

SECUENCIAS DE PATRONES SINÓPTICOS ASOCIADOS AL EXCESO DE MORTALIDAD POR CALOR EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BARCELONA

Juan Carlos PEÑA RABADÁN ^{1,2}, Núria PÉREZ ZANÓN ¹, José Miguel RASO NADAL ² y Montserrat ARAN ROURA ¹

¹*Servei Meteorològic de Catalunya, Barcelona, España*

²*Grupo de Climatología. Universitat de Barcelona, Barcelona, España*
jpena@meteo.cat, nperez@meteo.cat, raso@ub.edu, maran@meteo.cat

RESUMEN

El estudio examina las condiciones sinópticas que explican el exceso de mortalidad por calor en el área metropolitana de Barcelona. Los episodios que se han tenido en cuenta en el estudio se han definido a partir del umbral establecido por el percentil 95 de la mortalidad diaria para los meses del verano (junio, julio y agosto) en la ciudad de Barcelona, asumiendo el lapso transcurrido entre el día en que se registra el máximo de mortalidad y cuando se inicia realmente el episodio de calor. Así, el análisis se basa en la evolución sinóptica entre estos dos momentos, es decir, la secuencia. El estudio se desarrolla a partir de un armazón metodológico sustentado en un análisis multivariable para conseguir una clasificación de las secuencias de los patrones de circulación atmosférica integrando diferentes niveles de la troposfera con la finalidad de detectar la evolución y el comportamiento sinóptico de estos episodios extremos.

Palabras Clave: Climatología sinóptica, Análisis Multivariable, Secuencias de patrones sinópticos.

ABSTRACT

The study examines the synoptic conditions that explain the excess of the mortality due to heat in the metropolitan area of Barcelona. The episodes which we have been taken into account in the study were defined from the 95th percentile of daily mortality for the summer months (June, July and August) in Barcelona, assuming the period between the day when it is recorded the highest mortality and when actually begin the episode of heat. Thus, the analysis is based on the synoptic evolution between these two moments, that is to say, the sequence. The study is developed from a methodological framework supported by a multivariate analysis to obtain a classification of the circulation pattern sequences integrating different levels of the atmosphere in order to detect evolution and the synoptic behaviour of these extreme events.

Key words: Synoptic Climatology, Multivariate Analysis, Circulation Pattern Sequences.

1. INTRODUCCIÓN

Los eventos térmicos extremos debidos al calor tienen un enorme impacto socioeconómico debido, no sólo a los daños que provocan en los cultivos y a la incitación o exacerbación de incendios forestales, sino también, y lo que es más grave, estos eventos son susceptibles de acarrear un incremento significativo de la morbilidad y la mortalidad de la población (García-Herrera *et al.*, 2002; Kuglitsch *et al.*, 2010). A este tipo de eventos se les ha considerado como los más letales de

todos los riesgos atmosféricos (Sheridan y Kalkstein, 2004), incidiendo en los países de latitudes medias en aquel sector de la población con problemas cardiovasculares y/o con una edad avanzada. La representación gráfica de los datos diarios de mortalidad y temperatura en Barcelona puede ajustarse mediante curvas que tienen forma de una “V”, de una “U” o, mejor, de una “J” representada en forma de *escritura de espejo*, es decir de manera que la rama de la izquierda sea más larga que la de la derecha, tal como se ha observado en distintas ciudades tanto de España como de otros países europeos (Ballester *et al.*, 1997; Alberdi, 1998; Sáez *et al.*, 2000; García-Herrera *et al.*, 2002, 2005; Analitis *et al.*, 2008; Baccini *et al.*, 2008; Zanobetti y Schwartz, 2008), con un punto de inflexión en el percentil 98 de la serie de temperatura máxima (@33 °C), a partir del cual se observa un aumento significativo de la mortalidad (Peña y Raso, 2008). Este umbral es mayor que el observado en otras ciudades mediterráneas (Analitis *et al.*, 2008; Baccini *et al.*, 2008) y del centro y oeste de la Península Ibérica, donde se ha establecido este umbral en el percentil 95 (García-Herrera *et al.*, 2002, 2005).

La variabilidad de los episodios de temperatura extrema está principalmente gobernada por la circulación atmosférica, siendo la persistencia de ciertos patrones sinópticos la que conlleva a anomalías térmicas positivas en superficie, afectando a amplias zonas y durante prolongados periodos temporales (Kysely, 2007). Es por esta razón que diversos estudios han analizado y clasificado los tipos sinópticos que causan las anomalías térmicas extremas a través del uso de unos esquemas metodológicos desarrollados tanto desde un punto de vista subjetivo, clasificación día a día, como objetivo, a través de técnicas de análisis multivariable (García-Herrera *et al.*, 2002, 2005; Della-Marta *et al.*, 2007; Kysely y Huth, 2008). Por otra parte, el incremento positivo de la temperatura depende de ciertos procesos atmosféricos inerciales, como la advección de una masa de aire cálida sobre una zona o el calentamiento del aire debido a la subsidencia en determinadas situaciones anticiclónicas. Es por esta razón que la temperatura de un día concreto depende de la historia de la situación sinóptica que la ha inducido. La inclusión de información sobre la evolución de una situación sinóptica puede realizarse mediante la clasificación no sólo de los campos de las variables atmosféricas individuales sino a partir de las secuencias completas de los sucesivos campos a escala horaria o diaria. A este tipo de clasificación sinóptica se le conoce como análisis de patrones de secuencias (Philipp, 2009) y, metodológicamente se justifica como una variante del Análisis de Componentes Principales (PCA) definido con el nombre de Análisis de las Secuencias de los Principales Patrones de Circulación (*Principal Sequence Pattern Analysis*, PSPA: Compagnucci, Araneo y Canziani., 2001; Escobar, Compagnucci y Bishoff., 2004), si bien también se ha utilizado con posterioridad el modo extendido del análisis por conglomerados (Extended Cluster Analysis, ECA: Esteban, 2008; Philipp, 2009).

El objetivo del estudio es clasificar las secuencias de patrones sinópticos asociados al exceso de mortalidad por calor en el área metropolitana de Barcelona. La duración de la secuencia se ha determinado a partir del desfase temporal que existe entre la mortalidad con respecto a la temperatura. Los datos que se han utilizado para la construcción de la secuencia han sido la mortalidad en Barcelona para el grupo de edad por encima de los 65 años (debida a causas orgánicas), y la temperatura máxima referida al Observatorio Fabra (Barcelona), ambas a resolución diaria, para los meses de junio, julio y agosto, y referidas al periodo 1990-2006. El desfase temporal entre ambas variables se ha calculado a partir de una estructura metodológica basada en un análisis de las señales temporales en el dominio del tiempo, concretamente a partir de la función de correlación cruzada. Se han utilizado los residuales obtenidos de la modelización de las series de temperatura y de mortalidad diaria a partir de un modelo ARIMA con el fin de evitar los problemas de estacionalidad y autocorrelación de las variables. El resultado final muestra correlaciones positivas y significativas (un aumento de la temperatura comporta un aumento de la mortalidad) entre los retrasos -3 y 0, indicando que el desencadenante del proceso es casi inmediato una vez iniciado el episodio de calor. De esta manera, la secuencia que se va a utilizar en el análisis vendrá definida por una duración de cuatro días.

Este estudio se estructura como sigue: la descripción de los datos y los métodos utilizados se presentan en el apartado 2; la discusión de los resultados aparece en el apartado 3; finalmente, las principales conclusiones se explican en el apartado 4.

2. DATOS Y MÉTODOS

Para obtener el catálogo de las secuencias de patrones sinópticos asociados al exceso de mortalidad por calor en el área metropolitana de Barcelona se han utilizado las anomalías de presión en superficie (ASLP), de temperatura a 850 hPa (AT850) y de geopotencial a 500 hPa (AZ500), para los meses de junio, julio y agosto, obtenidas del proyecto *20th Century Reanalysis V2* (COMPO *et al.*, 2011), abarcando el periodo 1871-2008 y con una resolución espacial de 2° latitud x 2° longitud. Para la utilización de cada uno de los conjuntos de datos (ASLP, AT850 y AZ500) en la clasificación de secuencias, los días involucrados (cuatro en total) se han concatenado, siendo el último día encadenado el día clave de la secuencia (D). Los días claves de cada secuencia se han determinado a partir de aquellos días que han superado el percentil 95 de la serie de mortalidad diaria de Barcelona. Las matrices iniciales de datos quedan estructuradas con los puntos de grid en las columnas y las secuencias en las filas. El análisis se ha realizado en el dominio 30°-65°N y 25°W-25°E para el período 1990-2006, lapso de tiempo que cubre de forma conjunta las bases de datos a resolución diaria de mortalidad en Barcelona y los mapas de tiempo del proyecto *20th Century Reanalysis*. Finalmente, para evaluar la relación entre los resultados de la clasificación sinóptica y las condiciones térmicas en superficie, se han utilizado, por una parte, los valores de temperatura de 119 estaciones automáticas gestionadas por el Servei Meteorològic de Catalunya, repartidas de forma uniforme por el territorio catalán para el periodo 2000-2011 y, por otra parte, la serie termométrica de la ciudad de Barcelona entre los años 1871 y 2011.

El enfoque metodológico se basa en un análisis multivariable aplicado a las secuencias de días con el propósito de obtener una catalogación de las secuencias de patrones sinópticos. La novedad de la clasificación que se presenta es el análisis integrado de diferentes niveles atmosféricos, necesidad apuntada en estudios anteriores (Martínez *et al.*, 2008; Houssos, Lolis y Bartzokas, 2008) y tal como se ha efectuado en análisis previos para la clasificación sinóptica de días individuales (Arán, Peña y Torà., 2011; Arán, Peña y Pérez-Zanón 2011; Peña *et al.*, 2011), con el fin de entender las principales características dinámicas y termodinámicas que explican los procesos atmosféricos. Para conseguir este objetivo, se desarrolla una metodología articulada en tres etapas: una reducción de las variables a través de la aplicación de un PSPA en modo S; una clasificación a través de un análisis clúster (CA) de tipo no-hierático; y una validación de los resultados mediante el uso de un análisis discriminante (DA). De esta manera, se aplica el PSPA de forma individual a cada uno de los niveles atmosféricos analizados (ASLP, AT850 y AZ500), utilizando la matriz de correlación, el *Scree test* como criterio para determinar el número de factores y una rotación Varimax para satisfacer la condición de ortogonalidad del modelo. Para la clasificación a través del CA se utilizan conjuntamente las tres matrices de puntuaciones resultantes del análisis anterior. El algoritmo usado para la clasificación es el método no-hierático *K-means* con iteraciones. Para resolver el problema que tiene este método para la determinación del número de grupos, se utiliza el *jump method*. Para ello se ha aplicado un algoritmo hierático (Método de Ward) como técnica de aglomeración, donde el coeficiente dado en el proceso de aglomeración es el sumatorio dentro de los clústeres. El número de grupos es determinado detectando la mayor distorsión entre los coeficientes en dos pasos consecutivos. El DA es el tercer y último paso para la validación del modelo y propone una nueva clasificación de los casos dudosos. Se ha utilizado el criterio de lambda de Wilks para obtener las funciones discriminantes (Sioutas y Floucas, 2003). Cada secuencia es asignada a un tipo sinóptico de acuerdo con las puntuaciones obtenidas a partir de las funciones discriminantes, utilizando un proceso de validación cruzada para alcanzar la nueva clasificación.

Con el fin de aprovechar la potencialidad temporal que ofrece el proyecto *20th Century Reanalysis V2*, las secuencias de patrones sinópticos relacionados a la mortalidad por calor en el área metropolitana de Barcelona que finalmente se presentan se han elaborado a partir del siguiente proceso: se ha calculado el coeficiente de correlación (r) entre cada uno de los patrones generales de temperatura al nivel de 850 hPa obtenidos del análisis multivariable para el periodo 1990-2006, y los datos del grid de temperatura a 850 hPa de cada una de las 12696 secuencias de los meses de junio, julio y agosto, extraídos del proyecto *20th Century Reanalysis V2* (periodo 1871-2008). Las composiciones de los patrones sinópticos que se presentan están construidas a partir de aquellos días que tienen una $r > 0.5$, y, además, para potenciar el objeto de estudio (los episodios de calor), de esta primera selección se han elegido los días con una anomalía de temperatura superior a 3°C en la ciudad de Barcelona. De esta manera, se consiguen unos patrones atmosféricos que abarcan el periodo 1871-2008.

3. RESULTADOS

El análisis multivariable da como resultado tres patrones que sintetizan las secuencias de circulación atmosférica relacionadas con el exceso de mortalidad en Barcelona. El total de secuencias involucradas son 432 (un 3% de las 12696 secuencias analizadas). El patrón primero (figura 1) contiene 243 secuencias, el segundo (figura 3) implica 40 secuencias, mientras que el tercero (figura 5) incluye 149 secuencias. Los tres patrones muestran una configuración general común caracterizada por una zona de anomalías negativas sobre el Atlántico, con presencia en los tres niveles atmosféricos analizados y como respuesta de una vaguada en altura y un área de bajas presiones en superficie en dicha zona. La configuración favorece una advección de aire cálido sobre Europa, la intensidad de la cual varía según la magnitud y la ubicación de la zona depresionaria. De esta manera, sobre gran parte de la Europa Occidental se observan anomalías positivas tanto de temperatura como de presión y altura geopotencial, manifestando la presencia de una dorsal anticiclónica en altura. A continuación se detallan las características de cada uno de los patrones.

El primer patrón (figura 1), si bien muestra una distribución bastante equilibrada durante los tres meses de verano, es más frecuente durante el mes de agosto. Viene definido por una secuencia donde la depresión atlántica en un principio se encuentra ubicada a la latitud de las Islas Británicas con un desplazamiento hacia el sudeste en el transcurso de los días, produciendo una advección cálida del sudoeste sobre Europa Occidental. La dorsal anticiclónica (figura 1c) se localiza sobre el Mediterráneo con una marcada inclinación y una dirección sudoeste a nordeste. Las anomalías de temperatura al nivel de 850 hPa (figura 1 a) son importantes sobre el Mediterráneo, con unos valores máximos durante los dos días precedentes a D. El levante español es la zona más afectada de la Península Ibérica con una anomalía de temperatura del orden de +3 °C durante toda la secuencia y de +4 °C en D-2 al norte de Cataluña. Dada esta configuración general, al patrón se le ha denominado Tipo Mediterráneo.

Las anomalías de temperatura máxima en superficie sobre Catalunya asociadas al patrón sinóptico (figura 1d) tienen una distribución espacial con una afectación extrema al norte del territorio, mostrando la secuencia de temperatura una evolución en consonancia al progreso de la secuencia sinóptica. Al patrón de anomalías de temperatura máxima en Cataluña se le ha asignado el nombre de Tipo Norte. Las anomalías medias de temperatura máxima en el Observatorio Fabra, ubicado en la ciudad de Barcelona, muestran un rango de variación entre los +4.2 °C en D-2 y +3.3 en D.

La distribución temporal de la frecuencia de este patrón para el periodo 1871-2008 (figura 2) señala tres clústeres temporales donde este tipo sinóptico es más frecuente. El primero entre los años 1871 y 1890, siendo los años 1873 y 1877 cuando se concentraron un mayor número de situaciones sinópticas relacionadas con este patrón sinóptico. El segundo clúster aparece entre los años 1946 y 1967, mientras que el tercer agrupamiento abarcaría los años 1986 a 2008. De esta manera, el Tipo Mediterráneo no muestra una tendencia significativa (se ha utilizado el Test de Mann-Kendall para evaluar la significación estadística).

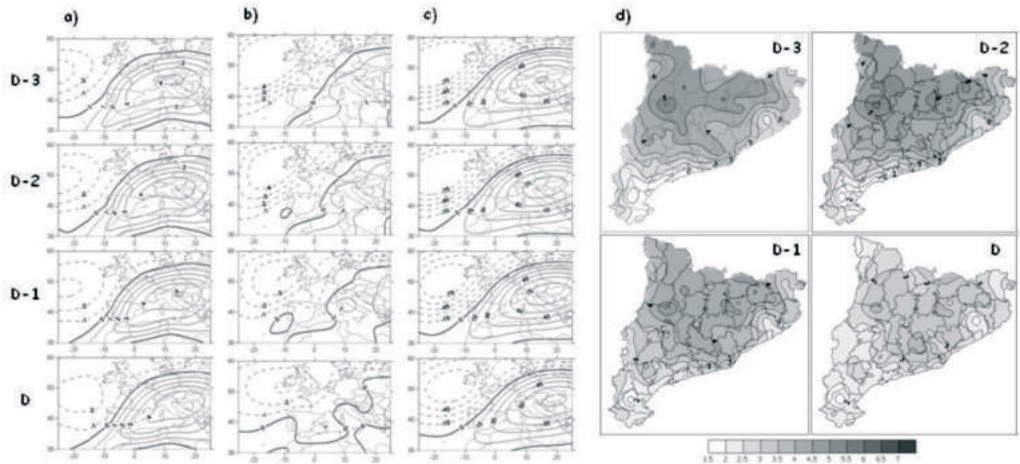


FIG. 1: Análisis sinóptico de los patrones de secuencias: TIPO MEDITERRÁNEO. a) Anomalías de temperatura al nivel geopotencial de 850 hPa (en °C), b) anomalías de presión en superficie (en hPa) y c) anomalías de geopotencial al nivel de 500 hPa (en metros), para el día clave de la secuencia (D) y los tres días anteriores. d) Patrón de temperatura máxima en Cataluña: TIPO NORTE. Anomalías de temperatura máxima (en °C) para D y los tres días anteriores.

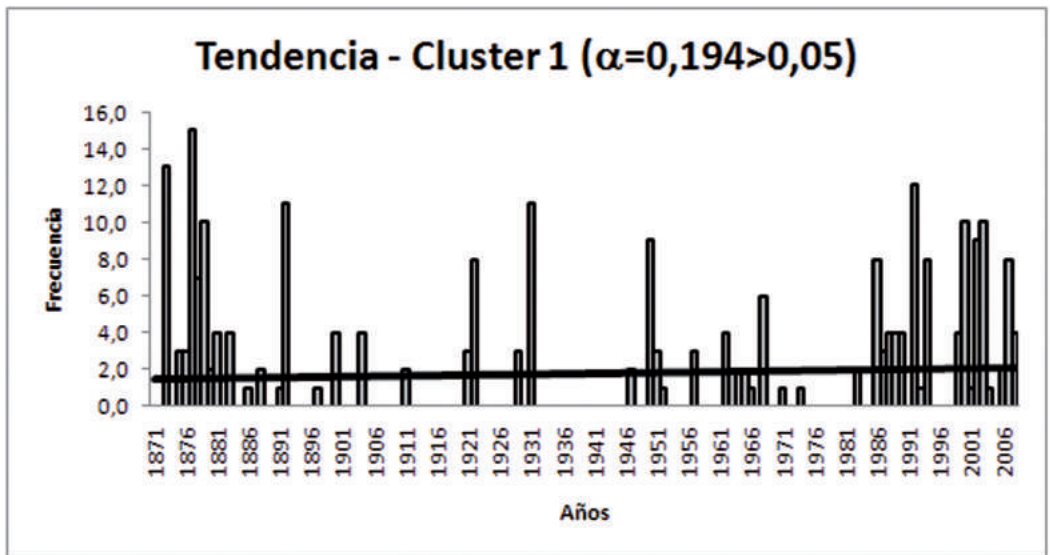


FIG. 2: Distribución temporal y análisis de la tendencia (test de Mann-Kendall) del primer patrón: Tipo Mediterráneo.

El segundo patrón (figura 3) es más frecuente durante el mes de junio y viene caracterizado por una advección más meridional. La baja atlántica aparece más desdibujada al principio de la secuencia, pero va reforzándose a medida que pasan los días, advectando aire cálido del sur sobre Europa Central. En D-3 aparece una zona de altas presiones en altura perfectamente conformada en la vertical de Francia que se va disipando en el transcurso de los días en consonancia a la intensificación de la depresión en el Atlántico (figura 4c). Las anomalías de temperatura a 850 hPa (figura 4a) se encuentran ubicadas sobre la Península Ibérica, con un movimiento hacia el oeste y una progresiva

pérdida de intensidad en el transcurso de los días. El norte de la Península Ibérica es la zona más afectada por este tipo sinóptico con anomalías por encima de los $+4^{\circ}\text{C}$ en D-2 y D-1 al noroeste de Cataluña. Teniendo en cuenta la configuración general del patrón se le ha dado el nombre de Tipo Ibérico.

Las anomalías en superficie de temperatura máxima en Catalunya (figura 4d) asociadas al patrón sinóptico tienen una distribución espacial con una afectación máxima al noroeste del territorio. Por esta razón, a este modelo de anomalías de temperatura máxima en superficie se le ha asignado el nombre de Tipo Noroeste. Las anomalías medias de temperatura máxima en el Observatorio Fabra muestran unos valores con un rango de variación entre $+5.0^{\circ}\text{C}$ en D-1 y $+2.7$ en D.

La distribución temporal del patrón (figura 4) en el periodo 1871-2008 muestra que era una situación extraña antes de la década de los 70's del siglo pasado, si bien los años 1884 y 1941 señalan frecuencias elevadas. La mayor acumulación de situaciones relacionadas a este patrón se produce durante los primeros años del s. XXI, siendo el año 2001 cuando su número es más elevado. De esta manera, el test de Mann-Kendall da como resultado una tendencia positiva estadísticamente significativa ($a=0,022 < 0,05$).

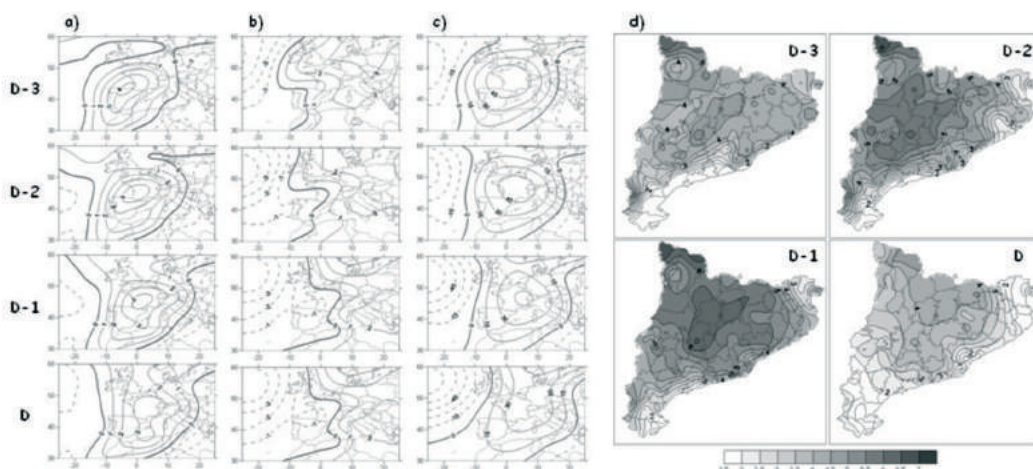


FIG. 3: Análisis sinóptico de los patrones de secuencias: TIPO IBÉRICO. a), b) y c) igual que figura 2. d) Patrón de temperatura máxima en Cataluña: TIPO NOROESTE. Interpretación de unidades y escala de colores igual a la figura 2.

La configuración general del tercer patrón (figura 5) muestra una disposición más zonal de los centros de acción, con la baja atlántica ubicada al oeste de la Península Ibérica, advectando aire cálido del sur y una ubicación de las altas presiones sobre el continente europeo (figura 5c). Si bien la distribución de frecuencia muestra el mes de julio como el más repetido, fue en el agosto del 2003 cuando este patrón adquirió una mayor intensidad. Las anomalías de temperatura a 850 hPa (figura 5a) son muy intensas sobre centro Europa, llegando a afectar la mitad septentrional de la Península Ibérica. Es una situación muy persistente sin apenas cambios de los centros de acción a lo largo de la secuencia, si bien se observa un leve desplazamiento hacia el oeste. Dada la configuración sinóptica a este patrón se le ha denominado Tipo Europeo.

Las anomalías en superficie de temperatura máxima en Catalunya (figura 5d) tienen una distribución espacial con una afectación máxima al nordeste del territorio, es por esta razón, que al patrón de anomalías de temperatura máxima se le ha asignado el nombre de Tipo Nordeste. Las anomalías medias de temperatura máxima en el Observatorio Fabra muestran un rango de variación entre los $+5.3^{\circ}\text{C}$ en D-1 y D, y $+5.0^{\circ}\text{C}$ en D-3, indicando la persistencia de la secuencia sinóptica.

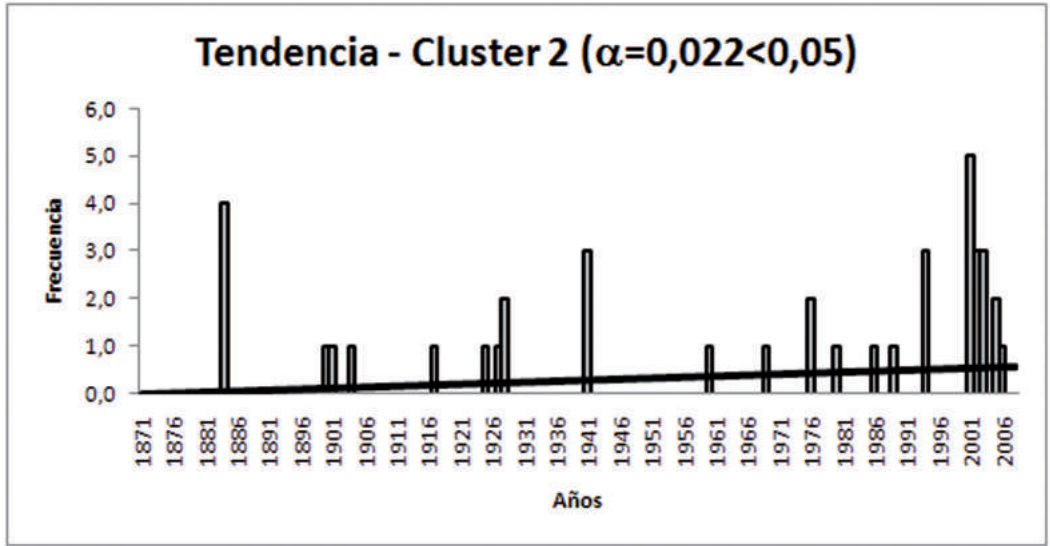


FIG. 4: Distribución temporal y análisis de la tendencia (test de Mann-Kendall) del segundo patrón: Tipo Ibérico.

La distribución temporal del patrón sinóptico (figura 6) indica que es bastante uniforme durante el periodo 1871-2008, si bien es a partir del año 1987 cuando las frecuencias anuales son más notables, especialmente durante el año 2003. El test de Mann-Kendall no muestra tendencia significativa.

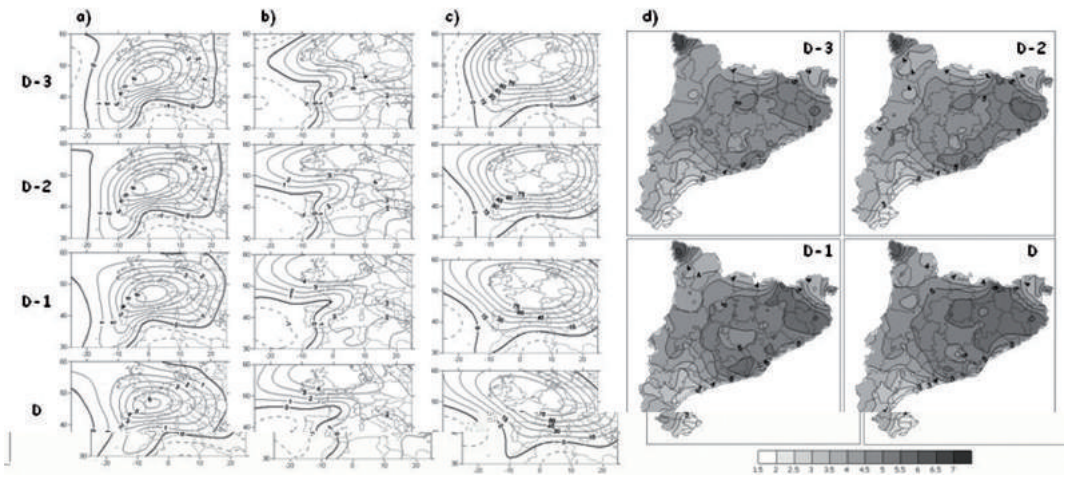


FIG. 5: Análisis sinóptico de los patrones de secuencias: TIPO EUROPEO. a), b) y c) igual que figuras 2 y 3. d) Patrón de temperatura máxima en Cataluña: TIPO NORDESTE. Interpretación de unidades y escala de colores igual a la figura 2 y 3.

4. CONCLUSIONES

El uso de una metodología basada en un análisis multivariable con el objetivo de obtener un catálogo de las secuencias de patrones sinópticos, aplicada a una sucesión de cuatro días y a tres niveles atmosféricos diferentes integrados en el mismo análisis, ha dado como resultado tres tipos de

circulación atmosférica que explican el exceso de mortalidad por calor en el área metropolitana de Barcelona. Los patrones muestran una configuración general caracterizada por una zona de anomalías negativas sobre el Atlántico favoreciendo una advección de aire cálido sobre Europa, y anomalías positivas en la Europa Occidental, tanto de altura geopotencial como de temperatura en los niveles medios y bajos de la troposfera, manifestando la presencia de una dorsal anticiclónica en altura, siendo el carácter distintivo entre los patrones la ubicación e intensidad de los centros de acción.

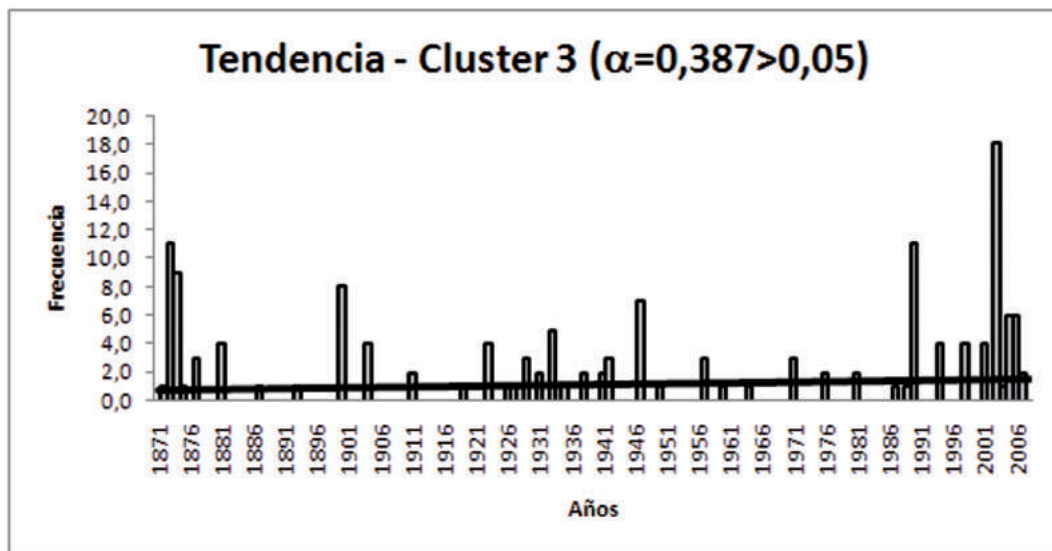


FIG. 6: Distribución temporal y análisis de la tendencia (test de Mann-Kendall) del tercer patrón: Tipo Europeo.

Para acabar, es importante señalar el influjo mesoescalar que supone la elección de la mortalidad registrada en la ciudad de Barcelona como variable para determinar las secuencias objeto de estudio. La distribución de las anomalías de temperatura máxima en superficie para Cataluña relacionada a cada uno de los patrones sinópticos, muestra que éstos sólo explican de forma satisfactoria la mitad norte del territorio catalán, y en ningún caso aparece un tipo que explique la mitad meridional. Por esta razón, resulta necesario para abarcar la totalidad del territorio, aplicar la misma metodología para distintas ciudades catalanas, especialmente del sur, para contemplar la totalidad de la casuística sinóptica que explica el exceso de mortalidad por calor en Cataluña.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco del Grupo de Climatología de la Universidad de Barcelona (2009 SGR 443 GRUP DE CLIMATOLOGIA). Nuestro agradecimiento al *Servei Meteorològic de Catalunya* por la cesión de los datos termométricos de las estaciones automáticas y de la serie de temperatura de la ciudad de Barcelona para el periodo 1780-2011. Los autores también agradecen al *Servei d'Informació i Estudis del Departament de Salut de la Generalitat de Catalunya* por los datos de mortalidad de la ciudad de Barcelona y al *National Oceanic and Atmospheric Administration Climate Program Office* por la provisión de los datos del *Twentieth Century Reanalysis Project*.

REFERENCIAS

Alberdi, J.C. *et al.* (1998). "Daily mortality in Madrid community 1986–1992: Relationship with meteorological variables". *European Journal of Epidemiology*, 14 (6), pp. 571-578.

- Analitis, A. *et al.* (2008). "Effects of cold weather on mortality: results from 15 European cities within the PHEWE project". *American Journal of Epidemiology*, 168, pp. 1397-1408.
- Aran, M.; Peña, J.C. y Torà, M. (2011). "Atmospheric circulation patterns associated with hail events in Lleida (Catalonia)". *Atmos. Res.*, 100, pp. 428-438.
- Aran, M.; Peña, J.C. y Pérez-Zanón, N. (2011). "Atmospheric circulation pattern sequences producing torrential intensities in the Catalan coastal area, Spain". *6th European Conference on Severe Storms (ECSS 2011)*, 3 - 7 October 2011, Palma de Mallorca, Balearic Islands, Spain.
- Baccini, M. *et al.* (2008). "Heat effects on mortality in 15 European cities". *Epidemiology*, 19, pp. 711-719.
- Ballester, F. *et al.* (1997). "Mortality as a function of temperature. A study in Valencia, Spain, 1991-1993". *Int. J. Epidemiol.*, 26 (3), pp. 551-561.
- Compagnucci, R.H.; Araneo, D. y Canziani, P.O. (2001). "Principal sequence pattern analysis: a new approach to classifying the evolution of atmospheric systems". *Int. J. Climatol.*, 21, pp. 197-217.
- Compo, G.P. *et al.* (2011). "The Twentieth Century Reanalysis Project". *Quarterly J. Roy. Meteorol. Soc.*, 137, pp. 1-28.
- Della-Marta, P.M. *et al.* (2007). "Summer heat waves over Western Europe 1880-2003, their relationship to large-scale forcings and predictability". *Clim. Dyn.*, 29, pp. 251-275.
- Escobar, G.; Compagnucci, R.H. y Bishoff, S. (2004). "Sequences patterns of 1000 hPa and 500 hPa geopotential height fields associated with cold surges over Central Argentina". *Atmósfera*, 17 (2), pp. 69-89.
- Esteban, P. (2008). *Circulation pattern sequences applied to forest fires and avalanches over the Pyrenees*. Scientific report from STSM-COST733. 19 p.
- García-Herrera, R. *et al.* (2002). "Synoptic conditions leading to extremely high temperatures in Madrid". *Annales Geophysicae*, 20 (2), pp. 237-245.
- García-Herrera, R. *et al.* (2005). "Extreme summer temperatures in Iberia: health impacts and associated synoptic conditions". *Annales Geophysicae*, 23 (2), pp. 239-251.
- Houssos, E.E.; Lolis, C.J. y Bartzokas, A. (2008). "Atmospheric circulation patterns associated with extreme precipitation amounts in Greece". *Adv. Geosci.*, 6, pp. 5-11.
- Kuglitsch, F. G. *et al.* (2010). "Heat wave changes in the eastern Mediterranean since 1960". *Geophysical Researches Letters*, 37. DOI: 10.1029/2009GL041841, 5 pp.
- Kysely, J. (2007). "Implications of enhanced persistence of atmospheric circulation for the occurrence and severity of temperature extremes". *Int. J. Climatol.*, 27, pp. 689-695.
- Kysely, J. y Huth, R. (2008). "Relationships of surface air temperature anomalies over Europe to persistence of Atmospheric Circulation patterns conducive to heat waves". *Adv. Geosci.*, 14, pp. 243-249.
- Martínez, C. *et al.* (2008). "Heavy rain events in the Western Mediterranean: an atmospheric pattern classification". *Adv. Sci. Res.*, 2, pp. 61-64.
- Peña, J.C. y Raso, J.M. (2008). Sectorización territorial de los avisos de calor emitidos por el Servei Meteorològic de Catalunya. Aplicación de un análisis en componentes principales a la temperatura máxima diaria. En Sigró, J.; Brunet, M. y Aguilar, E. (Eds). *Cambio Climático Regional y sus Impactos*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, Serie A, nº 6: 401-412.
- Peña, J.C. *et al.* (2011). "Atmospheric circulation patterns associated with strong wind events in Catalonia". *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, pp. 145-155.
- Philipp, A. (2009). "Comparison of principal component and cluster analysis for classifying circulation pattern sequences for the European domain". *Theor. Appl. Climatol.*, 96, pp. 31-41.
- Sáez, M. *et al.* (2000). "Ischaemic heart disease mortality and weather temperature in Barcelona, Spain". *Eur. J. Public Health*, 10 (1), pp. 58-63.
- Sheridan, S. C. y Kalkstein, L. S. (2004). "Progress in heat watch-warning system technology". *Bull. Amer. Met. Soc.* 85, pp. 1931-1941.
- Sioutas, M.V. y Floucas, H.A. (2003). "Hailstorms in Northern Greece: synoptic patterns and thermodynamic environment". *Theor. Appl. Climatol.*, 75, pp. 189-202.
- Zanobetti, A. y Schwartz, J. (2008). "Temperature and mortality in nine US cities". *Epidemiology*, 19, pp. 563-570.

Enlace base de datos:

Twentieth Century Reanalysis Project

http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.20thC_ReanV2.html

