

ORIGINAL BREVE**ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LAS OLAS DE CALOR SOBRE LA MORTALIDAD DE LA CIUDAD DE MADRID DURANTE EL PERÍODO 1990-2009****Dante R Culqui (1), Julio Díaz (2), Fernando Simón (3,4) y Cristina Linares (5).**

- (1) Programa de Epidemiología de Campo. Centro Nacional de Epidemiología. Instituto de Salud Carlos III.
- (2) Escuela Nacional de Sanidad. Instituto de Salud Carlos III.
- (3) Centro Nacional de Epidemiología. Centro Nacional de Epidemiología. Instituto de Salud Carlos III.
- (4) CIBER de Epidemiología y Salud Pública (CIBERESP).
- (5) Área de Epidemiología Ambiental y Cáncer. Centro Nacional de Epidemiología. Instituto de Salud Carlos III.

RESUMEN

Fundamentos: Después de la ola de calor del año 2003 muchos países europeos implementaron planes para la vigilancia y control de los efectos de las olas de calor (PVCEOC), sin embargo, son pocos los países que han evaluado su impacto. El objetivo de trabajo es evaluar el impacto del PVCEOC en la mortalidad atribuida al calor.

Método: Para evaluar en la ciudad de Madrid la mortalidad atribuida al calor durante el período 1990-2009 se realizó un análisis de series temporales utilizando modelos ARIMA con una variable exógena, la temperatura. Se analizó el impacto de las altas temperaturas sobre la mortalidad antes y después de 2004, año de la implementación del PVCEOC.

Resultados: El impacto atribuible a la ola de calor en el año 2003 fue del 22,39 % de incremento de mortalidad por cada °C que se superó la temperatura umbral, con una intensidad de 8,2 °C. Algunas olas de calor previas al 2003 fueron superiores en intensidad, así durante los años 1991, 1992 y 1995 la intensidad de las olas de calor fue de 25,9 °C, 8,3 °C y 12,5 °C respectivamente. Las olas de calor posteriores al 2003 presentaron menor intensidad y en 2005 con una ola de calor de 4,5 °C de intensidad se observó un impacto de 45,71% de incremento de la mortalidad por cada °C en que se superó la temperatura umbral.

Conclusiones: Con la metodología utilizada no se puede afirmar que en Madrid la puesta en marcha del PVCEOC se traduzca en una disminución de la mortalidad atribuible a las altas temperaturas.

Palabras clave: Olas de calor. Evaluación. Vigilancia. Mortalidad.

ABSTRACT**Impact of the Effects of Heat Waves on Mortality in the City of Madrid, Spain during the Period 1990-2009**

Background: After the heat wave of 2003, many European countries have implemented plans for monitoring and controlling the effects of heat waves (PMSEHW) to mitigate the effects of heat on health and few countries have assessed their impact. The aim of study was to evaluate the PMSEHW impact in the mortality attributed to heat.

Method: To evaluate the mortality attributed to heat during the period 1990-2009, we conducted a time series analysis using ARIMA models with exogenous variables (temperature). We examined the impact of high temperatures on mortality before and after the year 2004, year of the implementation of PVCEOC.

Results: The impact attributable to the heat wave in 2003 was 22.39% increase in mortality per degree °C, with an intensity of 8.2 °C. Some heat waves prior to 2003 were higher in intensity, so in the years 1991, 1992 and 1995 the intensity of heat waves was 25.9 °C, 8.3 °C and 12.5 °C respectively. Heat waves subsequent to 2003 had lower intensity, and the 2005, with a heat wave intensity of 4.5 °C greater impact was observed, which was 45.71% increase in mortality per degree °C.

Conclusions: Finally, we can not say, that, in the city of Madrid, the implementation of PVCEOC results in a decrease of the mortality attributable to high temperatures.

Keyword: Heat waves. Evaluation. Surveillance. Mortality.

Correspondencia

Dante R Culqui

Programa de Epidemiología de Campo (PEAC)

Instituto de Salud Carlos III.

Av. Sinesio Delgado 5, Madrid CP 28029

danteroger@hotmail.com / dculqui@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El verano del 2003 fue considerado el más caluroso en Europa desde el año 1500. Este hecho produjo un exceso de mortalidad de entre 22.000 a 70.000 personas en Europa^{2,3} y en España un exceso de 3.166 muertes entre junio y agosto del 2003. Por otro lado, las previsiones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) indican que las olas de calor van a ser cada vez más frecuentes y más intensas, por lo que numerosos países europeos, siguiendo las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) han implementado planes de prevención como medida de adaptación ante el cambio climático.

Pese a que algunos de los planes están funcionando desde el año 2004, hay pocas evidencias de la disminución de la mortalidad asociada a las olas de calor tras su puesta en marcha.

El objetivo de este trabajo es evaluar el impacto del Plan para la Vigilancia y Control de los Efectos de las Olas de Calor (PVCEOC) en la mortalidad atribuida al calor.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio ecológico longitudinal de series temporales. Como variable dependiente se utilizó la mortalidad diaria por todas las causas, excluyendo los accidentes, en el Municipio de Madrid durante los meses de verano (junio-septiembre) de los años 1990 a 2009 (CIE X: A00-R99), utilizando como fuente de información las series de mortalidad proporcionadas por el Instituto Nacional de Estadística (INE). Como variable independiente se utilizó la temperatura máxima diaria por ser la que en Madrid presentó una mayor asociación con la mortalidad. Estos datos se registraron en el Observatorio de Madrid-Retiro y se utilizaron como refe-

rencia en estudios previos⁷, siendo suministrados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

Aunque existen dificultades para la definición de lo que se denomina ola de calor en salud pública, la utilizada en este estudio es la que se basa en trabajos epidemiológicos previos realizados para Madrid, que definen la ola de calor como la situación que ocurre durante uno o más días durante los que la temperatura máxima diaria supera la temperatura umbral de disparo de la mortalidad (TUD), determinada en 36,5 °C, a partir de la cual la mortalidad se incrementa abruptamente⁷.

Una ola de calor viene caracterizada por la diferencia entre la temperatura máxima diaria registrada y la temperatura umbral. A esta temperatura se la denomina Tcal.

es decir

$$Tcal = \begin{cases} TM_{\text{Máx}} - TUD & \text{si } TM_{\text{Máx}} > TUD \\ 0 \text{ (cero)} & \text{si } TM_{\text{Máx}} \leq TUD \end{cases}$$

Puesto que una ola de calor puede durar varios días, su intensidad viene dada por la sumatoria de los valores de Tcal durante los días que dura.

La metodología utilizada fue el análisis de series temporales con modelos ARI-MA utilizando como variable exógena la Tcal. Por otro lado estudios previos determinaron que el impacto del calor sobre la mortalidad puede verse retrasado hasta cuatro días, por lo que fue necesario la introducción de las variables retrasadas de Tcal hasta el retraso 4, es decir, la mortalidad atribuida al calor fue considerada hasta el cuarto día tras superarse la TUD

Matemáticamente sería:

$$W_t = \underbrace{\varnothing_1 W_{t-1} + \Theta_1 a_{t-1}}_{\text{componente regular}} + \underbrace{\beta_1 Tcal_t + \beta_2 Tcal_{t-1} + \beta_3 Tcal_{t-2} + \beta_4 Tcal_{t-3} + \beta_5 Tcal_{t-4}}_{\text{Tcal hasta el 5º día}}$$

\varnothing_1 = Componente autoregresivo regular

Θ_1 = Componente Media móvil regular

Los valores de β indican el incremento de la mortalidad (número de muertes/día) por cada grado centígrado que la temperatura máxima diaria supere la temperatura umbral.

Si la implementación del Plan de Prevención en Madrid en el año 2004 tuvo un impacto sobre la disminución de la mortalidad debería producirse una disminución de los valores de β durante el período 2004-2009 frente a los obtenidos en el período 1990-2003. Es decir, en cada año posterior a la implementación del PVEOC y con olas de calor parecidas en duración e intensidad, el % de incremento de la mortalidad por cada grado centígrado debería ser inferior al del 2003.

Los datos se procesaron en Access, SPSS 18.0 y Excell.

RESULTADOS

Durante el periodo analizado se registraron 75 días en los que se superó la temperatura umbral definida previamente en 36,5 °C, agrupados en 32 olas de calor entre 1999 y 2009. El incremento acumulado de temperatura fue de 76,9 °C, lo que representó un incremento medio de 3,8 °C por año.

En el año 2003 en Madrid se observó un incremento de la mortalidad del 22,4% por cada grado centígrado en que se superó la TUD.

Como se puede ver en la tabla 1, durante los años previos al 2003 se observó una

mayor intensidad de las olas de calor y un mayor impacto sobre la mortalidad. En 1991 se llegó a un incremento de la mortalidad del 16,56% por cada °C que superó la TUD, con una intensidad de hasta 25,9 °C, el mayor incremento de temperatura registrado en los 20 años estudiados. La última ola de calor previa al 2003 se registró en el año 1995 (hubo 7 años de intervalo sin olas de calor) con una intensidad de 12,5 °C.

Al analizar los años posteriores a la puesta en marcha del PVEOC se observó que todas las olas de calor posteriores al 2003 presentaron menor intensidad que la registrada en 2003. En el año 2005 se registró un incremento de la mortalidad del 45,7% (IC95%: 33,7-57,8) por cada grado que la temperatura máxima diaria superó la temperatura umbral de 36,5 °C, representando el máximo absoluto de los impactos registrados en el período analizado, pese a que las olas de calor de este año fueron menos intensas que otras ocurridas antes del PVCEOC.

DISCUSIÓN

Aunque la longitud de la serie sólo tiene 20 años y, por tanto, no tiene gran representación climática, del análisis de la tabla 1 no puede decirse que durante el período analizado se haya detectado un incremento en la frecuencia, duración, e intensidad de las olas de calor ocurridas en Madrid.

Por otro lado también es de destacar que en los años 1991 y 1995 se produjeron

Tabla 1
Impacto de las olas de calor en la mortalidad de la ciudad de Madrid
durante el período 1990 a 2009

Año	Total de olas de calor (frecuencia)	Intensidad de la ola de calor en °C	Total de días con olas de calor por año (duración)	% de incremento de mortalidad por °C (IC 95%)
1990	2	1,3	3	33,38 (1,79-64,97)
1991	5	25,9	20	16,56 (11,38-21,29)
1992	5	8,3	9	16,41(14,00-18,82)
1993	0	0	0	...
1994	3	3,1	5	15,15 (1,40-28,91)
1995	2	12,5	7	28,05 (22,62-33,48)
1996	0	0	0	...
1997	0	0	0	...
1998	0	0	0	...
1999	0	0	0	...
2000	0	0	0	...
2001	0	0	0	...
2002	0	0	0	...
2003	3	8,2	8	22,39 (14,33-30,46)
2004	2	6,5	6	17,49 (4,82-30,16)
2005	4	4,5	6	45,71(33,68-57,74)
2006	0	0	0	...
2007	0	0	0	...
2008	0	0	0	...
2009	6	6,6	11	11,21(1,63-20,79)

olas de calor de mayor intensidad que la registrada en Madrid en el año 2003.

Utilizar varios años de comparación, 14 antes de la implementación del PVCEOC y 6 después, permite hablar de cambios de tendencia en el impacto de la mortalidad antes y después del PVCEOC y no en años aislados. Son varios los trabajos en los que el análisis de un solo año han servido para evaluar un plan de prevención. Pensamos que un solo año es insuficiente porque no existen dos olas de calor idénticas en cuanto a intensidad

que permitan hacer la comparación antes y después de la implementación del PVCEOC. Además porque influyen otros factores que hacen que el impacto de las olas de calor sobre la mortalidad sea potencialmente diferente, como la época del año en la que tienen lugar. Se sabe que la primera ola de calor es la que tiene un mayor impacto sobre la mortalidad por tener mayor número de sujetos susceptibles¹⁰. También influye la duración de la ola de calor. En este estudio se observó que durante los períodos 1996-2002 y 2006-2008 no hubo olas de calor, lo que, en térmi-

nos de aclimatamiento, quizás pudo contribuir a que los años posteriores a ambos períodos la población estuviera menos preparada para soportar los incrementos de temperatura, pues ya se ha demostrado que el impacto sobre la salud puede ser aún mayor si la persona no ha tenido un proceso de aclimatación previa a los cambios de temperatura¹⁴. Por último, también influyen factores externos cada verano, como si se han producido o no epidemias de gripe durante el invierno anterior que pueden llevar a modificar el impacto del calor sobre la mortalidad, debido a que las epidemias de gripe alteran la mortalidad de la serie estudiada en los años afectados, lo que podría incrementar el número de muertes proyectadas, influyendo en el cálculo del impacto.

Los resultados obtenidos en relación a la duración, frecuencia e intensidad de las olas de calor no son discordantes con las previsiones del IPCC, las cuales proponen que las olas de calor van a ser cada vez más frecuentes y más intensas² porque estas predicciones están basadas en un mayor número de años analizados y porque utilizan información de diferentes países del mundo y no de una sola ciudad, como es el caso de este trabajo.

La metodología utilizada aborda la evaluación de los planes de prevención de una manera novedosa, al utilizar modelos ARIMA e introduciendo la temperatura (Tcal) como variable exógena que permite cuantificar la mortalidad asociada al calor y no únicamente los excesos de mortalidad, como se ha realizado en otro estudio¹⁵. Los excesos de mortalidad se pueden deber a otros factores concomitantes con el calor, por ejemplo la contaminación atmosférica. Con el método propuesto se calcula únicamente el exceso de mortalidad debido a la temperatura.

Como limitaciones del estudio se puede indicar que no se consideraron otros aspectos que podrían influir en el análisis. Así,

por ejemplo, no se consideró la duración de las olas de calor como otra variable externa¹³, la utilización de aparatos de aire acondicionado en el período analizado¹⁷, la humedad relativa o los contaminantes ambientales que diferentes estudios han relacionado con un efecto sinérgico con las elevadas temperaturas¹⁸. Nuestra investigación ha evaluado si el PVEOC ha tenido un impacto sobre la mortalidad, pero no valora las actividades específicas dentro del Plan o el grado de contribución de cada actividad, por lo que estos aspectos podrían ser objeto de futuras investigaciones.

Del resultado de los modelos ARIMA, que han permitido cuantificar el impacto de las temperaturas extremadamente elevadas sobre la mortalidad, no puede decirse que a partir del año 2003 este impacto haya disminuido significativamente como consecuencia de la implementación del PVCEO. Se puede concluir, por tanto, que la implementación del PVCEO en Madrid no se ha traducido en una disminución de la mortalidad asociada a las altas temperaturas. Será necesario, por tanto, un mayor análisis por parte de las autoridades sanitarias que lleve a articular las medidas correctoras necesarias para que el impacto del PVCEO se refleje en su objetivo primario, esto es la disminución de la mortalidad asociada al calor.

AGRADECIMIENTOS

A Kenedy Alva Chavez, del Consejo Superior de Investigación Científica, y a Juan De Mata Donado Campos, profesor asociado del Departamento de Medicina Preventiva, Salud Pública y Microbiología de la Universidad Autónoma de Madrid, por sus aportes en la presente investigación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Luterbacher J, Dietrich D, Xoplaki E, Grosjean M, Wanner X. European seasonal and annual temperature variability, trends and extremes since 1500. *Science*. 2004; 303:1499-1503.

2. IPCC: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: Cambridge University Press; 2012.
3. World Health Organization. EuroHEAT: Improving public health responses to extreme weather events/heat waves. Summary for policy makers. WHO Regional Office for Europe. Copenhagen, 2009. Copenhagen: WHO;2009.
4. Bassil KL and Cole DC, Effectiveness of public health interventions in reducing morbidity and mortality during heat episodes: A structured review. *Int J Environ Res Pub Health*. 2010; 7: 991-1001.
5. Montero JC, Mirón IJ, Criado-Álvarez JJ, et al. Posibilidades de mejora en los planes de prevención frente al exceso de temperaturas. *Rev Esp Salud Publica* . 2010 Apr [cited 2012 Sep 19]; 84(2): 137-149. Disponible en: [http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272010000200003](http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272010000200003&Ing=en). <http://dx.doi.org/10.1590/S1135-57272010000200003>.
6. Díaz J, Jordán A, García R, López C, Alberdi JC, Hernández E et al. Heat waves in Madrid 1986–1997: effects on the health of the elderly. *Int Arch Occup Environ Health*.2002; 75:163-170.
7. Montero JC, Mirón IJ, Criado JJ, Linares C , Díaz J. Difficulties of defining the term “heat wave” in public health. *Int J Environ Health Research*.2012.1-3.
8. Díaz J, García-Herrera R, Trigo RM, Linares C, Valente MA, De Miguel JM et al, The impact of the summer 2003 heat wave in Iberia: How should we measure it.? *Int J Biometeorol*. 2006; 50:159-66.
9. Montero JC, Mirón IJ, Criado JJ, Linares C, Díaz J. Influence of local factors in the relationship between mortality and heat waves: Castile-La Mancha (1975-2003). *Sci Tot Environ*.2012; 414(0): 73-80.
10. Weisskopf MG, Anderson HA, Foldy S, Hanrahan LP, Blair K, Torok TJ et al. Heat wave morbidity and mortality, Milwaukee, Wis. 1999vs 1995: an improved response?. *Am J Public Health*. 2002; 92: 830-833.
11. Fouillet A, Rey G, Wagner V, Laaidi K et al. Has the impact of heat waves on mortality changed since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. *Int J Epidemiology*. 2008; 37: 309-317
12. Kalkstein LS. Description of our Heat Health Watch-Warning Systems: their nature and extend required resources. cCASH Workshop on Vulnerability to Thermal Stresses, 5-7 may. Freiburg: World Health Organization; 2002.
13. Sáez M, Sunyer J, Castellsague J, Murillo C, Anto JM. Relationship between weather temperature and mortality: a time series analysis approach in Barcelona. *Int J Epidemiol*.1995; 24:576-82.
14. Curriero FC, Heiner KS, Samet JM, Zeger SL, Patz JA. Temperature mortality in 11 cities of the Eastern of the United States. *Am J Epidemiol*. 2002; 155:80-7.
15. Robine J.M., Cheung S., Le Roy S., Van Oyen H., Griffiths C., Michael J.P. et al. Death toll exceeded 70.000 in Europe during the summer of 2003. *C R Biol*. 2008; 331(2):171-178.
16. Sartor F., Snacken R., Demuth C., Walcklers D. Temperature, ambient ozone levels and mortality during summer 1994 in Belgium. *Environ Res*. 1995; 70:105-113.
17. Kaiser R, Rubin CH, Henderson A, et al. Heat-related deaths and mental illness during the 1999 Cincinnati heat wave. *Am J Forensic Med Pathol*. 2001;22:303-7.
18. Linares C, Díaz J. Temperaturas extremadamente elevadas y su impacto sobre la mortalidad diaria según diferentes grupos de edad. *Gac Sanit*. 2008 Abr [citado 2012 Mar 21]; 22(2): 115-119. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0213-91112008000200005&Ing=es.