

**XXXIV Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica
Española (Teruel, 29 febrero – 2 marzo 2016)**
ISBN 978-84-617-5240-9

**Determinación de umbrales de definición de ola de calor e
impacto sobre la mortalidad en España.**

Julio Díaz ⁽¹⁾, Rocío Carmona⁽²⁾, Isidro J Mirón⁽³⁾, Cristina Ortiz⁽⁴⁾, Yolanda Luna⁽⁵⁾, Cristina Linares⁽⁶⁾.

⁽¹⁾ Escuela Nacional de Sanidad. Instituto de Salud Carlos III. Madrid. j.diaz@isciii.es

⁽²⁾ Escuela Nacional de Sanidad. Instituto de Salud Carlos III. Madrid. rocio.carmona@isciii.es

⁽³⁾ Distrito de Salud Pública de Torrijos. Toledo. ijmiron@jccm.es

⁽⁴⁾ Escuela Nacional de Sanidad. Instituto de Salud Carlos III. Madrid. cortizb@isciii.es

⁽⁵⁾ Agencia Estatal de Meteorología. Madrid. mlunar@aemet.es

⁽⁶⁾ Escuela Nacional de Sanidad. Instituto de Salud Carlos III. Madrid. clinares@isciii.es

RESUMEN

Introducción: La ola de calor del año 2003 que se produjo en Europa dejó un exceso de mortalidad de 70.000 personas (Robine et al 2008) de las que más de 6.500 se produjeron en España (Martínez et al 2004). Esta evidencia del efecto que las temperaturas extremadamente elevadas tienen sobre la salud de la población llevó a las autoridades sanitarias europeas a diseñar y articular Planes de Prevención ante olas de calor con el fin de minimizar los efectos que las altas temperaturas tienen sobre la morbi-mortalidad. Obviamente, es fundamental conocer la temperatura a partir de la cual es necesario activar el Plan. O dicho de otra manera, hay que definir lo que se denomina ola de calor desde el punto de vista de sus efectos en salud y de aquí surge el primer problema puesto que no existe una definición común de ola de calor (Montero et al, 2013). Algunos autores utilizan una definición estrictamente climatológica, i.e. cuando la temperatura máxima diaria supera el percentil 95 de las series de temperaturas máximas diarias de los meses de verano (Montero et al, 2010), que fue la que se utilizó en primer lugar debido a la falta de estudios sobre el efecto del calor sobre la mortalidad. Investigaciones posteriores indican, no obstante, que intervienen multitud de parámetros como factores socioeconómicos y demográficos que hacen que la mortalidad comience a aumentar a temperaturas que en algunos casos pueden estar por encima o por debajo del percentil 95 (criterios epidemiológicos). En España, el Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad (MSSSI) se ha replanteado la idoneidad del Plan Nacional de Actuaciones Preventivas de los Efectos del Exceso de Temperaturas sobre la Salud (PNAP) que estaba vigente, basado en umbrales con criterios climatológicos, puesto que en algunos casos no se asociaba con una disminución deseable de la mortalidad (Culqui et al 2014, Linares et al 2015) y, por otro, se observaban incrementos de mortalidad asociados al calor sin que el Plan se hubiera activado (Montero et al 2010), lo que lo hacía poco fiable. Además los riesgos relativos (RR) asociados presentaban un comportamiento poco homogéneo (Tobías et al 2012).

Las evidencias anteriormente resaltadas pensamos que justifican la elección de un criterio epidemiológico para la definición de la temperatura de disparo de definición de ola de calor y, por tanto, es necesario determinar esa temperatura para cada lugar. Sin duda la temperatura umbral así determinada será consecuencia de las características sociales, económicas y demográficas de una sociedad concreta. De esta manera se tendrá la seguridad que la implementación de planes de prevención basados en la superación de los umbrales así determinados redundarán en una disminución de los impactos de las altas temperaturas sobre la salud de la población.

En este documento se determinarán, para cada una de las capitales de provincia de España, cuáles son estas temperaturas de disparo basadas en series temporales de mortalidad y temperaturas, tanto máximas como mínimas diarias, actualizadas, y cuál es el riesgo relativo y atribuible a los excesos de temperatura. Es de destacar que las temperaturas que aquí se exponen han servido de base al «Plan Nacional de Actuaciones Preventivas de los Efectos del Exceso de Temperaturas sobre la Salud» (PNAP) (MSSSI, 2014) vigente en la actualidad.

Metodología:

Como variable dependiente se han utilizado los datos de mortalidad diaria por causas naturales (u orgánicas) (CIE 10: A00-R99) desde el 01-01-2000 al 31-12-2009 ocurridas en cada una de las 52 capitales de provincia de España y en los Municipios de más de 10.000 habitantes. Los datos de mortalidad diaria se obtuvieron del Protocolo de cesión de ficheros finales de microdatos de defunciones, según la causa de muerte, del Instituto Nacional de Estadística, al Instituto de Salud Carlos III del Ministerio de Economía y Competitividad para el desarrollo del proyecto «Estudio de la mortalidad atribuible a gripe en España».

Los datos de temperatura máxima y mínima diaria para ese periodo corresponden al Observatorio Meteorológico ubicado en cada una de las capitales de provincia y han sido proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

Siguiendo la metodología comúnmente utilizada (Mirón et al. 2015) para la determinación de la temperatura umbral de definición de ola de calor se ha calculado en primer lugar el modelo ARIMA univariado (Box GE et al. 1994) para la mortalidad diaria de cada una de las 52 capitales de provincia, lo que permite obtener los residuos de las series de mortalidad. El hecho de trabajar con residuos en vez de con la mortalidad diaria presenta la ventaja de que éstos, tras la modelización, no presentan tendencia ni periodicidades que sí son inherentes a la mortalidad diaria y, por tanto, las asociaciones que se encuentren presentarán una auténtica relación mortalidad-temperatura causal desde el punto de vista estadístico ($p < 0,05$).

El valor medio de los residuos de este modelo (eje de ordenadas) para cada temperatura máxima diaria a intervalos de 2 °C (eje de abscisas) se representa en un diagrama de dispersión junto con sus correspondientes intervalos de confianza (IC) al 95% (Límites superior e inferior del IC: LS, LI, respectivamente), incluyendo además el IC al 95% de la media de los residuos para todo el periodo de estudio (representado por las líneas paralelas y discontinuas) como se muestra en la figura 1, en la que, a modo de ejemplo, se muestra la temperatura de disparo correspondiente a Madrid.

En esta figura puede observarse que, a partir de una temperatura máxima diaria de 34 °C, la anomalía de los residuos, con su IC, no toca al IC de la media de los residuos para todo el periodo que, obviamente, aparece centrada en el cero. Por tanto, puede decirse que a partir de 34 °C de temperatura máxima diaria comienza a aumentar la mortalidad por ola de calor de forma estadísticamente significativa. Esta temperatura coincide con el percentil 82 de la serie de temperaturas máximas diarias de los meses de verano (junio-septiembre) en el periodo considerado.

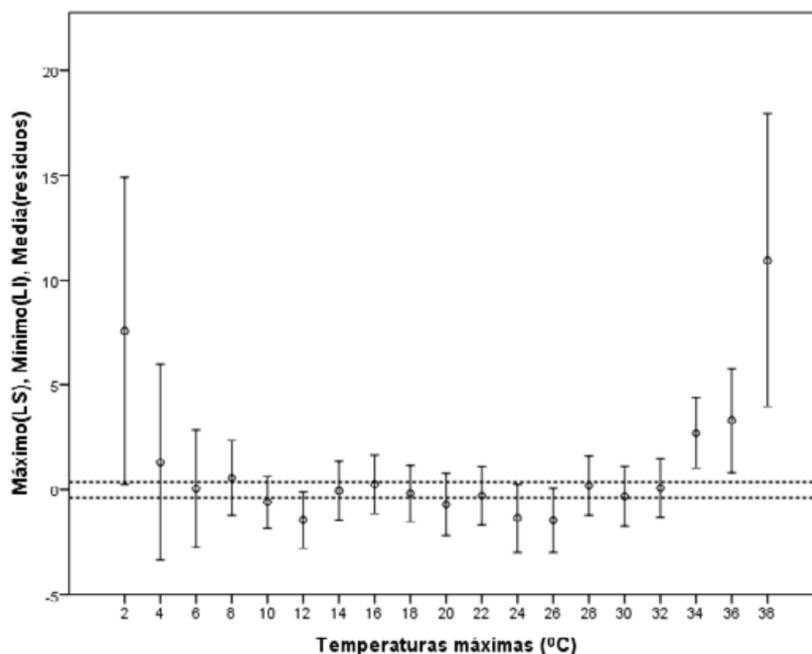


Figura 1. Diagrama de dispersión de la temperatura máxima diaria y los residuos de mortalidad, para la definición de la temperatura de disparo por calor en Madrid

Si se repite este proceso para cada una de las 52 capitales de provincia de España, excepto para Palencia, de la que no se disponen datos meteorológicos, se obtienen las figuras 2 y 3 para el caso de la temperatura máxima diaria y sus correspondientes percentiles de la series de temperaturas máximas diarias de los meses de verano.

Para cuantificar el impacto de las altas temperaturas sobre la mortalidad se ha utilizado metodología de modelos lineales generalizados, considerando como link regresión de Poisson, controlando por tendencia, autocorrelaciones y estacionalidades de las series, obteniendo los Riesgos Relativos (RRs) y atribuibles (RAs) asociados. Para ello, se definieron previamente las variables que tienen en cuenta el efecto de una ola de calor (Tcal) (1), en base a las temperaturas máximas diarias (Tmax) y las temperaturas umbrales (Tumbral):

$$\begin{aligned} Tcal &= 0 && \text{si } Tmax < Tumbral \quad (1) \\ Tcal &= Tmax - Tumbral && \text{si } Tmax \geq Tumbral \end{aligned}$$

Los RR de cada capital de provincia se combinaron mediante meta-análisis de efectos aleatorios obteniendo una medida del RR (IC 95%) a nivel de CCAA y de toda España.

Resultados y discusión: Aunque al igual que existe una temperatura máxima diaria de disparo de la mortalidad por calor, también se encuentra una relación entre la mortalidad y la temperatura mínima diaria. Nuestros estudios muestran que la asociación de la mortalidad atribuible al calor con la temperatura máxima diaria es más robusta que la que se obtiene cuando se utiliza como indicador la temperatura mínima diaria. Una temperatura mínima diaria puede producir “discomfort”, pero difícilmente puede producir un golpe de calor capaz de causar mortalidad. Si se calculan las temperaturas máximas diarias a partir de las cuáles se produce un incremento de la mortalidad diaria para cada una de las capitales de provincia españolas, éstas varían de una capital de provincia a otra, oscilando entre 26°C de A Coruña y 40°C en Córdoba, Sevilla y Málaga. Factores de aclimatación a la temperatura, y factores socioeconómicos y demográficos (el efecto del calor es mayor en el grupo de mayores de 65 años, y éste varía de unos lugares a otros) pueden explicar las diferencias observadas.

Ceuta y Melilla no presentan temperatura de disparo debido a la baja mortalidad. (Fig. 2)

Los percentiles de las series de temperaturas máximas diarias de los meses de verano oscilaron entre el percentil 82 de Madrid y el percentil 99 de Málaga. En 19 capitales de provincia estos percentiles son iguales o superiores incluso al del 95 %, que como norma general se ha estado utilizando en el PNAP. (Fig. 3), lo que justifica la utilización de un criterio epidemiológico y no climatológico para la activación de estos Planes de Prevención.

El RR osciló entre la no detección estadística de efecto del calor sobre la mortalidad en Teruel y Soria y el 1,27 (1,21 – 1,32) de Cáceres. A nivel de CCAA, la que mayor RR muestra es Navarra 1,19 (1,13 – 1,25) y la de menor, Murcia 1,03 (1,00-1,06). El RR de toda España es del 1,11 (1,10 – 1,12). (Fig. 4). Los RR asociados a percentiles bajos son menores que los asociados a percentiles altos.

Para explicar el concepto de RR es más comprensible hacerlo a través del riesgo atribuible AR definido como $AR = 100 \times (RR - 1) / RR$. Así por ejemplo, al RR del 1,11 para toda España atribuido al calor le corresponde un AR del 9,9% y esto quiere decir que cada día en que hay una ola de calor en cualquier capital de provincia española, la mortalidad en esa capital de provincia donde se produce la ola de calor aumenta un 9,9% por cada grado en que la temperatura máxima diaria supera el umbral de definición de ola de calor. Ese incremento de mortalidad se produce en relación a los días a los que no hay ola de calor.

Además del cálculo de los RR y los AR, el proceso de modelización utilizado también permite determinar cuándo se produce la mortalidad en relación al calor. En general el efecto del calor oscila entre los retrasos 0-4. Es decir, después de una ola de calor el incremento de la mortalidad diaria se produce el mismo día (retraso 0) y puede prologar sus efectos hasta 4 días después. En general la mortalidad por patologías cardiovasculares asociadas al calor como pueden ser accidentes cerebrovasculares, infartos, etc suelen ser a corto plazo, mientras que la mortalidad por patologías relacionadas con empeoramientos de procesos respiratorios suelen darse unos días después del “pico” de temperatura. En cuanto a los grupos de edad más susceptibles a los efectos del calor en general son los mayores de 65 años, si bien se está detectando un aumento de los efectos del calor en el grupo de 45-64 años (Carmona et al 2016),

El efecto del calor, de forma general para las capitales de provincia, es superior para la mortalidad por causas respiratorias que por circulatorias, siendo estas diferencias estadísticamente significativas para el conjunto de toda España. El RR para España por causas circulatorias es 1,11 (1,09-1,13) y para respiratorias 1,18 (1,16-1,21).

En el proceso de modelización anterior se ha tenido en cuenta el efecto de otras variables relacionadas con la ola de calor, como son su duración y el número de días que dura. Los resultados indican que a mayor duración de la ola de calor mayor es su efecto sobre la mortalidad (Díaz et al 2002). En cuanto al número de orden de la ola se obtiene que el efecto sobre la mortalidad diaria es mayor en las primeras olas del año y éste va disminuyendo a medida que las olas de calor se suceden a lo largo del año. Procesos de aclimatación y el denominado “efecto siega” (en las primeras olas hay más susceptibles que fallecen) podrían explicar este comportamiento.

Conclusiones y recomendaciones: Los resultados obtenidos en este estudio vienen a confirmar que, desde el punto de vista de los efectos en salud de las temperaturas extremadamente elevadas, es necesaria la determinación de la temperatura de disparo de la mortalidad para cada región en vez de utilizar criterios meramente climatológicos basados en percentiles de las series de temperaturas. Aun así, la división provincial utilizada es meramente administrativa, por lo que la determinación de umbrales epidemiológicos basados en zonas climáticamente homogéneas a nivel comarcal sería aconsejable.

Por otro lado hay que matizar que los resultados aquí mostrados corresponden a un periodo temporal determinado. Probablemente la progresiva adaptación a temperaturas más elevadas, la mejora de los servicios sanitarios, el cambio en la pirámide poblacional e incluso la puesta en marcha de los propios Planes de Prevención con la consiguiente “educación” de la población harán que estas temperaturas de disparo cambien con el tiempo y sus efectos sobre la mortalidad también, de hecho en Estados Unidos ya se ha articulado el término “cultura del calor” para tener en cuenta este fenómeno. En España estudios recientes han demostrado que el efecto del calor sobre la mortalidad ha disminuido en las últimas décadas (Carmona et al 2016), lo que corrobora que la concienciación de la población, la puesta a punto de Planes específicos de Prevención, la adecuación de las infraestructuras y la mejora de los servicios sanitarios son armas que dan resultados ante las olas de calor. Estos procesos de adaptación son de suma importancia en un horizonte de cambio climático en el que las olas de calor serán cada vez más frecuentes y más intensas (IPCC, 2013).

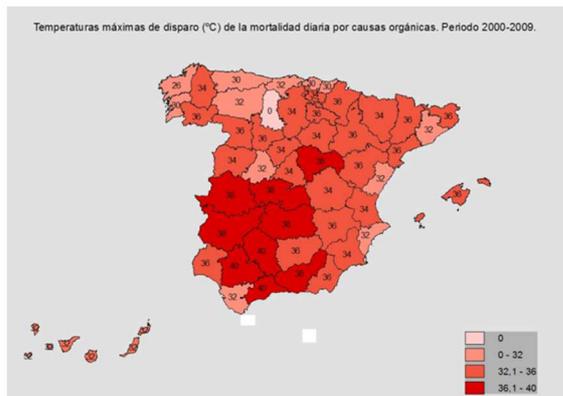


Fig. 2.- Temperaturas máximas de disparo (°C) en España para la mortalidad diaria por calor por causas naturales en el periodo 2000-2009.

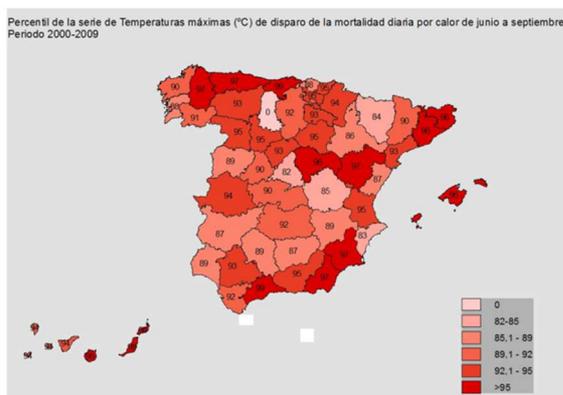


Fig. 3.- Percentiles de las series de temperaturas máximas diarias de los meses de verano asociados a la mortalidad por causas naturales por calor en el periodo 2000-2009.

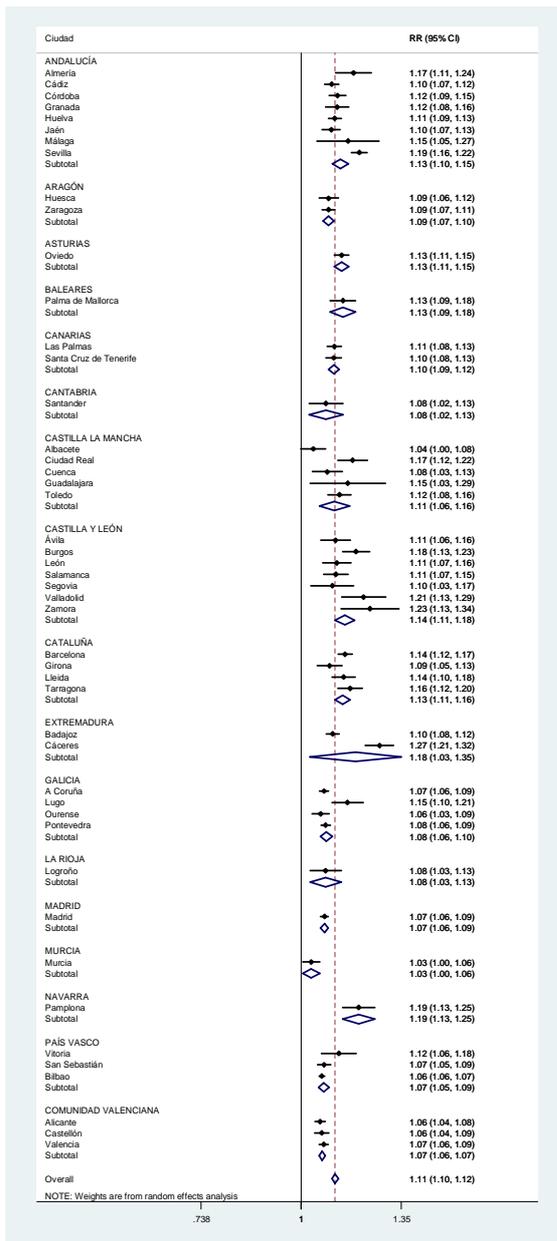


Fig. 4.- Riesgos relativos (RR), con su intervalo de confianza al 95% entre paréntesis, asociados a incrementos de 1°C de la temperatura máxima diaria sobre la temperatura de disparo asociada al calor debido a mortalidad por causas naturales (Tumbral) tanto para capitales de provincia como por Comunidades Autónomas y para el conjunto de toda España. La línea discontinua roja representa el RRmedio para toda España. La línea continua negra representa RR=1.

Referencias:

- Box GE, Jenkins GM, Reinsel C. Time Series Analysis. Forecasting and Control. Prentice Hall, Englewood. 1994.
- Carmona R, Díaz J, Ortiz C, Luna MY, Mirón IJ, Linares C. Mortality attributable to extreme temperatures in Spain: A comparative analysis by city. *Environment International* 2016;91:22-28.
- Culqui, D.R., Díaz, J., Simón, F., Tobías, A., Linares, C., 2014. Evaluation of the plan for surveillance and controlling of the effects of heatwaves in Madrid. *Int. J. Biometeorol.* 58, 1799–1802.
- Díaz J, Jordán A, García R et al. Heat Waves In Madrid 1986-1997: Effects On The Health Of The Elderly. *Int Arch Occup Environ Health.* 2002a; 75: 163-170.
- IPCC 2013 Climate Change (2013) The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change
- Linares, C., Sánchez, R., Montero, J.C., Mirón, I.J., Criado-Álvarez, J.J., Díaz, J., 2015b. Is there a decrease in mortality due to heat waves in Spain? Findings from a multicity case study. *J. Integr. Environ. Sci.* 12, 153–163.
- Martínez F, Simón-Soria F, López-Abente G. Valoración del impacto de la ola de calor del verano de 2003 sobre la mortalidad. *Gac Sanit* 2004;18:250-8.
- Mirón IJ, Montero JC, Criado-Álvarez JJ, Linares C, Díaz J. Time Trends In Cause-Specific Mortality during Heat Waves in Castile-La Mancha: Spain, 1975-2008. *Int J Biometeorol* 2015; 59:1213-1222.
- Montero, J.C., Mirón, I.J., Criado, J.J., Linares, C., Díaz, J., 2013. Difficulties of defining the term “heat wave” in public health. *Int. J. Environ. Health Res.* 5, 377–379.
- Montero, J.C., Mirón, I.J., Criado-Álvarez, J.J., Linares, C., Díaz, J., 2010. Comparison between two methods of defining heat waves: a retrospective study in Castille-La Mancha (Spain). *Sci. Total Environ.* 408, 1544–1550.
- Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. (MSSSI). http://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/planAltasTemp/2014/docs/Plan_Nacional_de_Exceso_de_Temperaturas_2014.pdf. Último acceso: 24 Junio 2015.
- Robine JM, Cheung S, Le Roy S, Van Oyen H, Griffiths C, Michel JP et al. Death Toll Exceeded 70.000 In Europe During The Summer Of 2003. *Comptes Rendus Biologies*, 2008; 331:171-8.
- Tobías, A., Zuza, I., Armstrong, B., Gasparrini, A., Linares, C., Díaz, J., 2012. Mortality on extreme heat days using official thresholds in Spain: a multi-city time series analysis. *BMC Public Health* 12, 133.