

SEGUIMIENTO DE LAS ANOMALÍAS DIARIAS DE LA TEMPERATURA MEDIA DE CATALUÑA

Beatriz Téllez Jurado

Agencia Estatal Meteorología, Arquitecte Sert, 1, 08005 Barcelona, btellezj@aemet.es

Resumen

En este artículo se describe el método usado para el cálculo del valor medio en una región de las anomalías de la temperatura media diaria. Este método, que se ha aplicado para Cataluña con el periodo de referencia de 1981-2010, consta de los siguientes pasos: primero se calculan las anomalías diarias de cada estación respecto a un valor de referencia obtenido previamente aplicando la transformada de Fourier a los valores de referencia mensuales. Después, el conjunto de anomalías distribuido irregularmente se interpola a una malla regular. Finalmente, se promedia la matriz obtenida para calcular la anomalía media diaria en la región de estudio. La serie de valores medios de anomalías diarias permite identificar los episodios cálidos y fríos así como la frecuencia y la estacionalidad de los eventos extremos, entendiéndose como tales aquellos días en los que las anomalías superan determinados umbrales.

1. Introducción:

Durante los últimos años se han registrado valores anormalmente altos de temperatura, muy probablemente como consecuencia del cambio climático global. A nivel planetario, 2014 fue calificado por la OMM como el año más caluroso del que se tenía registro. Más recientemente, la NOAA y la NASA han determinado que 2015 ha superado el anterior récord. En Cataluña, 2006, 2011 y 2015, todos ellos en la última década, han sido los más cálidos de la serie iniciada en 1940.

En trabajos previos se analizaron las temperaturas medias y sus anomalías a escala mensual. Se partió para ello de los valores medios del periodo de referencia 1971-2000 en un conjunto de estaciones, calculados a partir de sus series climáticas (Terradellas, 2008). Con estos valores medios, (182 en Cataluña, 22 en Aragón y 1 en la comunidad Valenciana) se generaron las matrices de valores mensuales normales en los puntos de una rejilla de

0.005 ° de longitud por 0.005 ° de latitud que se extendía entre 40° y 43 ° de latitud norte y entre 0° y 4° de longitud este. Para el cálculo de los valores normales mensuales de temperatura máxima, media y mínima en los puntos de rejilla se utilizó la metodología descrita en Téllez et al (2008). Es decir, se utilizó una combinación de métodos estadísticos y deterministas de interpolación en la que se tuvo en cuenta la dependencia de las variables climáticas con parámetros fisiográficos tales como la altitud o la distancia al mar. Una vez obtenidas las matrices de referencia fue posible disponer de valores medios mensuales en cualquier punto de Cataluña.

Posteriormente se calcularon las diferencias de temperatura mensuales de cada estación con los valores normales correspondientes y se interpolaron a los puntos de rejilla, obteniéndose así las matrices de anomalías de cada mes. Las matrices de temperatura mensuales se calcularon a partir de la suma de las matrices normales y de anomalías, y la anual a partir de las mensuales. El valor medio mensual de temperatura para Cataluña se obtuvo mediante el promediado de los valores de la matriz de temperatura media mensual. El promediado se realizó ponderando los valores con un peso proporcional al área representada, que en un sistema de coordenadas geográficas depende de la latitud.

Con esta metodología se calcularon las matrices de temperatura máxima, media y mínima mensuales y anuales de Cataluña así como sus promedios desde 1940. Los resultados obtenidos permitieron hacer una primera evaluación de las incidencias climáticas de los últimos 75 años en Cataluña. Particularizando en la temperatura media anual, se observa que en el presente siglo se han registrado los 6 años más cálidos de la serie que comienza en 1940.

Por otra parte, en muchos estudios se muestra que el cambio climático global no sólo se refleja en un incremento de la temperatura media, sino también en una mayor frecuencia de episodios extremos. (Herring et al., 2015). Por ello, surge la necesidad de

realizar un seguimiento de las anomalías de la temperatura diaria a diferentes escalas espaciales para el estudio de la frecuencia, estacionalidad e intensidad de estos episodios.

En el presente trabajo se muestra el método desarrollado para el cálculo del valor medio en una región de la anomalía de la temperatura diaria. Con este método se han calculado las anomalías y las temperaturas máximas, mínimas y medias diarias de Cataluña desde el año 2000 hasta el 2015. A partir de estos valores se pueden detectar fácilmente los episodios extremos, entendiendo como tales aquéllos en los que la anomalía térmica diaria supera determinados umbrales. Se presenta la frecuencia anual y la estacionalidad de estos fenómenos en los últimos 16 años.

2. Metodología.

En esta sección se describe primero el método desarrollado para calcular la temperatura de referencia diaria correspondiente al periodo 1981-2010 para cada estación y su valor medio en una región. Estos valores de referencia permiten después obtener las anomalías diarias, tanto a escala local como regional. El método se ilustra para el caso de Cataluña.

2.1. Cálculo de la temperatura de referencia mensual para el periodo 1981-2010

En primer lugar se han calculado las matrices de referencia para el periodo 1981-2010, que se han obtenido promediando las matrices mensuales correspondientes a este periodo. En las nuevas matrices sigue quedando reflejada la influencia de los factores fisiográficos en las temperaturas normales. No obstante, el método para obtenerlas se basa en la hipótesis de que esta influencia no ha variado con el tiempo.

2.2. Cálculo de la temperatura de referencia diaria para cada estación y su valor medio en Cataluña.

Los valores normales mensuales de temperatura en cualquier observatorio se han obtenido a partir de una interpolación bi-lineal de los valores en los cuatro puntos de rejilla más cercanos de las matrices correspondientes. El método se ha validado comparando estos valores con los calculados a partir de series climáticas y publicados en AEMET (2012).

De esta manera, para cada estación termométrica se dispone de 12 valores normales mensuales de temperatura media de las máximas diarias (y 12 de temperatura media de las mínimas). Es decir, de un conjunto de datos distribuidos en intervalos regulares a lo largo de un eje temporal que abarca un

año. El problema de obtener valores diarios de referencia se reduce a encontrar una función $f(t)$ que se ajuste a estos datos. Para ello se ha utilizado el análisis de Fourier, más concretamente la Transformada Rápida de Fourier (FFT). Ello implica aceptar la premisa de que la temperatura máxima (mínima) diaria normal es una función periódica y que se puede aproximar a una combinación lineal de ondas sinusoidales. Una vez obtenida la función $f(t)$ correspondiente a cada estación, el cálculo del valor de la temperatura de referencia para cualquier día del año es inmediato.

La misma metodología se ha utilizado para el cálculo de la temperatura media diaria de referencia en Cataluña, utilizando en este caso los valores medios mensuales de todo el territorio que se han obtenido promediando las matrices mensuales de referencia del periodo 1981-2010. En la figura 1 se muestra el ajuste obtenido para los valores medios de las temperaturas mensuales en Cataluña. El valor de la función en cada punto representa la temperatura diaria de referencia para la región.

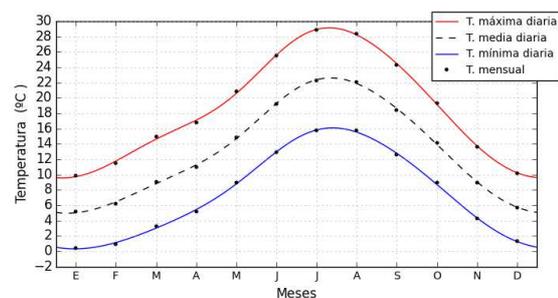


Fig. 1.- Temperaturas diarias de referencia para Cataluña obtenidas a partir de los valores mensuales normales del periodo 1981-2010.

2.3. Cálculo de la anomalía diaria para cada estación y la media diaria en Cataluña.

Se genera para cada día una matriz de anomalías de las temperaturas máximas y una de las mínimas. Para ello, primeramente, para todas las estaciones de la red climatológica de AEMET en Cataluña se calculan las diferencias entre las temperaturas extremas diarias y los correspondientes valores diarios de referencia. Después, estas anomalías irregularmente distribuidas se interpolan a los puntos de una malla regular de $0,005^\circ$ de resolución. Para obtener el valor en cada punto de rejilla se promedian las anomalías de todas las estaciones con un peso que es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. El hecho de que la interpolación se realice sobre las anomalías y no sobre las temperaturas ofrece resultados más realistas, debido a que las anomalías térmicas presentan variaciones espaciales más suaves que las propias temperaturas.

La anomalía de la temperatura media (máxima, mínima) diaria de Cataluña se obtiene a partir del promediado de estas matrices. Por último, la temperatura media diaria se obtiene sumando la anomalía y la temperatura de referencia.

3. Análisis de los resultados

Aplicando el método descrito se han calculado primero las anomalías (de las temperaturas máximas, mínimas y medias) diarias desde el año 2000 hasta el 2015 de las estaciones climatológicas de AEMET en Cataluña. Después, a partir de la interpolación de estos valores, se han obtenido las matrices diarias y, finalmente, los valores medios diarios para el área de estudio. El valor medio de la temperatura diaria se ha obtenido como suma de la anomalía y el de referencia.

En la figura 2, inspirada en gráficas del blog 'Calima', se representa la evolución de la anomalía de la temperatura máxima diaria en 2014 para 188 estaciones de Cataluña, ordenadas por altitud en el eje de ordenadas. En esta gráfica, cada fila muestra la evolución anual de las anomalías diarias en una estación y cada columna las anomalías correspondientes a un mismo día. Los colores cálidos representan anomalías positivas y los fríos, anomalías negativas, con tonos verdosos para las temperaturas cercanas a los valores de referencia. El color gris significa ausencia de dato. El rango de colores de una columna muestra la variabilidad de las anomalías en un día y entre dos columnas consecutivas los cambios de temperatura entre un día y el siguiente.

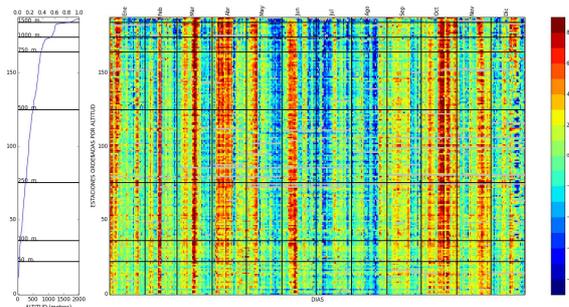


Fig. 2.- Anomalías de temperatura máxima diaria para el año 2014 en 188 estaciones de Cataluña ordenadas por orden creciente de altitud. En el panel de la izquierda se representa la altitud de cada estación.

Un fuerte contraste de color entre dos columnas contiguas implica una brusca variación térmica, que puede ser indicativa del paso de un sistema frontal. Un ejemplo puede encontrarse en el brusco contraste entre el 11 y 13 de febrero, con la advección de una masa de aire más cálida. Otro episodio con aumento generalizado de temperaturas se observa entre el 14 y el 18 de marzo. Por el contrario, a finales de mayo se registran descensos generalizados, aunque más

moderados en cotas bajas que en altas. En otros episodios, como los días 23 y 24 de diciembre, se observa una gran dispersión de valores. Durante estos días, las temperaturas fueron superiores a las normales en muchas estaciones, pero se mantuvieron relativamente bajas en el interior debido a la presencia de densas y persistentes nieblas.

A la inversa, la ausencia de contraste de color entre días consecutivos denota una situación térmicamente estacionaria, como por ejemplo entre el 5 y el 18 de abril, cuando las anomalías positivas son continuadas.

En la figura 3 se muestra la evolución del valor medio de la anomalía de las temperaturas máximas diarias en Cataluña a lo largo de 2014. Se trata de la misma información que en la figura anterior, aunque promediada sobre toda la región. En rojo se muestran las anomalías positivas y en azul las negativas. Aquí se aprecia claramente que las anomalías diurnas más extremas cálidas y frías se produjeron el 17 de marzo y el 7 de julio respectivamente. Destaca claramente el prolongado episodio cálido del mes de octubre (fue el octubre más cálido desde 1940) y que tras una breve interrupción continuó en el mes de noviembre. De esta forma, tanto en la figura 2 como en la 3 quedan representadas las anomalías térmicas diurnas, los eventos extremos y la persistencia de los episodios cálidos o fríos. La primera ofrece un mayor nivel de detalle, la segunda permite destacar más claramente los rasgos más sobresalientes pero quedarán enmascarados los efectos locales.

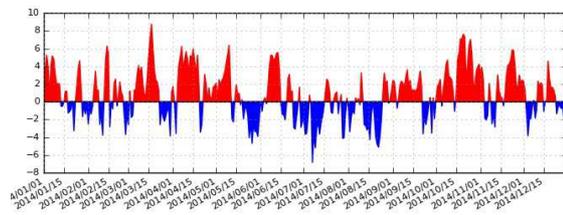


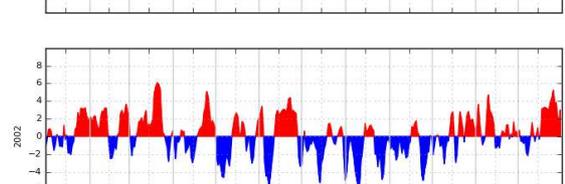
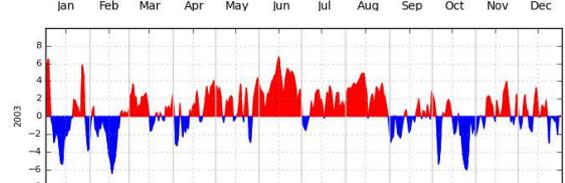
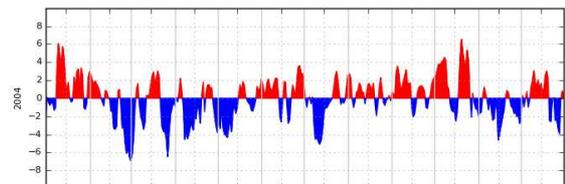
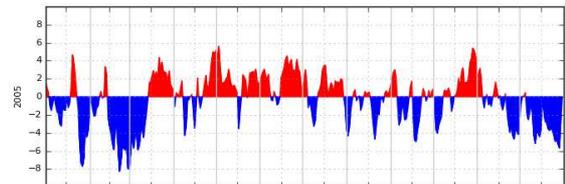
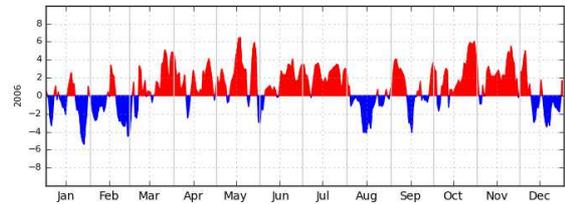
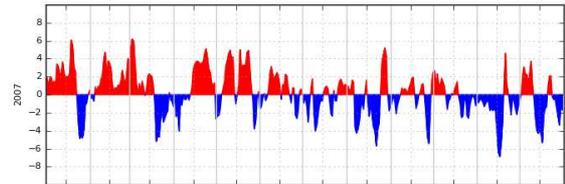
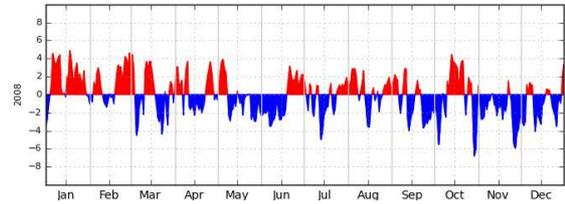
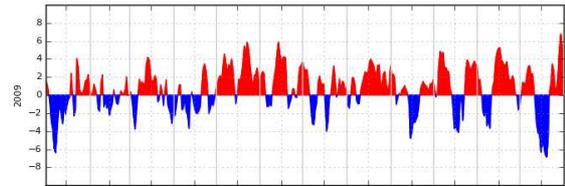
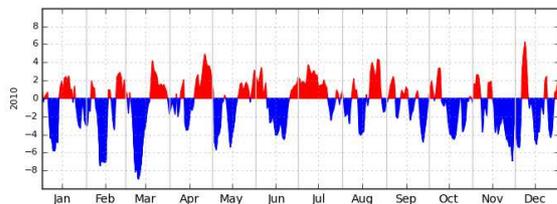
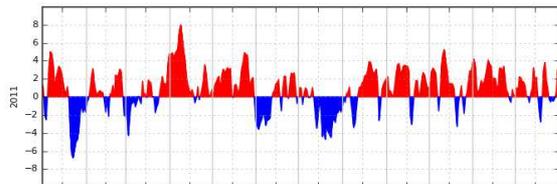
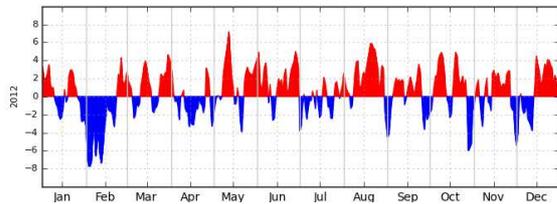
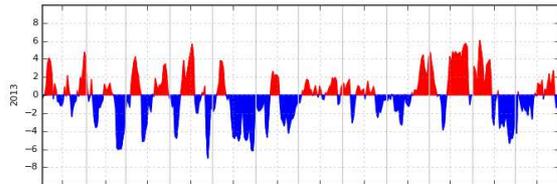
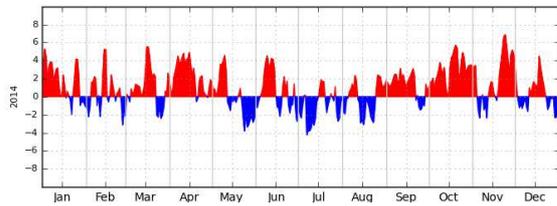
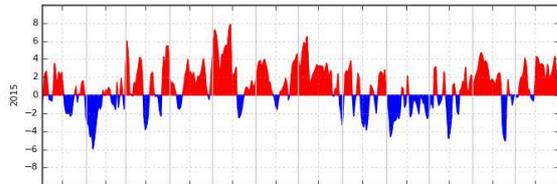
Fig. 3.- Evolución durante 2014 de la anomalía de la temperatura máxima diaria promediada para Cataluña.

En la figura 4 se muestra la evolución de las anomalías de la temperatura media diaria en Cataluña durante los últimos 16 años. El valor medio es positivo (+0.3 °C), acorde con la tendencia de calentamiento global, y el rango oscila entre -8,9 °C (10 de marzo de 2010) y 7,9 °C (9 de abril del 2011). Aunque dominan las anomalías positivas, la distribución estadística de la serie está sesgada hacia los valores negativos.

Se pueden destacar los episodios fríos de diciembre de 2001, enero de 2005, febrero de 2005, de 2010 y de 2012, marzo de 2010 y mayo de 2013. La temperatura media mensual del mes diciembre de 2001 fue la más baja de la serie de temperaturas

medias mensuales del mes de diciembre que comienza en 1940.

Entre los episodios cálidos más notables se encuentran los de marzo de 2001, abril de 2011, mayo de 2015 (en tres ocasiones las anomalías positivas superaron los 7 °C) y junio y agosto de 2003. En verano de 2003, las elevadas temperaturas provocaron un fuerte impacto sobre la salud de las personas más vulnerables, registrándose un considerable incremento en la mortalidad (García de Olalla y Caylà, 2004).



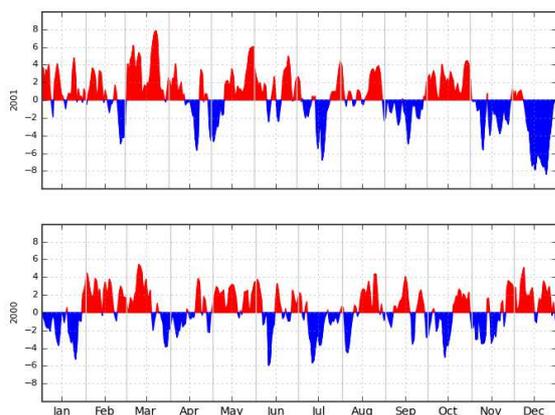


Fig. 4.- Evolución de la anomalía de la temperatura media diaria de Cataluña desde el año 2000 hasta el 2016

A partir de la serie de anomalías diarias se pueden identificar los días extremadamente cálidos o fríos, entendiéndose como tales aquellos en los que la anomalía térmica supera un determinado umbral. Las figuras 5 y 6 muestran la frecuencia anual de días con anomalías superiores en valor absoluto a 4, 5, 6 y 7 °C. La gran variabilidad interanual está ligada a que se trata de fenómenos poco frecuentes y que se alargan, en ocasiones, varios días.

En la figura 5 se muestra la frecuencia de días extremadamente cálidos. El valor más alto corresponde a 2014 si se considera un umbral de 4 °C, y a 2001 y 2015 si se consideran umbrales más altos, es decir, si se buscan anomalías más extremas. En particular, cada uno de estos dos años se superó en tres ocasiones el umbral de 7 °C. En contraste, en 2008 las anomalías más altas no alcanzaron los 5 °C.

En la figura 6 se muestra la frecuencia de días extremadamente fríos. En este caso, los valores más extremos corresponden a 2005 y 2010 para umbrales de -4 y -5 °C, 2001 para un umbral de -6 °C y 2010 para las más extremas. En el 2010 en 9 ocasiones las anomalías fueron inferiores a -7 °C y tres de ellas inferiores a -8 °C. Los valores más bajos corresponden a los dos últimos años, destacando 2014 por la ausencia total de episodios fríos más extremos.

Comparando ambas figuras se observa una mayor frecuencia de días extremadamente fríos que de días extremadamente cálidos, corroborando el sesgo hacia valores negativos de la distribución estadística de esta serie.

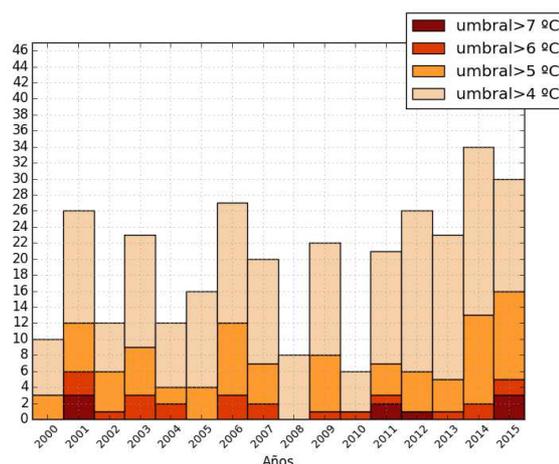


Fig. 5.- Número anual de días en los que la anomalía media diaria ha sido superior a 4, 5, 6 y 7 °C.

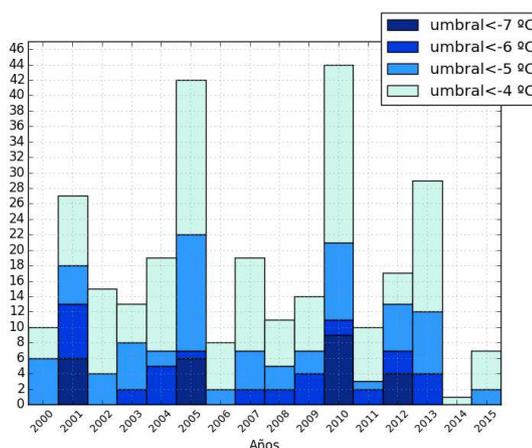


Fig. 6.- Número anual de días en los que la anomalía media diaria ha sido inferior a -4, -5, -6 y -7 °C.

Las figuras 7 y 8 muestran la evolución anual del número medio de casos extremos. La mayor ocurrencia de extremos cálidos se observa en los meses de primavera y en octubre. En cambio, los extremos fríos son más frecuentes en invierno.

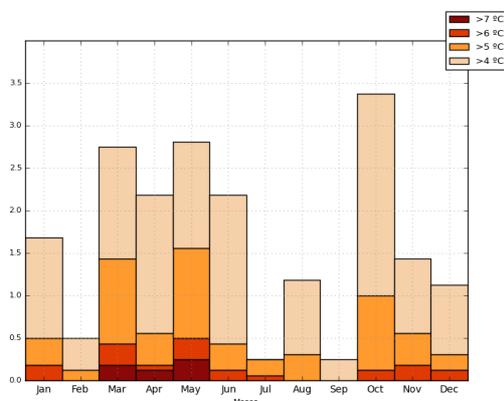


Fig. 7.- Evolución anual del número medio de días en los que las anomalías han superado los umbrales de 4, 5, 6 y 7 °C.

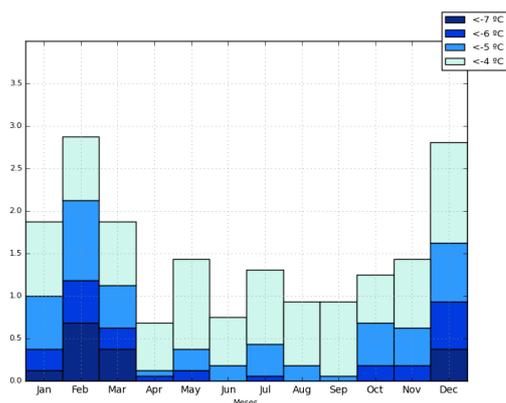


Fig. 8.- Evolución anual del número medio de días en los que las anomalías han sido inferiores a los umbrales de -4, -5, -6 y -7 °C.

4. Conclusiones

Con el cálculo de las anomalías diarias en una región se obtienen resultados que quedan enmascarados en las anomalías mensuales, en particular, la ocurrencia de valores extremos. Se trata de fenómenos poco frecuentes pero que, en muchas ocasiones y dependiendo sobre todo de la época del año en la que ocurran, pueden tener un fuerte impacto en la salud, la agricultura, la hidrología, etc.

La serie de los valores medios de las anomalías diarias en Cataluña comprendida entre los años 2000 y 2015 tiene un valor medio positivo de +0,3 °C, el rango oscila entre -8,9 °C y 7,9 °C y, aunque dominan las anomalías positivas, su distribución estadística está sesgada hacia los valores negativos. Definiendo los días extremadamente cálidos o fríos, como aquellos en los que la anomalía térmica supera un determinado umbral, se observa una gran variabilidad interanual en su frecuencia. Destaca el año 2014 por el elevado número de días con anomalías superiores a 4 °C y la ausencia de días extremadamente fríos. En cuanto a la estacionalidad, puede destacarse la concentración de días extremadamente cálidos en los meses de primavera y en octubre, así como la de días extremadamente fríos en los meses invernales.

Referencias

AEMET (2012): Valores climatológicos normales y estadísticos de estaciones principales (1981-2010). Agencia Estatal de Meteorología, Madrid
 GARCÍA DE OLALLA, P. & Caylà, A. (2004): Impacte d l'ona de calor sobre la salut a la ciutat de Barcelona l'estiu del 2003, en 'La salut a Barcelona 2003', pp. 48-50, Agència de Salut Pública de Barcelona
 CALIMA (blog): <https://calimamet.wordpress.com/>

HERRING, S. C., Hoerling, M. P., Kossin, J. P., Peterson, T. C., & Stott, P. A. (2015): Explaining extreme events of 2014 from a climate perspective. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(12), S1-S172.
 TÉLLEZ, B., Cernocky, T., & Terradellas, E. (2008): Calculation of climatic reference values and its use for automatic outlier detection in meteorological datasets. *Advances in Science and Research*, 2, 1-4.
 TERRADELLAS, E. (2008): Estimación de parámetros de la distribución estadística de temperaturas medias mensuales a partir de ficheros de datos incompletos, XXX Jornadas Científicas de la AME, 57 mayo 2008, Zaragoza.