episodios de 2002, 2007 y 2013 fueron similares al valor máximo establecido en abril de 1980, que fue de 7,31 °C. Sin embargo, en los episodios del 2011 y 2005, el récord anterior fue ampliamente superado, alcanzándose un nuevo máximo superior en 3,32 °C al anterior. Análogamente, en mayo el valor máximo del periodo 1981-2010 (7,85 °C en mayo de 1994) ha sido superado en varias ocasiones durante el periodo 2001-2016 (en 2006, 2001, 2012 y 2015), alcanzándose un nuevo récord superior en 2,31 °C al anterior. Es decir, en estos dos meses además de haberse batido los récords mensuales de las primeras décadas del estudio se observa que esto ha ocurrido en varias ocasiones y que en otras tantas han sido solo ligeramente inferiores. En marzo, el récord de las décadas de los 80 y 90 ha sido superado en una única ocasión (en 2001), pero en otras varias las anomalías han sido solo ligeramente inferiores.

En estos meses, no solo se ha observado un aumento de la intensidad, sino también un aumento en el número de casos que han superado el umbral mínimo definido. El coeficiente de correlación obtenido en la primavera entre número de casos y años es alto (0,41), a pesar de la gran variabilidad interanual y de que el tamaño de la muestra es pequeña. En la evolución temporal del número de casos del trimestre marzo-abril-mayo, destaca 2015 con 10 casos en total, en contraste con otras primaveras que como máximo han tenido un día aislado. Estas últimas son más numerosas en los primeros 20 años de estudio (figuras 1 y 2).

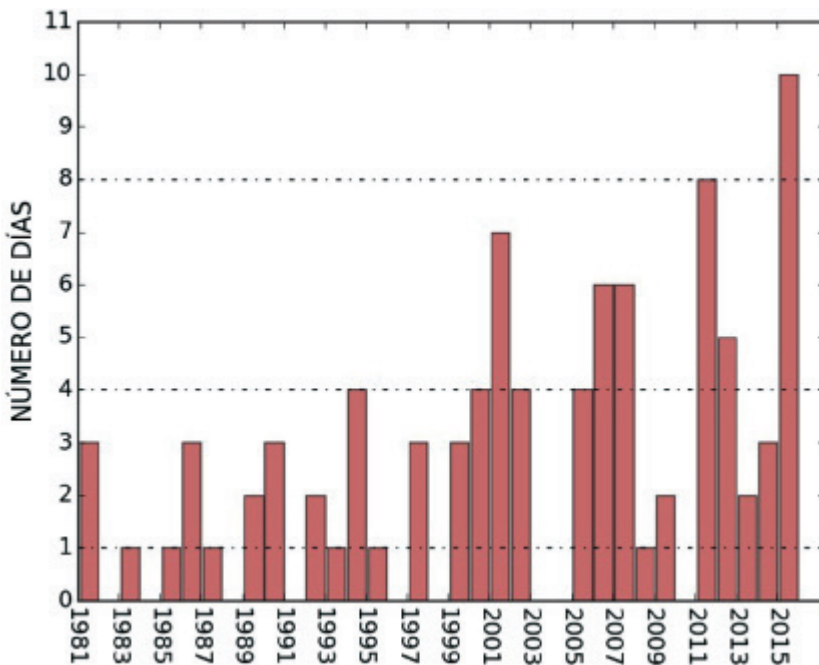


Figura 2. Evolución temporal de la frecuencia de los días extremadamente cálidos en la primavera.

En el verano, los casos se concentran principalmente en junio y agosto, con menos casos en julio. A diferencia de la primavera, en ningún mes del trimestre se han superado los máximos mensuales establecidos en los primeros 20 años de estudio. La intensidad más

alta del verano se dio en julio de 1982 con $9,07\text{ }^{\circ}\text{C}$. Con respecto a la frecuencia de ocurrencia destaca el verano de 2003, con un total de 9 días, repartidos entre junio y agosto. El incremento de la temperatura estival asociada a estos episodios extremos provocó efectos muy drásticos en la salud de las personas más vulnerables (GARCÍA DE OLALLA y otros, 2004; DÍAZ J. y otros, 2006). La intensidad más alta de este episodio de 2003 se dio el 14 de junio, con un valor de $8,08\text{ }^{\circ}\text{C}$, ligeramente inferior a la de junio de 1981. Por otra parte, en muchos veranos del periodo de estudio las anomalías no han alcanzado el umbral de $6,28\text{ }^{\circ}\text{C}$, por lo que no se ha dado ningún caso. Entre los veranos más recientes se encuentran los de 2016, 2014 y 2013 (figuras 1 y 3).

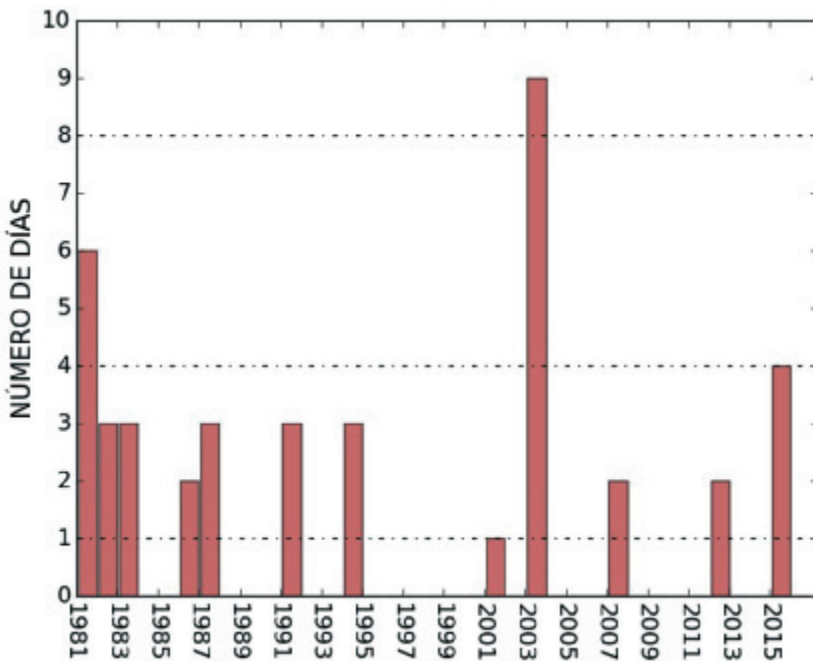


Figura 3. Evolución temporal de la frecuencia de los días extremadamente cálidos en verano.

Los episodios más destacados del otoño se dieron en los años 1987 y 2011, el primero por el número total de días (8) y el segundo por la intensidad alcanzada ($9,05\text{ }^{\circ}\text{C}$). Los meses de septiembre y noviembre se han caracterizado por amplias lagunas de años sin ningún episodio. El mes de octubre, como sucedió en abril y mayo, el récord máximo del periodo 1981-2000 ha sido superado en los años posteriores al 2000. Esto ha sucedido en varias ocasiones, estableciéndose un nuevo récord superior en $2,02\text{ }^{\circ}\text{C}$ al del periodo anterior. Y como en primavera, en los octubres del presente siglo han aumentado los días que han superado el umbral mínimo definido. El coeficiente de correlación de octubre entre número de casos y años es de 0,39 (figuras 1 y 4).

En invierno, los episodios más destacados fueron los de 2016 y 1990. En enero de 2016 se alcanzó el valor máximo de todos los eneros del periodo ($7,96\text{ }^{\circ}\text{C}$), mientras que el invierno de 1990 destacó por el número de casos. En muchos inviernos no se ha dado ningún caso, pero un alto porcentaje de estos inviernos caracterizados por la ausencia de eventos con extremos cálidos están agrupados en las primeras décadas de estudio (figuras 1 y 5).

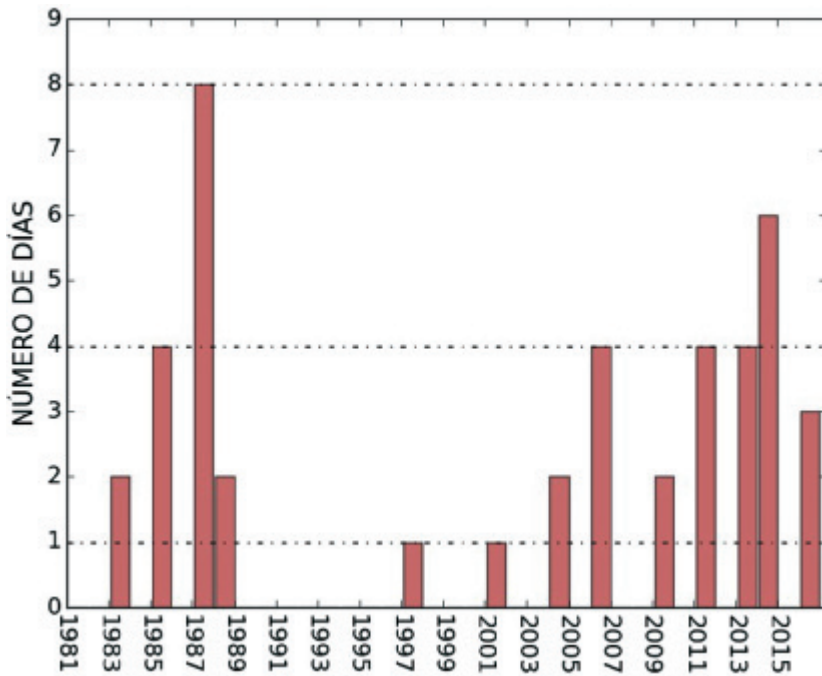


Figura 4. Evolución temporal de la frecuencia de los días extremadamente cálidos en otoño.

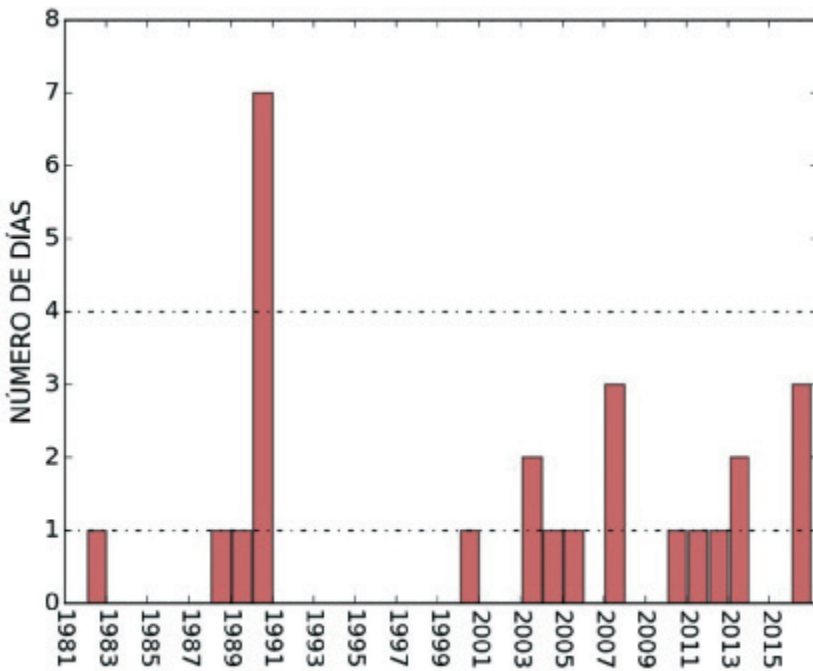


Figura 5. Evolución temporal de la frecuencia de los días extremadamente cálidos en invierno.

4. CONCLUSIONES

El estudio analiza la frecuencia e intensidad de eventos extremadamente cálidos en Cataluña. El uso de anomalías térmicas en lugar de temperaturas permite anular el comportamiento estacional y de este modo identificar casos anómalos a lo largo de todo el año. Durante el periodo 1981-2016 se han identificado 200 días en los que el valor promediado para Cataluña de la anomalía de la temperatura máxima supera un umbral establecido en 6,28 °C. Más de la mitad de estos días (56 %) se encuentran aislados o agrupados en secuencias de dos días consecutivos. Sin embargo, se ha identificado un caso excepcional en que se ha superado el umbral durante 8 días consecutivos.

Los días con temperaturas máximas extremas no se distribuyen de forma uniforme a lo largo de las estaciones. La primavera es la que concentra el mayor número de casos y la estación invernal es la menos favorable. Las anomalías más altas, superiores a 10 °C, se han dado en varios episodios independientes, en primavera y en la última parte de la serie, en el siglo XXI.

El progresivo aumento de días extremadamente cálidos es muy significativo, especialmente en los meses de primavera, octubre y enero.

BIBLIOGRAFÍA

- ALEXANDER, L. V. y otros (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J. Geophys. Res.*, 111 D05109, doi: 10.1029/2005JD006290.
- DÍAZ, J.; GARCÍA-HERRERA R. y otros (2006). The impact of the summer 2003 heat wave in Iberia: how should we measure it? *International Journal of Biometeorology*, 50 (3), 159-166.
- GARCÍA DE OLALLA, P. y CAYLÀ, A. (2004). Impacte de l'ona de calor sobre la salut a la ciutat de Barcelona l'estiu del 2003, en "La salut a Barcelona 2003", 48-50, Agència de Salut Pública de Barcelona.
- GRIFFITHS, G. M.; CHAMBERS, L. E. y otros (2005). Change in mean temperatures as a predictor of extreme temperature change in the Asia-Pacific region. *Int. J. Climatol.*, 25: 1301-1330.
- IPCC (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R. K. Pachauri y L. A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.
- LABAJO, A. y otros (2014). Definition and temporal evolution of the heat and cold waves over the Spanish Central Plateau from 1961 to 2010. *Atmósfera*, vol. 27, n.º 3, México.
- TÉLLEZ, B. (2015). Seguimiento de las oscilaciones térmicas en Cataluña en 2014, *Calendario meteorológico 2016*, 329-334, Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente, AEMET.
- TÉLLEZ, B. (2016). Seguimiento de las anomalías diarias de la temperatura media en Cataluña, XXXIV Jornadas Científicas de la AME, 29 febrero-2 de marzo de 2016, Teruel.
- TICC (2016). Tercer informe sobre el cambio climático en Cataluña. Generalitat de Catalunya, Institut d'Estudis Catalans, Barcelona.