

Temperaturas extremas y salud en España en un contexto de cambio climático: Algunas líneas de investigación

Extreme Temperatures and Health in Spain in a Context of Climate Change: Some Lines of Research

Temperaturas extremas e saúde em Espanha num contexto de alterações climáticas: Algumas linhas de investigação

Cristina Linares¹, Rocío Carmona¹, Cristina Ortiz¹, Isidro J Mirón², Julio Díaz¹.

¹Departamento de epidemiología y bioestadística. Escuela Nacional de Sanidad. Instituto de Salud Carlos III.

²Distrito de Salud de Torrijos, Consejería de Sanidad de Castilla - La Mancha.

Cita: Linares C, Carmona R, Ortiz C, Mirón I J, Díaz J. Temperaturas extremas y salud en España en un contexto de cambio climático: Algunas líneas de investigación. Rev. salud ambient. 2017; 17(1): 57-69.

Recibido: 13 de febrero de 2017. **Aceptado:** 13 de marzo de 2017. **Publicado:** 15 de junio de 2017.

Autor para correspondencia: Julio Díaz Jiménez.

Correo e: j.diaz@isciii.es

Escuela Nacional de Sanidad. Instituto de Salud Carlos III. Avenida Monforte de Lemos 5. 28029 Madrid.

Financiación: Este grupo no ha contado con ningún tipo de financiación para el desarrollo de su trabajo.

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses que hayan influido en la realización y la preparación de este trabajo.

Declaraciones de autoría: Todos los autores contribuyeron al diseño del estudio y la redacción del artículo. Asimismo, todos los autores aprobaron la versión final.

Resumen

La ola de calor que se produjo en Europa en el verano de 2003 llevó a las autoridades sanitarias a elaborar Planes de prevención para minimizar los impactos que las olas de calor tienen sobre la salud de los ciudadanos. España, basándose en las investigaciones existentes entonces, elaboró un plan de prevención ante altas temperaturas que ha estado vigente hasta 2015, fecha en la que fue actualizado. En este artículo se presenta de forma somera los estudios realizados en nuestro país que llevaron a la actualización de dicho Plan. También se analizan algunos estudios realizados en España en relación a las olas de frío y su mortalidad atribuible; la evolución temporal de los impactos del calor según grupos de edad; la detección de grupos de especial susceptibilidad; la variabilidad geográfica de los efectos en salud de las olas de calor y su aplicabilidad a la mejora de los Planes de Prevención, así como las líneas de investigación futuras en el campo de las temperaturas extremas y su impacto en salud.

Palabras clave: olas de calor; olas de frío; mortalidad diaria; evolución temporal; planes de prevención.

Abstract

The heat wave that occurred in Europe in the summer of 2003 led health authorities to develop Prevention Plans to minimize the impacts of heat waves on citizens' health. Spain developed, based on existing research, a High Temperature Prevention Plan, which was in force until 2015, when it was updated. This paper summarizes studies carried out in our country that led to the updating of this Plan. We also analyze some studies conducted in Spain regarding cold waves and their attributable mortality; the temporal evolution of heat impacts according to age groups; the detection of specially susceptible groups; the geographic variability of the health effects of heat waves and their applicability to the improvement of Prevention Plans; and future lines of research in the field of extreme temperatures and their impact on health.

Keywords: heat waves; cold waves; daily mortality; temporal trend; prevention plans.

Resumo

A onda de calor que ocorreu na Europa no verão de 2003 levou as autoridades de saúde a elaborar Planos de Prevenção, para minimizar os impactos que as ondas de calor têm na saúde dos cidadãos. Espanha baseou-se na investigação existente e elaborou um Plano de Prevenção às altas temperaturas, que esteve em vigor até 2015, data em que foi atualizado. Neste artigo apresenta-se de forma resumida, os estudos realizados no nosso país que levaram à atualização do referido Plano. Também se analisam alguns estudos realizados em Espanha relacionados com as ondas de frio e a mortalidade atribuída; a evolução temporal dos impactos do calor por grupos etários; a deteção de grupos de maior suscetibilidade; a variabilidade geográfica e os efeitos na saúde das ondas de calor e a sua aplicabilidade para melhorar os planos de prevenção, assim como futuras linhas de investigação no campo das temperaturas extremas e o seu impacto na saúde.

Palavras-Chave: ondas de calor; ondas de frio; mortalidade diária; evolução temporal; planos de prevenção.

INTRODUCCIÓN

El efecto que las temperaturas extremas tienen sobre la salud ha sido objeto de investigación desde hace décadas, tanto en España¹⁻⁴ como en otros lugares⁵⁻⁷, pero no fue hasta el verano de 2003, en el que debido a la intensa ola de calor que se produjo en Europa que dejó un exceso de mortalidad de 70 000 muertes⁸, de los que 6600 tuvieron lugar en España⁹, cuando el impacto del calor sobre la salud fue considerado un problema grave de salud pública en Europa y, por tanto, había que articular planes de prevención ante las altas temperaturas para minimizar sus efectos sobre la salud de los ciudadanos¹⁰.

En España el Ministerio de Sanidad activó por primera vez en junio de 2004 el "Plan nacional de actuaciones preventivas de los efectos del exceso de temperaturas sobre la salud"¹¹. A grandes rasgos este Plan se basaba en la activación de una serie de medidas que se ponían en marcha cuando se superaba, en cada provincia, unas determinadas temperaturas umbrales para la temperatura máxima y mínima diaria. Estas temperaturas, para cada capital de provincia, se determinaban en base a los percentiles 95 de las series climatológicas de las temperaturas mínimas y máximas diarias de los meses de verano. La elección de este percentil se estableció en función de las investigaciones realizadas hasta ese momento en España que indicaban que la mortalidad debida a las altas temperaturas en Madrid y Sevilla aumentaba de forma significativa cuando la temperatura máxima diaria superaba una determinada "temperatura umbral" que coincidía con el percentil 95 de la serie de temperaturas máximas diarias de los meses de verano^{3,4}.

Desde entonces se ha avanzado de forma clara sobre el conocimiento que las temperaturas extremas

tienen sobre la morbi-mortalidad en España. Así se ha determinado que ese valor del percentil 95 que se asumió de forma general para la determinación de la temperatura de disparo a nivel provincial, no coincidía con el calculado específicamente para cada provincia. La influencia de factores socio-económicos y demográficos hace que este valor del percentil varíe de unas ciudades a otras. Por ello, se ha determinado cuál es la temperatura de disparo en cada provincia en base a la relación temperatura-mortalidad en cada ciudad¹². Esta nueva investigación ha servido para que, desde el verano de 2015, se actualizara el "Plan nacional de actuaciones preventivas de los efectos del exceso de temperaturas sobre la salud".

También se ha extendido el estudio de los impactos de las temperaturas extremas al análisis del efecto que las bajas temperaturas tienen sobre la mortalidad en España, determinándose para cada capital de provincia, al igual que para el calor, la temperatura umbral de disparo de la mortalidad debida al frío¹³. El estudio comparativo de la mortalidad atribuible al frío y al calor establece que la mortalidad diaria debida al frío en España supera a la debida al calor¹⁴.

Por otro lado, se ha analizado el impacto del calor y del frío según grupos de edad y se ha seguido su evolución temporal comparando dos periodos de referencia, siendo el resultado más destacado que en los grupos de mayores de 65 años la mortalidad atribuible al calor va disminuyendo mientras que la debida al frío aumenta¹⁵.

También se ha analizado el impacto de las temperaturas extremas sobre grupos de especial susceptibilidad como mujeres embarazadas¹⁶, y morbi-mortalidad a corto plazo en enfermedades neurodegenerativas como Parkinson¹⁷, Demencia¹⁸ y

Alzheimer¹⁹, obteniéndose asociaciones significativas especialmente en olas de calor.

Por último, indicar que en el plano geográfico se está trabajando en el análisis de los impactos del calor a nivel de regiones isoclimáticas existentes en cada provincia con el fin de homogeneizar la unidad de análisis con la que utiliza la AEMET para sus niveles de alerta²⁰. En el plano temporal se está evaluando el posible impacto de las temperaturas extremas de la mortalidad en España en el horizonte del año 2050 pero suponiendo que tanto las temperaturas de disparo de la mortalidad son susceptibles de variar en el tiempo y que los impactos sobre la mortalidad también lo harán como indican los estudios más recientes²¹.

En este artículo se presenta una somera descripción de los principales resultados alcanzados por este grupo de investigación en los temas reseñados.

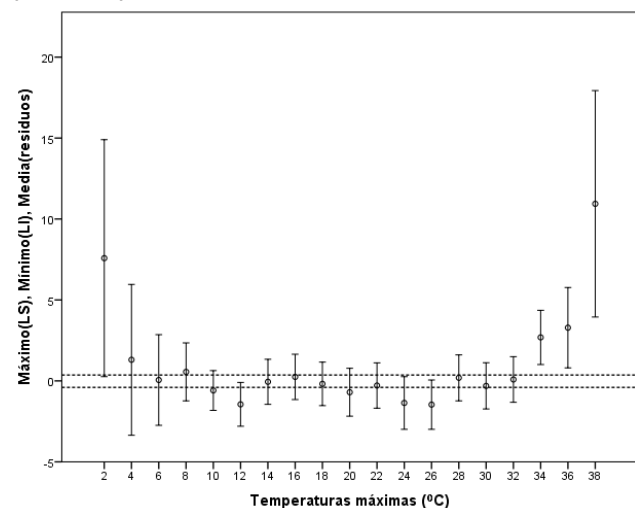
a. DETERMINACIÓN DE LAS TEMPERATURAS UMBRALES DE DISPARO DE LA MORTALIDAD ASOCIADA AL CALOR EN ESPAÑA Y SU IMPACTO

Estudios posteriores a aquellos que relacionaban la temperatura umbral de disparo de la mortalidad asociada al calor con el percentil 95 de las series de temperaturas máximas de los meses de verano^{3,4} se llevaron a cabo en Castilla-La Mancha, resultando que había una relación inversa entre los percentiles a los que correspondían las temperaturas de disparo de la mortalidad asociada al calor y el porcentaje de mayores de 65 años, es decir, a mayor porcentaje de mayores de 65 años menor percentil de la temperatura de disparo²². Puesto que el porcentaje de población mayor de 65 años varía de unas provincias a otras es necesaria la realización de un estudio en el que se determine la temperatura de disparo para cada capital de provincia.

La metodología utilizada para la determinación de las temperaturas de disparo consistió en primer lugar una modelización ARIMA de la mortalidad diaria por causas naturales (CIE X: A00-R99) del conjunto de los municipios de más de 10 000 habitantes ocurridos en cada provincia en el periodo 2001-2009. Esta modelización ARIMA permite eliminar el carácter autorregresivo de la serie, sus tendencias y estacionalidades de los residuos resultantes de la modelización. El hecho de trabajar con residuos en vez de con la mortalidad diaria presenta la ventaja de que estos, 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. 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.

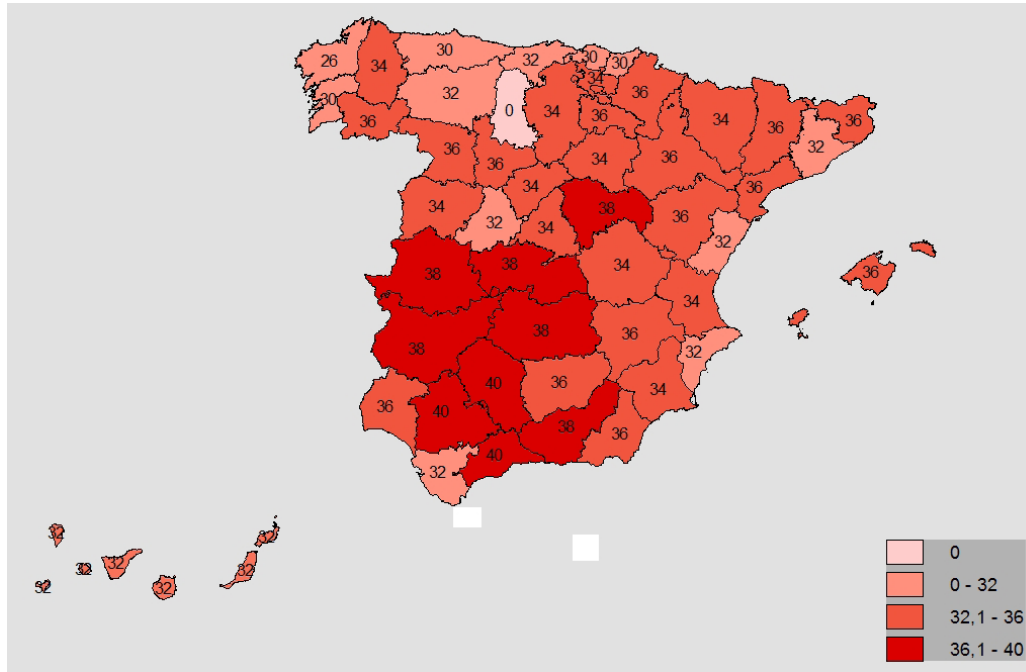
Figura 1. Diagrama de dispersión para la determinación de la temperatura máxima de disparo de la mortalidad por calor para Madrid



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.

Si se repite este proceso para el conjunto de las 52 provincias se obtiene la figura 2.

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



En cuanto a los percentiles de las series de los meses de verano a los que corresponden las anteriores temperaturas oscilan entre el percentil 82 de la provincia de Madrid y el 99 de la de Málaga. Como se ha citado anteriormente son múltiples los factores: demográficos, socioeconómicos e, incluso, sanitarios y culturales los que hacen que varíen de unos lugares a otros²²⁻²⁴. Para cuantificar el impacto de la temperatura sobre la mortalidad se ha utilizado metodología de modelos lineales generalizados (GLM), considerando como link una regresión de Poisson. Esta metodología permite calcular los riesgos relativos (RR) asociados a incrementos de la variable independiente, en este caso la temperatura. A partir del RR se ha calculado el riesgo atribuible (RA) asociado a ese incremento a través de la ecuación (1)²⁵.

$$RA = [(RR-1)/RR]100 \quad (1)$$

El RR expresará cuánto aumenta el riesgo de morir por altas temperaturas entre una persona expuesta y otra no expuesta, mientras que el RA indica cuanto aumenta el riesgo poblacional en %, con la hipótesis de que toda la población está expuesta a ese factor de riesgo. En dicha modelización se ha controlado, en primer lugar, por estacionalidades de carácter anual, semestral y trimestral, a través de las funciones seno y coseno con estas periodicidades. Se controló además por la tendencia de la serie y el posible carácter autorregresivo de la misma.

Para considerar el efecto de una ola de calor a través de las temperaturas máximas diarias (Tmax), se crearon, respectivamente, las variables Tcal definida, en base a las temperaturas de disparo de la mortalidad anteriormente calculadas (Tumbral), tabla 1.

Tabla 1. Codificación de nuevas variables

Tcal = 0	si Tmax < Tumbral
Tcal = Tmax – Tumbral	si Tmax > Tumbral

Puesto que el efecto de una ola de calor o de frío sobre la mortalidad puede no ser inmediato, se calcularon las siguientes variables retardadas: Tcal (lag 1), que tiene en cuenta el efecto de la temperatura de un día «d» sobre la mortalidad de un día después «d+1»; Tcal (lag 2), que tiene en cuenta el efecto de la temperatura del día «d» sobre la mortalidad de dos días después «d+2», y así sucesivamente. El número de retardos se seleccionaron en base a la literatura existente², que establece que el efecto del calor es un efecto a corto plazo (Tcal: lags 1-4).

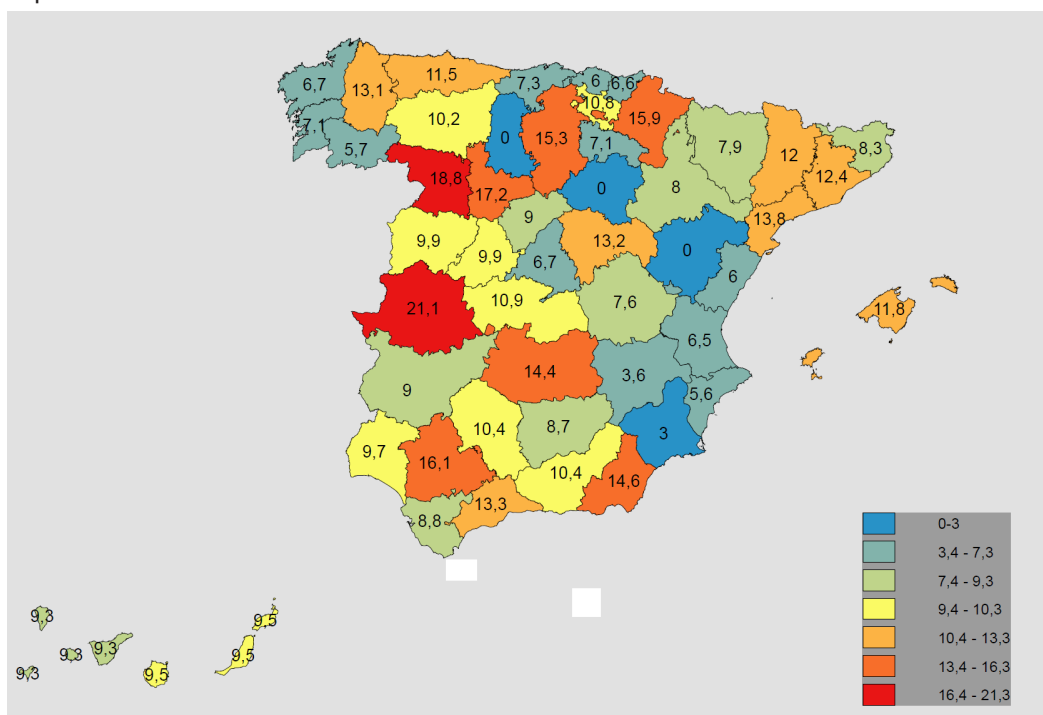
El procedimiento para la determinación de las variables significativas fue el de «Step-Step», comenzando con el modelo que incluye todas las variables explicativas, y eliminando paulatinamente aquellas que de manera

individual presentaban menor significancia estadística, reiterándose el proceso hasta que todas las variables incluidas eran significativas a $p < 0,05$. La modelización se ha realizado para los meses de junio a septiembre considerados como de verano.

Los incrementos de los RR y de los RA se refieren a aumentos por cada grado Celsius (°C) que la temperatura máxima diaria supera la temperatura de disparo.

En la figura 3 se muestran los RA para cada capital de provincia de España.

Figura 3. Riesgos atribuibles (%) por cada grado Celsius en el que se supera la temperatura umbral para el calor en España en el periodo 2000-2009



Los RR de cada capital de provincia obtenidos por regresión de Poisson se combinaron mediante un meta-análisis de efectos aleatorios, obteniendo una medida del RR (IC 95 %) a nivel de CC.AA. y de toda España. Resultando un RR para el conjunto de España de 1,11 IC 95 %: (1,10 - 1,12), lo que corresponde a un AR del 9,9 %. Es decir que por cada grado en que la temperatura máxima diaria supere la temperatura umbral de disparo de la mortalidad en cada capital de provincia, la mortalidad diaria aumentará en media un 9,9 %.

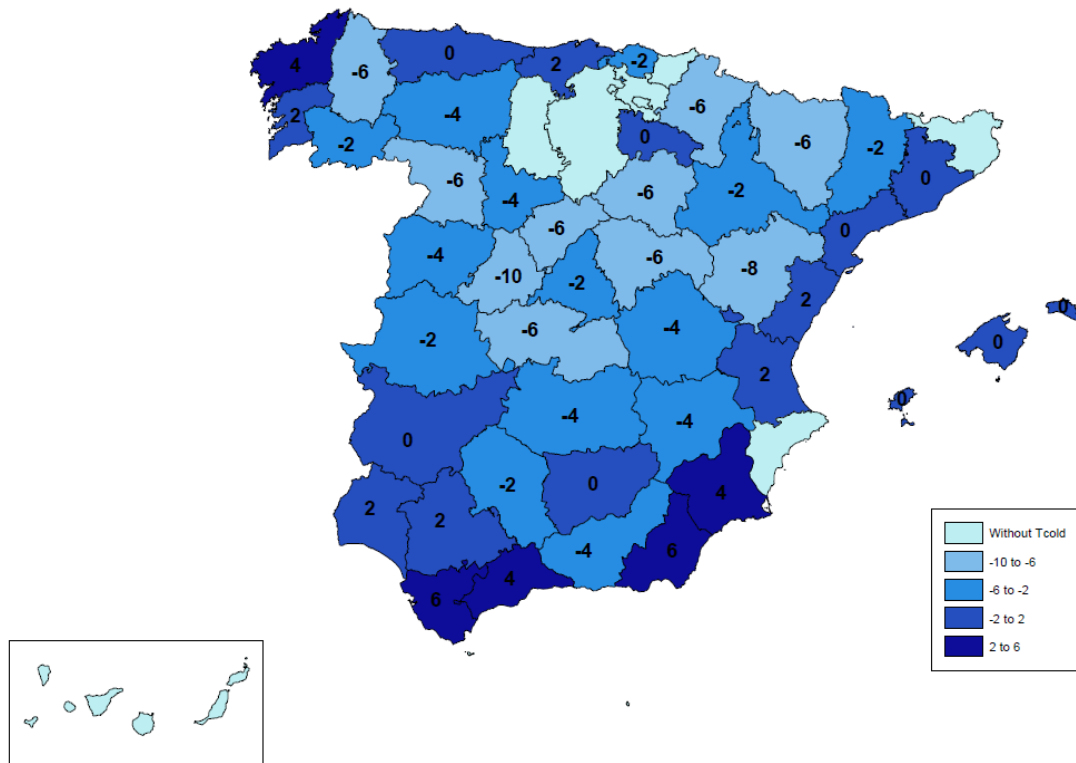
b. DETERMINACIÓN DEL IMPACTO DE LA MORTALIDAD ASOCIADA AL FRÍO. COMPARACIÓN ENTRE LA MORTALIDAD ATRIBUIBLE AL CALOR Y AL FRÍO

El análisis para determinar el impacto de las bajas temperaturas sobre la mortalidad diaria en España es

similar al del calor, pero teniendo en cuenta que para este caso es la temperatura mínima diaria la que muestra una mayor asociación con la mortalidad²⁶ y que el efecto del frío puede manifestarse a más largo plazo, lo que lleva a crear variables retrasadas hasta 14 retardos². Además el periodo de análisis lo constituyen los meses de invierno (noviembre-marzo) desde 2001 a 2009. También se introdujo el número de casos de gripe como variable de control de posibles enfermedades infecciosas¹³.

Siguiendo un esquema similar al ya explicado con anterioridad se pueden determinar las temperaturas mínimas diarias de disparo de la mortalidad por bajas temperaturas para el conjunto de España¹³ como puede observarse en la figura 4.

Figura 4. Temperaturas mínimas de disparo (°C) en España para la mortalidad diaria por frío por causas naturales para el periodo 2000-2009



No se halló temperatura umbral de disparo de la mortalidad por ola de frío en las siguientes capitales de provincia: San Sebastián, Vitoria, Burgos, Girona, Alicante, Gran Canaria, Tenerife, Ceuta y Melilla. Las temperaturas umbrales oscilaron entre -10 °C de Ávila y 6 °C de Almería y Cádiz. Los percentiles correspondientes a los umbrales de temperaturas de la figura 4 variaron del percentil 0,5 en las provincias de Murcia y Toledo al percentil 19,5 en la provincia de Logroño.

La variabilidad observada entre regiones en cuanto a lo que se consideraría temperatura de disparo de la mortalidad por ola de frío y sus percentiles asociados es muestra de una variedad de factores subyacentes tales como la adaptación al frío propia de la población, socio-económicos, diferencias o divergencias estructurales en las pirámides de población, infraestructuras adaptadas a las temperaturas extremas, desigualdades en el acceso a los servicios de salud^{22-24,26}. Por otro lado, la naturaleza diferente de las patologías implicadas en el caso del frío entre las que pueden estar enfermedades infecciosas que no concurren en el caso del calor, pueden explicar esta variabilidad¹³.

En la figura 4 se observa, además, como en las zonas costeras los umbrales de temperatura mínima son más

elevados, coincidiendo con aquellas regiones con menor temperatura de disparo de ola de calor. Son regiones donde el acondicionamiento de los hogares frente al frío/calor es diferente al de otras regiones con climas más extremos, puesto que mantienen durante el año temperaturas más suaves. De hecho la propia Comisión Europea lo recoge explícitamente de esta forma: "houses in countries with comparatively warm climates all year round tend to lose heat easily, so people find it hard to heat their homes when winter arrives. This is especially true in Portugal, Spain, and Ireland. Conversely, houses in countries with severe climates – such as Scandinavia – have to be thermally efficient to retain warmth"²⁷. Esto puede ser aplicable a las diferentes regiones españolas.

Para cuantificar el impacto de las temperaturas extremadamente bajas sobre la mortalidad diaria se siguió un proceso de modelización Poisson similar al del calor, si bien en este caso la variable que tiene en cuenta los efectos del frío sobre la mortalidad diaria se denomina Tfrío y se define en las ecuaciones (2) y (3)

$$T_{\text{frío}} = 0 \text{ si } T_{\text{min}} > T_{\text{umbral}} \quad (2)$$

$$T_{\text{frío}} = T_{\text{umbral}} - T_{\text{min}} \text{ si } T_{\text{min}} \leq T_{\text{umbral}} \quad (3)$$

de ola de calor y a todos los días en que la temperatura mínima diaria está por debajo de la temperatura umbral, en el caso de ola de frío.

Al conocerse el % de incremento de la mortalidad por cada °C a través del RA, el porcentaje total de la mortalidad para todo el exceso de grados durante el periodo 2000-2009 se calcula mediante la expresión (6):

$$\% \text{ mortalidad atribuible a olas de calor} = \text{RA} \times \text{exceso } ^\circ\text{C} \quad (6)$$

Por tanto, para pasar del % a la mortalidad diaria bastara con tener en cuenta la mortalidad media en esa provincia durante los días de ola de calor según las fórmulas (7) y (8):

$$\text{Mortalidad atribuible al calor} = (\% \text{ mortalidad atribuible a olas de calor} \times \text{mortalidad media}) / 100 \quad (7)$$

$$\text{Mortalidad diaria atribuible al calor} = \text{mortalidad atribuible a olas de calor} / \text{n}^\circ \text{ de días ola de calor} \quad (8)$$

De la misma forma se procederá para el caso del frío.

Siguiendo el procedimiento antes descrito, se puede calcular la mortalidad atribuible al calor y al frío para el conjunto de toda España¹⁴. Los resultados obtenidos muestran que en el periodo considerado de diez años (2001-2009) la mortalidad atribuible al calor fue de 13 119 personas siendo la suma del número de días con olas de calor en alguna provincia de 4373 días, lo que indica una mortalidad media diaria de 3,0 muertes/día. Para el caso del frío la mortalidad atribuible fue 10 460 personas en diez años con 3006 días con alguna provincia al menos con ola de frío, es decir, una mortalidad media diaria de 3,48 muertes/día.

En cuanto a la repercusión económica de la activación de los Planes de prevención ante olas de frío, suponiendo una efectividad del 68 %, cada día con ola de frío se evitarían 2,37 muertes, lo que económicamente supone 0,29 M€. Para el caso del calor cada día que se active el Plan de prevención ante ola de calor se evitarían 2,04 muertes, es decir se ahorrarían 0,25 M€. Si se extiende el estudio al total de días de ola de calor y frío, el coste económico de la mortalidad atribuible al frío en los diez años del periodo 2000-2009 sería de 871,7 M€, mientras que el coste atribuible al calor es 1 093,2 M€²⁸.

Pese a este mayor efecto de las olas de frío sobre la mortalidad diaria del frío en relación al calor, existen, paradójicamente, Planes de prevención ante ola de calor pero no para olas de frío. Este mayor efecto del frío sobre la mortalidad ha sido también encontrado en un estudio reciente de Gasparrini et ál., en 2015²⁹, realizado

en 13 países obteniendo que el efecto del frío sobre la mortalidad global es muy superior (hasta 20 veces) que el efecto del calor.

C. TENDENCIA TEMPORAL DE LOS EFECTOS DEL CALOR Y DEL FRÍO

Existen investigaciones recientes que indican que el efecto del calor sobre la mortalidad está decreciendo^{30,31} mientras que el del frío se está, al menos, manteniendo constante³². Más concretamente en un estudio realizado para la ciudad de Madrid¹⁵ en el que se analiza, por grupos de edad, cuál ha sido el efecto del frío y del calor en el periodo 1986-1997 y se compara con el efecto en el periodo 2001-2009 (tablas 2 y 3) se observa que el efecto del calor ha decrecido prácticamente en todos los grupos de edad, mientras que el del frío ha aumentado especialmente en los grupos de mayores de 65 años, triplicándose el efecto especialmente en el grupo de más de 75 años, y en los grupos de 45-64 años y 65-74 años, en los cuales el RA se ha duplicado respecto al existente en el periodo 1986-1997. Las personas mayores son potencialmente más susceptibles a los efectos de las olas de frío^{33,34} que puede ser explicado por una reducida capacidad de termorregulación, combinado con una disminución de la capacidad para detectar cambios en su temperatura corporal³⁵. Lo que es especialmente relevante teniendo en cuenta el envejecimiento de la población que están experimentando los países más desarrollados y en particular España (en el año 2064 el 38,7 % de la población será mayor de 65 años frente al 18,2 % en la actualidad)³⁶.

Entre las causas que se atribuyen para una disminución de los efectos del calor sobre la mortalidad algunos son inherentes a condiciones sociodemográficas y sanitarias²⁹ que igualmente serían aplicables al caso del frío, pero otras están directamente relacionadas con la activación de los Planes de prevención³⁷, el diseño de las ciudades para minimizar el efecto del calor³⁸, y la resiliencia de la población se espera que se incremente por la aclimatación fisiológica a climas más cálidos³⁹ o incluso la mejor dotación de las infraestructuras que son exclusivamente aplicables al calor y contribuyen a lo que ha venido a denominar "cultura del calor"³⁹ que se ha desarrollado en la última década. Todo esto no existe en el caso del frío. Es más, la idea de calentamiento global y aumento de temperaturas, aunque no va a llevar asociada la desaparición de las olas de frío⁴⁰, parece ir en contra también de generar esa "cultura del frío" que probablemente redundaría en una disminución de la mortalidad asociada al frío al igual que ha ocurrido para el caso del calor.

Tabla 2. Comparativa entre los RA en % (IC 95 %) atribuibles al calor en la mortalidad por causas naturales en los dos periodos analizados para Madrid según grupos de edad. Umbral calor tmax > 36,5 °C

	<1 año	1-17 años	18-44 años	45-64 años	65-74 años	>75 años
Periodo 1986-1997		Sin efecto*	13,1	11,5	18,3	20,1
Periodo 2001-2009	Sin efecto	Sin efecto	29,4 (14,4-41,8)	Sin efecto	11,8 (1,6-21,0)	17,1 (11,6-22,3)

*En este estudio el grupo de edad considerado fue el de menores de 10 años en su conjunto

Tabla 3. Comparativa entre los RA en % (IC 95 %) atribuibles al frío en la mortalidad por causas naturales en los dos periodos analizados para Madrid según grupos de edad. Umbral frío tmax < 5 °C

	<1 año	1-17 años	18-44 años	45-64 años	65-74 años	>75 años
Periodo 1986-1997	17,4	23,1*	---	7,7	5,1	2,7
Periodo 2001-2009	28,3 (0,6-48,2)	45,8** (0-71,6)	Sin efecto	13,4 (7,9-18,6)	10,6 (6,1-14,9)	9,0 (5,6-12,3)

*En este estudio el grupo de edad considerado fue el de 1-5 años exclusivamente

**p=0,062

d. EFECTO DE LOS EXTREMOS TÉRMICOS SOBRE GRUPOS DE ESPECIAL VULNERABILIDAD

Como se ha citado con anterioridad los grupos especialmente vulnerables para las olas de calor son los mayores de 65 años y para las olas de frío, además de éstos, los niños. Pero hay otros grupos que son especialmente vulnerables como las mujeres embarazadas y aquellas personas que sufren alguna patología de base.

d.1. Efecto de los extremos térmicos durante el embarazo

En los últimos años se está relacionando la exposición de la mujer embarazada durante la gestación con prematuridad, bajo peso y mortalidad fetal⁴¹ tanto en exposiciones a extremos térmicos durante todo el embarazo⁴² como en efectos agudos en los que la exposición a olas de calor puede relacionarse con las variables adversas al nacimiento antes señaladas en cuestión de días⁴³. En la ciudad de Madrid y mediante un análisis de series temporales se ha analizado el efecto que tienen los extremos térmicos sobre las variables adversas al nacimiento tanto a corto plazo⁴⁴ como durante diferentes ventanas gestacionales¹⁶.

En cuanto a los efectos durante todo el embarazo de la temperatura los resultados obtenidos relacionan la

exposición a olas de calor durante el segundo trimestre del embarazo con el bajo peso y la mortalidad fetal. Mientras que la exposición al frío en el tercer trimestre de gestación también se relaciona con mortalidad fetal¹⁶. Por otro lado, el análisis a nivel diario para determinar el efecto agudo que los extremos térmicos puede tener sobre las variables adversas al nacimiento, indican que la exposición a altas temperaturas durante una ola de calor se relaciona con el aumento de los partos prematuros al día siguiente de la exposición, en el sentido de que por cada grado en el que la temperatura máxima diaria supere la temperatura umbral, que para Madrid es de 34 °C, aumenta el número de los partos prematuros en un 5,2 %. Estos resultados avalan la necesidad de considerar a las mujeres embarazadas como grupo de riesgo ante extremos térmicos, especialmente en lo que se refiere a olas de calor.

d.2. Efecto de los extremos térmicos sobre los ingresos hospitalarios por enfermedades neurodegenerativas

Es conocido que determinadas enfermedades neurodegenerativas pueden verse afectadas por las olas de calor. El uso de ciertos neurolépticos para controlar los síntomas de la enfermedad parece que puede relacionarse con el aumento de la mortalidad de estos pacientes en olas de calor⁴⁵. En la ciudad de Madrid se

han hecho varios estudios con el objeto de determinar si las olas de calor son capaces de exacerbar los síntomas de los enfermos que sufren Parkinson¹⁷, Demencia¹⁸ o Alzheimer¹⁹ hasta tal punto de requerir su ingreso hospitalario urgente o incluso provocarles la muerte.

Los resultados obtenidos indican que para el caso del Parkinson, por cada grado en que la temperatura máxima diaria de 34 °C los ingresos urgentes aumentan un 11,5 % con retrasos de 1 y 3 días y la mortalidad por Parkinson aumenta un 12 % 3 días después de que se produzca la ola de calor¹⁷. En la Demencia los ingresos hospitalarios por grado aumentan un 16 % un día después de la exposición¹⁸. Por último, para los ingresos urgentes por Alzheimer se ha obtenido que aumentan un 18 % por grado en que la temperatura máxima diaria supere los 34 °C. Este incremento de los ingresos se produce 3 días después de la exposición al calor¹⁹.

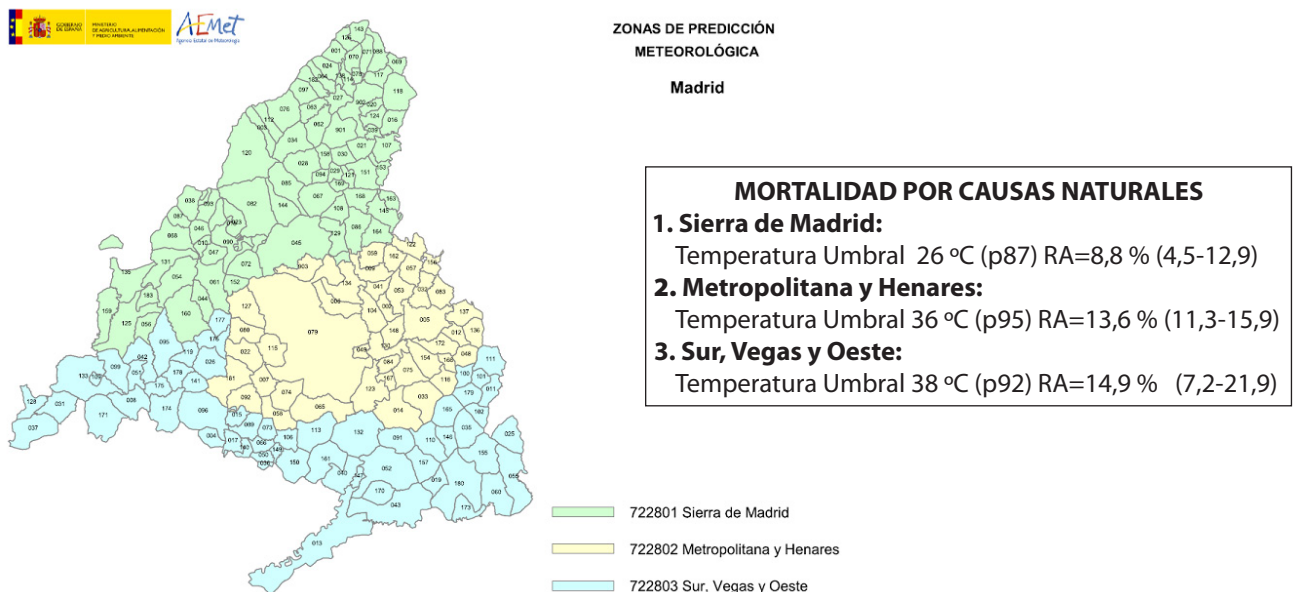
e. VARIACIÓN ESPACIAL EN LOS UMBRALES DE TEMPERATURA DE DEFINICIÓN DE OLA DE CALOR Y SU IMPACTO SOBRE LOS PLANES DE PREVENCIÓN

En los estudios que se han realizado hasta la fecha sobre el impacto de los extremos térmicos sobre la mortalidad a nivel de toda España^{12,13,46} siempre se ha considerado la unidad geográfica de análisis la provincia. Esta división es meramente administrativa. La amplia extensión geográfica de algunas provincias y la elección de la temperatura de exposición de toda la población, la medida en el observatorio ubicado en la capital de provincia, puede hacer que no sea representativa de

la exposición de toda la población. Para avanzar en el estudio de esta circunstancia se pretende dividir cada provincia en diferentes subregiones isoclimáticas que utiliza la AEMET⁴⁷ para la activación de sus planes de alerta. De este modo se conseguiría unificar, además, las regiones de cara a futuras alertas comunes en olas de calor por altas temperaturas tanto de AEMET como de salud.

Como región piloto para realizar este tipo de estudios se ha elegido la Comunidad de Madrid²⁰. En ésta se distinguen según AEMET tres zonas homogéneas climatológicamente (figura 6): la zona "Sierra de Madrid" o zona Norte, la zona "Metropolitana y Henares" o zona Centro y la Zona "Sur Vegas y Oeste" o zona Sur. La mortalidad diaria por causas naturales (CIE X: A00-R99) en el periodo 2000-2009 en los municipios de más de 10 000 habitantes se agrupa según cada una de estas zonas. La variable independiente la constituye la temperatura máxima diaria (°C) en cada observatorio meteorológico representativo de cada zona según AEMET: Navacerrada para la zona Norte; Retiro para la Zona Centro y Aranjuez para la Sur. Se han utilizado diagramas de dispersión temperatura-mortalidad para la determinación de las temperaturas umbrales de activación del Plan en cada zona. Para la determinación del Riesgo Relativo (RR) y los Riesgos Atribuibles (AR) en cada una de las regiones se construyeron modelos lineales generalizados de series temporales, controlando por tendencias, estacionalidades y carácter autorregresivo de las series.

Figura 6. Mortalidad por causas naturales



Las temperaturas umbrales determinadas para cada región son: Zona Norte: temperatura máxima diaria de 26 °C; Zona Centro: 36 °C; Zona Sur: 38 °C, que corresponden, respectivamente, a los percentiles 87, 95 y 92 de las series de temperaturas máximas de los meses de verano del periodo y observatorio considerado. En la tabla 4 se muestran los principales resultados obtenidos en el estudio. La

utilización de estas tres regiones isoclimáticas en vez de considerar toda la Comunidad de Madrid en su conjunto se traduce en una posible disminución de la mortalidad en 73 personas (38 -108) en la primera región, y en suprimir la activación innecesaria del Plan en 153 ocasiones en la zona Metropolitana y en 417 en la Sur, con los consiguientes beneficios económicos y sociales.

Tabla 4. Resultados de la modelización Poisson en la que aparece la temperatura umbral de disparo de la mortalidad y el percentil al que corresponde esa temperatura. También se indican los Incrementos de los Riesgos Relativos (IRR) y los Riesgos Atribuibles (RA) para incrementos de 1 °C cuando la Tmáxima diaria supera la temperatura umbral

		Umbral(percentil meses verano)	LAGS tcal	IRR (IC 95 %)	RA (%) (IC 95 %)
Mort. Causas naturales	Región Isocl. Norte Sierra de Madrid	26 °C (p87)	0 y 4	1,09 (1,04 -1,15)	8,8 (4,5 -12,9)
	Región Isocl. Centro Metropolitana y Henares	36 °C (p95)	0,2 y 3	1,16 (1,13 -1,19)	13,6 (11,3 -15,9)
	Región Isocl. Sur Sur, Vega y Oeste	38 °C (p92)	3	1,17 (1,08 -1,28)	14,9 (7,2 -21,9)

f. FUTUROS IMPACTOS DE LOS EXTREMOS TÉRMICOS SOBRE LA MORTALIDAD EN ESPAÑA

Según las previsiones del IPCC como consecuencia del cambio climático las olas de calor van a ser cada vez más frecuentes y más intensas⁴⁸, lo cual no quiere decir que no vayan a existir episodios de frío extremo³⁹. Parece lógico preguntarse sobre cuál va a ser el impacto de éstas temperaturas extremas sobre la mortalidad en diferentes escenarios climáticos y para distintos horizontes temporales.

Los estudios que se han realizado en España sobre este tema han sido a nivel regional para Cataluña⁴⁹ y Aragón⁵⁰. Estos estudios, al igual que otros realizados en otros lugares adolecen⁵⁰, desde nuestro punto de vista, de la limitación de considerar constantes las temperaturas de disparo en el tiempo y también de no asumir cambios temporales en los impactos²¹. Los trabajos ya realizados demuestran que las temperaturas de disparo cambian⁵² y los impactos también varían en el tiempo^{30,31} como se ha discutido anteriormente en el apartado 4.

Recientemente se ha concedido a este Grupo de Investigación, en colaboración con AEMET, un Proyecto

del Fondo de Investigaciones Sanitarias cuyo objetivo es determinar los impactos de los extremos térmicos en España sobre la mortalidad pero suponiendo variaciones temporales tanto en las temperaturas umbrales de disparo de la mortalidad por calor como de sus respectivos impactos.

Es evidente que se han producido avances desde los primeros estudios que sobre este tema se realizaron en España¹⁻⁴ como se ha recogido a lo largo de este artículo, pensamos que es clave pasar de temperaturas umbrales provinciales a temperaturas por regiones isoclimáticas para poder unificar las alertas con AEMET. Demostrada la eficacia de los Planes de prevención contra el calor es necesaria su implementación también en olas de frío. Es preciso extender los estudios de mortalidad diaria a análisis de impactos sobre demanda de servicios sanitarios de mayor utilidad de cara a la gestión sanitaria, especialmente en niños y ancianos. Y, por último, pensamos que hay que analizar el impacto de los extremos térmicos sobre la salud desde una perspectiva de género ya que los impactos de los extremos térmicos son diferentes en hombres y en mujeres.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ballester F, Corella D, Pérez-Hoyos S, et ál. Mortality as a function of temperature. A study in Valencia, Spain 1991-1993. *Int. J. Epidemiol.* 1997; 155:80-7.
2. Alberdi JC, Díaz J, Montero JC, et ál. Daily mortality in Madrid community 1986-1992: Relationship with meteorological variables. *Eur. J. Epidemiol.* 1998; 14:571-8.
3. Díaz J, Jordán A, García R, et ál. Heat waves in Madrid 1986-1997: effects on the health of the elderly. *Int. Arch Occup. Environ. Health* 2002; 75: 163-70.
4. Díaz J, García R, Velázquez de Castro F, et ál. Effects of extremely hot days on people older than 65 years in Seville (Spain) from 1986 to 1997. *Int. J. Biometeorol.* 2002; 46: 145-9.
5. Basu R, Samet J. Relation between Elevated Ambient Temperature and Mortality: A Review of the Epidemiologic Evidence *Epidemiol. Rev.* 2002; 24:190-202.
6. Braga AI, Zanobetti A, Schwartz J. The effect of weather on respiratory and cardiovascular deaths in 12 U.S. cities. *Environ. Health Perspect.* 2002; 110: 859-63.
7. Curriero FC, Heiner KS, Samet JM, et ál. Temperature and mortality in 11 cities of the Eastern of the United States. *Am. J. Epidemiol.* 2002; 155:80-7.
8. Robine J-M, Cheung S, Le Roy S, et ál. Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003 / Plus de 70 000 décès en Europe au cours de l'été 2003. *Comptes. Rendus Biologies* 2008; 331(2): 171-8.
9. Simon F, Lopez-Abente G, Ballester E, Martinez F. Mortality in Spain during the heat waves of summer 2003. *Euro Surveill.* 2005. [citado 10/05/2017] Disponible en: <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=555>.
10. WHO. Euro HEAT: improving public health responses to extreme weather events/heat waves; Summary for policy makers. Copenhagen: Regional Office for Europe, WHO; 2009.
11. Plan Nacional de Actuaciones Preventivas por Altas Temperaturas. Madrid: MSSSI 2016. [citado 10/05/2017] Disponible en: http://www.msps.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/planAltasTemp/2016/Plan_nacional_actuaciones_preventivas.htm.
12. Díaz J, Carmona R, Mirón IJ, et ál. Geographical variation in relative risks associated with heat: update of Spain's Heat Wave Prevention Plan. *Environ. Int.* 2015; 85:273-83.
13. Carmona R, Díaz J, Mirón IJ, et ál. Geographical variation in relative risks associated with cold waves in Spain: The need for a cold wave prevention plan. *Environ. Int.* 2016; 88:103-11.
14. Carmona R, Díaz J, Ortiz C, et ál. Mortality attributable to extreme temperatures in Spain: A comparative analysis by city. *Environ. Int.* 2016; 91: 22-8.
15. Díaz J, Carmona R, Mirón IJ, et ál. Comparison of the effects of extreme temperatures on daily mortality in Madrid (Spain), by age group: the need for a cold wave prevention plan. *Environ. Res.* 2015; 143:186-91.
16. Arroyo V, Díaz J, Carmona R et ál. Impact of air pollution and temperature on adverse birth outcomes: Madrid (Spain) 2001-2009. *Environ Pol.* 2016; 218C: 1154-61.
17. Linares C, Martínez-Martín P, Rodríguez-Blázquez C, et ál. Effect of heat wave on morbidity and mortality due to Parkinson's disease in Madrid: a time-series analysis. *Environ. Int.* 2016; 89-90: 1-6.
18. Linares C, Culqui DR, Carmona R, et ál. Short-term association between environmental factors and hospital admissions due to dementia in Madrid. *Environ. Res.* 2017; 152:214-20.
19. Culqui DR, Linares C, Carmona R, et ál. Short-term association between environmental factors and emergency hospital admissions due to Alzheimer's disease in Madrid. *Sci Total. Environ.* 2017. In Press.
20. Carmona R, Linares C, Ortiz C, et ál. Spatial variability in threshold temperatures of heat-wave mortality: impact assessment on prevention plans. *Glob. Environ. Change.* 2017. In Press.
21. Linares C, Montero JC, Mirón IJ, et ál. The time trend temperature-mortality as a factor of uncertainty analysis of impacts of future heat waves. *Environ. Health Perspect.* 2014. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1306670>
22. Montero JC, Mirón IJ, Criado JJ, et ál. Influence of Local Factors in The Relationship Between Mortality And Heat Waves: Castile-La Mancha (1975-2003). *Sci. Total Environ.* 2012; 414:73-80.
23. Kovats RS, Johnson H, Griffith C. Mortality in southern England during the 2003 heat wave by place of death. *Health Stat. Q Spring* 2006; 29:6-8.
24. Vandentorren S, Bretin P, Zeghnoun A, et ál. August 2003 heat wave in France: risk factors for death of elderly people living at home. *Eur. J. Public Health* 2006; 16: 583-91.
25. Coste J, Spira A. Le proportion de cas attribuable en Santé Publique: definition(s), estimation(s) et interpretation. *Rev. Epidemiol. Santé Publique* 1991; 51: 399-411.
26. Montero JC, Miron IJ, Criado-Alvarez JJ, et ál. Mortality from cold waves in Castile-La Mancha, Spain. *Sci. Total Environ.* 2010; 408(23):5768-74.
27. European Commission. Public health response to extreme weather and climate events. Budapest: Fourth Ministerial Conference on Environment and Health; 2004.
28. Carmona R, Díaz J, Mirón IJ, et ál. Temperaturas umbrales de disparo de la mortalidad atribuible al frío en España en el periodo 2000-2009. Comparación con la mortalidad atribuible al calor. Instituto de Salud Carlos III. Madrid: Escuela Nacional de Sanidad; 2016. NIPO: 725-15-032-4.
29. Gasparrini A, Guo Y, Hashizume M, et ál. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *Lancet* 2015 25; 386(9991):369-75.

30. Mirón IJ, Linares C, Montero JC, et ál. Changes in cause-specific mortality during heat waves in Castile-la Mancha: Spain, 1975-2008. *Int. J. Biometeorol.* 2015; 59:1213-22.
31. Mirón IJ, Montero JC, Criado-Álvarez JJ, et ál. Changes in cause-specific mortality during heat waves in Castile-La Mancha: Spain, 1975-2008. *Int. J. Biometeorol.* 2015; 59:1213-22.
32. Mirón IJ, Montero JC, Criado-Alvarez JJ, et ál. Intense cold and mortality in Castile-La Mancha (Spain): study of mortality trigger thresholds from 1975 to 2003. *Int. J. Biometeorol.* 2012; 56:145-52.
33. Medina-Ramon M, Zanobetti A, Cavanagh DP, et ál. Extreme temperatures and mortality: assessing effect modification by personal characteristics and specific cause of death in a multi-city case-only analysis. *Environ. Health Perspect.* 2006;114(9):1331-6.
34. Ryti NR, Guo Y, Jaakkola JJ. Global Association of Cold Spells and Adverse Health Effects: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Environ. Health Perspect.* 2015; 124:12-22.
35. Mercer JB. Cold--an underrated risk factor for health. *Environ. Res.* 2003; 92(1):8-13.
36. INE 2014. Proyecciones de Población de población (2014-2064) residente en España a 1 de enero. [citado 10/05/2017] Disponible en: <http://www.ine.es/prensa/np870.pdf>.
37. Abrahamson V, Wolf J, Lorenzoni I, et ál. Perceptions of heatwave risks to health: interview-based study of older people in London and Norwich, UK. *J. Public Health* 2008; 31:119-26.
38. Georgescu, M, Morefield, PE, Bierwagen, BG, et ál. Urban adaptation can roll back warming of emerging megapolitan regions. *Proceedings of the National Acad. Sci.* 2014; 111(8):2909-14.
39. Konkel L. Learning to Take the Heat: Declines in U.S. Heat-Related Mortality. *Environ. Health. Perspect.* 2014; 122:A220. DOI:10.1289/ehp.122-A220.
40. Kodra E, Steinhäuser K, Ganguly AR. Persisting cold extremes under twenty first-century warming scenarios. *Geophys. Res. Lett.* 2011;38:L08705.
41. Carolan-Olah M, Frankowska D. High environmental temperature and preterm birth: a review of the evidence. *Midwifery* 2014; 30(1):50-9.
42. Ha S, Liu D, Zhu Y, et ál. Ambient Temperature and Early Delivery of Singleton Pregnancies. *Environ. Health Perspect.* 2016; 125:453-9. DOI:10.1289/EHP97.
43. Schifano P, Lallo A, Asta F, et ál. Effect of ambient temperature and air pollutants on the risk of preterm birth, Rome 2001-2010. *Environ. Int.* 2013; 61: 77-87.
44. Arroyo V, Díaz J, Ortíz C, et ál. Short term effect of air pollution, noise and heat waves on preterm births in Madrid (Spain). *Environ. Res.* 2016; 145:162-8.
45. Stöllberger C, Finsterer J. Did thirst-blockers like angiotensin-converting-enzyme inhibitors, sartans, serotonin-re-uptake-inhibitors, dopamine agonists/antagonists, or atypical neuroleptics contribute to the exorbitant number of fatalities during the French 2003 heat wave? *Pharmacoepidemiol. Drug Saf.* 2007; 16:1252-3.
46. Tobías A, Armstrong B, Gasparrini A, Díaz J. Effects of high summer temperatures on mortality in 50 Spanish cities. *Environ Health* 2014; 13:48.
47. Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). 2016. [citado 10/05/2017] Disponible en: <http://www.aemet.es/es/portada>.
48. IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker TF, Qin D, Plattner GK, et ál (eds.). Cambridge, United Kingdom and New York: Cambridge University Press; 2013 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324.
49. Ostro B, Barrera-Gomez J, Ballester J. The impact of future summer temperature on public health in Barcelona and Catalonia, Spain. *Int. J. Biometeorol.* 2012; 56(6):1135-44.
50. Roldán E, Gómez M, Pino MR et ál. The effect of climate-change-related heat waves on mortality in Spain: Uncertainties in health on a local scale. *Stoch. Res. Risk Assess.* 2016;30:831-9.
51. Wu J, Zhou Y, Gao Y, et ál. Estimation and uncertainty analysis of impacts of future heat waves on mortality in the eastern United States. *Environ. Health Perspect.* 2014; 122:10-6.
52. Mirón IJ, Criado-Álvarez JJ, Díaz J, et ál. Time trends in minimum mortality temperatures in Castile- La Mancha (Central Spain):1975-2003. *Int. J. Biometeorol.* 2008; 52:291-9.