

Determinación de las temperaturas de definición de ola de calor en España a nivel isoclimático: evolución temporal de sus duración e intensidad en la década 2009-2018

Determinação das temperaturas de definição de ondas de calor em Espanha a nível isoclimático: evolução temporal da sua duração e intensidade na década de 2009-2018

Determination of Heatwave Definition Temperatures in Spain at the Isoclimatic Level: Temporal Evolution of their Duration and Intensity in the 2009-2018 Decade

López-Bueno JA¹, Alonso P², Navas Martín MA¹, Mirón IJ³, Belda F⁴, Díaz J¹, Linares C¹

¹ Climate Change, Health and Urban Environment Reference Unit, National School of Public Health, Carlos III Institute of Health, Madrid, Spain.

² Hospital Universitario Severo Ochoa. Móstoles Madrid, Spain.

³ Regional Health Authority of Castile La Mancha, Toledo, Spain.

⁴ Meteorological Statal Agency. (AEMET), Madrid, Spain.

Cita: López-Bueno JA, Alonso P, Navas Martín MA, Mirón IJ, Belda F, Díaz J et al. Determinación de las temperaturas de definición de ola de calor en España a nivel isoclimático: evolución temporal de sus duración e intensidad en la década 2009-2018. Rev Salud ambient. 2024; 24(1): 3-15.

Recibido: 31 de octubre de 2023. **Aceptado:** 9 de marzo de 2024. **Publicado:** 15 de junio de 2024.

Autor para correspondencia: Miguel Ángel Navas Martín
Correo e: manavas@isciii.es

Financiación: Financiado por el Proyecto AESI ENPY 304/20.

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

Siguiendo las recomendaciones de la OMS para la implementación de los Planes de Prevención en Salud Pública frente a los impactos de las altas temperaturas, se ha calculado la temperatura de definición de ola de calor (Tumbral) en 182 zonas isoclimáticas (IZ) en España. Para su determinación se han analizado, como variable dependiente, los datos de mortalidad diaria por todas las causas (CIE-X: A00-R99) en cada una de las IZ durante el periodo 2009-2018. La variable independiente la constituye el valor medio de la temperatura máxima diaria de los meses de verano de los observatorios meteorológicos de cada IZ. Mediante modelos Box-Jenkins se determinan las anomalías de mortalidad y mediante diagramas de dispersión se relacionan dichas anomalías con las temperaturas a las que estas ocurren, de este modo se determina la Tumbral en cada IZ. Se ha calculado cuántas olas de calor se producen en cada IZ, cuál ha sido su intensidad y se ha analizado su evolución temporal en este periodo.

Los resultados muestran que en el 52,5 % de las IZ el percentil de la serie de temperaturas máximas de los meses de verano al que corresponde la Tumbral determinada está por debajo del percentil 95 de la definición de ola de calor meteorológica; solo coincide en 30,7 % de los casos. La distribución geográfica de estos percentiles muestra una gran heterogeneidad como consecuencia de los factores locales que influyen en la relación temperatura-mortalidad. La evolución del número de olas de calor analizadas, indica que estas han aumentado de forma global en España a un ritmo de 3,9 olas por década y su intensidad media anual lo ha hecho a un ritmo de 9,5 °C/década. Estos valores en la evolución temporal son superiores a los encontrados al analizar la evolución de las olas de calor meteorológicas basadas en el percentil 95. El comportamiento geográfico por IZ de esta evolución temporal también es heterogéneo.

A la vista de los resultados obtenidos en este estudio, es necesario utilizar una definición de ola de calor basada en estudios epidemiológicos temperatura-mortalidad y no en valores basados en percentiles meteorológicos para analizar y prevenir el impacto en salud de las olas de calor que viene determinado por factores locales. La evolución temporal en el número de días de ola de calor y la intensidad media anual de estas olas de calor basadas en el umbral epidemiológico es superior al de las olas de calor meteorológicas. Esto podría estar minimizando los impactos estimados para la salud en el análisis de los futuros impactos atribuibles al calor.

Palabras clave: planes de prevención; temperatura umbral; olas de calor; mortalidad; evolución temporal.

Resumo

Seguindo as recomendações da OMS para a implementação de Planos de Prevenção em Saúde Pública face aos impactos das altas temperaturas, foi calculada a temperatura de definição de onda de calor (Limiar) em 182 zonas isoclimáticas (IZ) em Espanha. Para a sua determinação, foram analisados, como variável dependente, os dados de mortalidade diária por todas as causas (CIE-X: A00-R99) em cada uma das IZ durante o período de 2009-2018. A variável independente consiste no valor médio da temperatura máxima diária dos meses de verão dos observatórios meteorológicos de cada IZ. Através de modelos Box-Jenkins, determinaram-se as anomalias de mortalidade e, através de diagramas de dispersão, relacionaram-se essas anomalias com as temperaturas em que estas ocorrem, determinando assim o Limiar em cada IZ. Foi calculado quantas ondas de calor ocorrem em cada IZ, qual foi a sua intensidade e foi analisada a sua evolução temporal neste período. Os resultados mostram que em 52,5 % das IZ, o percentil da série de temperaturas máximas dos meses de verão que corresponde ao Limiar determinado está abaixo do percentil 95 da definição meteorológica de onda de calor; apenas coincide em 30,7 % dos casos. A distribuição geográfica destes percentis mostra uma grande heterogeneidade como consequência dos fatores locais que influenciam a relação temperatura-mortalidade. A evolução do número de ondas de calor analisadas indica que estas aumentaram globalmente em Espanha a um ritmo de 3,9 ondas por década e a sua intensidade média anual aumentou a um ritmo de 9,5 °C/década. Estes valores na evolução temporal são superiores aos encontrados ao analisar a evolução das ondas de calor meteorológicas baseadas no percentil 95. O comportamento geográfico por IZ desta evolução temporal também é heterogéneo. À luz dos resultados obtidos neste estudo, é necessário utilizar uma definição de onda de calor baseada em estudos epidemiológicos temperatura-mortalidade e não em valores baseados em percentis meteorológicos para analisar e prevenir o impacto na saúde das ondas de calor, que é determinado por fatores locais. A evolução temporal no número de dias de onda de calor e na intensidade média anual destas ondas de calor baseadas no limiar epidemiológico é superior à das ondas de calor meteorológicas. Isto poderia estar a minimizar os impactos estimados para a saúde na análise dos futuros impactos atribuíveis ao calor.

Palavras-chave: planos de prevenção; temperatura limiar; ondas de calor; mortalidade; evolução temporal.

Abstract

Following WHO recommendations for the implementation of Public Health Prevention Plans against the impacts of high temperatures, the heatwave definition temperature (Tthreshold) was calculated in 182 isoclimatic zones (IZ) in Spain. In order to determine it, the data on daily mortality from all causes (ICD-X: A00-R99) in each of the IZs during the 2009-2018 period were analyzed as a dependent variable. The independent variable was the average value of the daily maximum temperature measured during the summer months at the meteorological observatories in each IZ. Box-Jenkins models were used to determine the mortality anomalies, and scatter diagrams were used to link these anomalies to the temperatures at which they occurred. Tthreshold in each IZ was thus determined. The number and intensity of the heatwaves that occurred in each IZ were calculated and their temporal evolution was analyzed over this period.

The results show that in 52.5 % of the IZs, the percentile of the series of maximum temperatures during the summer months to which the determined Tthreshold corresponds was below the 95th percentile of the meteorological heatwave definition; they matched only in 30.7 % of the cases. The geographical distribution of these percentiles shows great heterogeneity as a result of local factors that affect the temperature-mortality relationship. The evolution of the number of heatwaves analyzed shows that heatwaves have increased globally in Spain at a rate of 3.9 waves per decade and that their average annual intensity has increased at a rate of 9.5 °C/decade. These temporal evolution values are higher than those found when the evolution of meteorological heat waves based on the 95th percentile was analyzed. The geographic behavior by IZ of this temporal evolution is also heterogeneous.

In view of the results from this study, it is necessary to use a definition of heatwave that is based on epidemiological temperature-mortality studies and not on meteorological percentile-based values to analyze and prevent the health impact of heatwaves, which is determined by local factors. The temporal evolution of the number of heatwave days and the average annual intensity of these heatwaves based on the epidemiological threshold is greater than that of meteorological heatwaves. This could be minimizing the health impacts that are estimated in the analysis of future impacts that are attributable to heat.

Keywords: prevention plans; threshold temperature; heatwaves; mortality; temporal evolution.

INTRODUCCIÓN

Dentro del contexto actual de cambio climático, la lucha contra los impactos en salud de las temperaturas -cada vez más elevadas y que se traducen en olas de calor más frecuentes, intensas y extensas¹- es una prioridad para los servicios de salud pública. Proteger la salud de los grupos más vulnerables de los efectos del calor ha conducido a la realización de numerosos estudios a nivel internacional con el objetivo de que sus resultados puedan ser incorporados a los planes de prevención de manera eficiente, tanto a nivel de identificar grupos de especial vulnerabilidad como a nivel de mayor especificidad geográfica². Son múltiples los factores locales, y no solo climáticos, sino también de carácter social y demográfico como la estructura poblacional, las infraestructuras públicas y privadas, los servicios sanitarios disponibles, el nivel socioeconómico y muchos otros los que pueden modificar el impacto de las temperaturas extremas en la salud de la población e influir de forma determinante también en los procesos de adaptación³. No tener en cuenta el impacto e influencia que estos factores a nivel local pueden tener sobre la mortalidad atribuible al calor, además de la propia intensidad de la temperatura, es no abordar el problema con la evidencia científica existente en la actualidad.

En España, en el año 2015, el Ministerio de Sanidad Servicios Sociales e Igualdad (MSSSI) actualizó el Plan de Prevención ante altas temperaturas que se activa cada verano, fijando los umbrales de ola de calor basados en el impacto sobre la mortalidad⁴, es decir, no basado únicamente en umbrales de tipo meteorológico. Este Plan se basa en la existencia de una única temperatura máxima diaria a nivel provincial que una vez superada, provoca la puesta en marcha del sistema de alerta frente a altas temperaturas en salud pública. Sin embargo, en la búsqueda de la eficiencia del Plan de Prevención, muy pocos estudios abordan la problemática del impacto de los extremos térmicos a nivel inferior al provincial, cuando es conocido que dentro de una misma estructura administrativa definida como provincia se manifiestan diferentes tipos de condiciones climatológicas y además su evolución dentro del contexto climático actual puede ser muy diferente

Así, existe un estudio piloto realizado en Madrid^{5,6} donde en vez de considerar el impacto de una sola temperatura a nivel provincial se calcula el impacto sobre la mortalidad definiendo 3 zonas isoclimáticas (IZ) dentro de la misma provincia. Estas zonas ya están definidas previamente por la Agencia Estatal de Meteorología

española (AEMET) en su regionalización de todo el territorio estatal conocido como zonas de Metealerta (zonas geográficas constituidas por áreas de territorio homogéneas según el comportamiento climático de diferentes variables meteorológicas, contenidas dentro de una misma provincia con fines de predicción meteorológica). Los resultados obtenidos de este análisis arrojaron resultados excelentes desde el punto de vista de la gestión en salud pública. En primer lugar, sobre el número de alertas generadas y, en segundo lugar, en cuanto al impacto derivado. Es decir, se produjo tanto una disminución del número de alertas como en la disminución de las posibles muertes atribuibles al calor.

No es usual encontrar en la literatura evidencia científica que evalúe la mejora que supone en los planes de prevención frente a las olas de calor utilizar planes a ese nivel de especificidad geográfica. En una zona como el sur de Europa donde los fenómenos meteorológicos extremos se están intensificando cada verano⁷, resulta de gran interés evaluar herramientas que mejoren el funcionamiento de los citados planes. Si las zonificaciones por temperaturas isoclimáticas establecidas coinciden con las alertas sanitarias en episodios de olas de calor, la prevención de los impactos será más eficiente también en cuanto a comunicación a la población y a los profesionales de la salud. Emitir alertas de peligro por calor solo cuando es necesario en base a la evidencia contribuye a una mayor credibilidad de los esfuerzos de prevención.

El objetivo de este trabajo es, por tanto, determinar las temperaturas de definición de ola de calor y, por tanto, de activación del Plan de Prevención ante altas temperaturas para las diferentes IZ definidas por los observatorios meteorológicos de AEMET en todo el estado español. Además, evaluar cómo ha evolucionado el número de olas de calor y su intensidad a lo largo de un horizonte temporal representativo desde la óptica de los impactos en salud pública y no solo con un análisis desde el punto de vista climatológico como suele realizarse.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio epidemiológico longitudinal de series temporales y diseño ecológico. La serie temporal analizada comienza el día 1 de enero de 2009 y termina el 31 de diciembre de 2018. Las unidades muestrales analizadas fueron las zonas isoclimáticas (IZ) en las que está regionalizado todo el territorio de España. Estas son zonas ya determinadas por AEMET con fines de predicción y alerta meteorológica (Meteoalerta), y por tanto son consideradas regiones isotérmicas⁸. Es decir, áreas de territorio homogéneas en cuanto al comportamiento de las temperaturas diarias. La metodología que se describe a continuación se repitió para cada una de ellas.

1. VARIABLES UTILIZADAS

La variable dependiente utilizada fue el recuento de defunciones diarias por causas naturales (CIE-X: A00-R99) ocurridas en las diferentes IZ⁹. Estos datos fueron suministrados por el Instituto Nacional de Estadística (INE), a nivel de detalle municipal, para todos los municipios del país bajo acuerdo confidencial de cesión de microdatos.

La variable independiente fue la temperatura máxima diaria. Se seleccionó esta por ser la que manifiesta un mejor comportamiento estadístico con la mortalidad estival^{10,11}. Esta temperatura se estableció como la media de los datos registrados por los observatorios meteorológicos que se encuentran en una misma zona de predicción meteorológica o IZ. Los datos fueron suministrados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

Fueron excluidas algunas IZ por exceso de valores perdidos o inexistentes en los registros de temperatura (>10 % valores perdidos). Cuando estas contenían valores perdidos en menor proporción, los valores ausentes fueron imputados por interpolación lineal o por predicción de modelo lineal controlado por estacionalidad según se tratara de observaciones ausentes aisladas o *gaps* más largos.

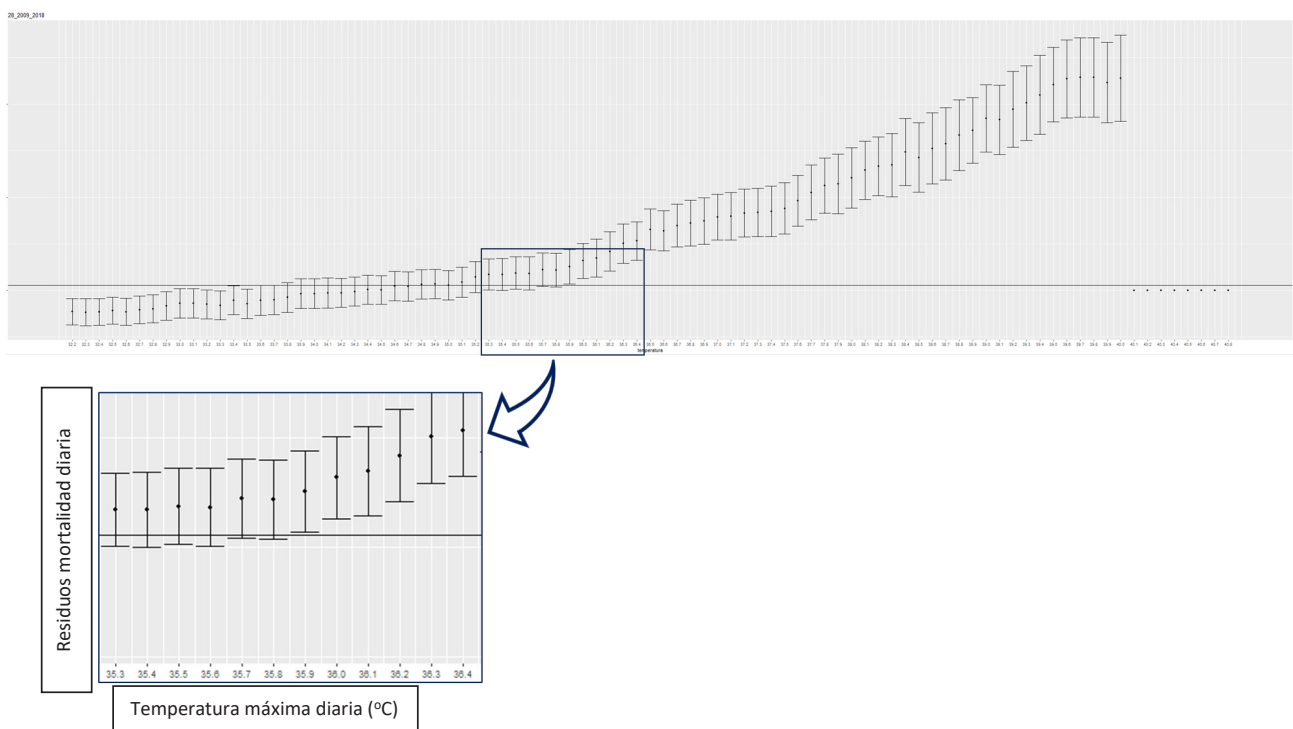
2. DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA UMBRAL DE LAS ZONAS ISOCLIMÁTICAS (IZ)

Para determinar qué temperatura debe ser considerada umbral de calor extremo en cada IZ, se procedió al análisis epidemiológico de la asociación mortalidad-temperatura como aconseja la OMS³. La metodología utilizada ha sido patentada por el Instituto de Salud Carlos III¹² y es la metodología de referencia utilizada por el Ministerio de Sanidad (Minsan) para establecer las temperaturas umbrales de activación del Plan Nacional de Actuaciones Preventivas de los efectos del exceso de temperatura sobre la salud⁴. Así mismo, existe en la literatura abundantes publicaciones que describen esta metodología¹³⁻¹⁷.

En primer lugar, se procede al ajuste de modelos Box-Jenkins para la mortalidad de cada IZ controlados por las variables de estacionalidad y tendencia, es decir, modelos ARIMA (Autorregresivo Integrado de Media Móvil)¹⁸⁻²⁰.

El ajuste de estos modelos representa, por tanto, el comportamiento esperado de la serie basado únicamente en la historia de la serie. Valores anómalos de la mortalidad debido a variables externas no consideradas, como por ejemplo la temperatura, producirán un desajuste del modelo, produciendo un aumento del residuo del modelo (diferencia entre el valor esperado y el predicho).

Figura 1. Gráfico de dispersión de residuos de la zona isoclimática 28-722802: Madrid-Metropolitana y Henares



Son estos residuos de los modelos Box-Jenkins para los meses de verano (junio-septiembre) de la mortalidad diaria los que serán objeto de representación y análisis²¹. En particular, se buscan los valores de temperatura máxima diaria estadísticamente asociados con residuos de mortalidad diaria anormalmente altos. Esto indica la asociación entre la temperatura y manifestaciones anormalmente elevadas de mortalidad estival no previsible en base al comportamiento usual de serie temporal de mortalidad.

Estos puntos de temperaturas asociados con anomalías de mortalidad se establecen con la ayuda de diagramas de dispersión X-Y. En estos, se representa en el eje de ordenadas los residuos del modelo de ajuste de la mortalidad, es decir, las diferencias anómalas entre lo previsto y lo real y en el de abscisas la temperatura máxima diaria. Una recta horizontal marca el límite superior de confianza al 95 % de probabilidad de la media de los errores del modelo.

Dado que el impacto de la temperatura sobre la mortalidad se produce en el corto plazo^{11,22}, se calcularon las medias móviles de la temperatura máxima diaria durante los tres días anteriores a cada observación. Se eligen tres días porque el mayor impacto de la temperatura sobre la mortalidad diaria suele darse a muy corto plazo (0-3 días)²³. Posteriormente, se calculó el error medio del modelo por rangos de temperatura de ± 1 °C, donde i representa cada uno de los grados Celsius incluidos en el rango de temperaturas máximas observadas^{5,16}. En otras palabras, se calcula el error medio del modelo por intervalos de temperatura de dos en dos grados que recorren todo el intervalo de temperaturas y solapan entre sí. Estos valores residuales medios por intervalos de temperatura son representados en los diagramas cartesianos junto con sus intervalos de confianza bilaterales al 95 % de probabilidad.

Se establece como Temperatura umbral (Tumbral) de definición de ola de calor aquella que se asocia con errores estadísticamente superiores al error medio del modelo. Un ejemplo de estos diagramas y la identificación de su umbral de ola de calor puede observarse en la figura 1, en la que se representa la determinación de la temperatura umbral de ola de calor correspondiente a la IZ de Madrid-Metropolitana y Henares (código 28-722802).

Una vez determinada la temperatura umbral de ola de calor en grados Celsius (°C), estas no pueden ser directamente comparadas entre sí dado que dependen de la climatología local^{11,16}. Por ello, fueron traducidas a percentiles de temperatura correspondiente a la serie de temperaturas máximas de los meses de verano de cada IZ.

En algunas IZ no fue detectada temperatura umbral de calor extremo, probablemente debido al bajo recuento

de mortalidad en ellas. En estos casos, se seleccionó como temperatura umbral la temperatura máxima diaria de la IZ correspondiente al percentil umbral establecido para la provincia⁴. En caso de que tampoco haya percentil a nivel provincial, se empleó la temperatura situada en el percentil 95 de la IZ correspondiente. También hay casos en los que en esa IZ no existen observatorios meteorológicos con series de datos de temperatura máxima diaria con menos de un 10 % de valores perdidos. En ese caso no aparece ninguna temperatura umbral de definición de ola de calor.

Para la metodología descrita en este apartado fueron empleados dos softwares. Por un lado, el software libre R.4.3.0. Para el procesamiento y depuración de las bases de datos y la determinación de las temperaturas umbrales. Por otro lado, el ajuste de modelos ARIMA fue realizado con el paquete básico de software IBM SPSS Statistics 29.0.0.0.

3. CARACTERIZACIÓN DEL NÚMERO DE OLAS DE CALOR, INTENSIDAD MEDIA E INTENSIDAD ANUAL DE LAS OLAS DE CALOR

Para cada IZ y a partir de la definición establecida de ola de calor (Tumbral) se definió la variable Tcal del siguiente modo:

$$\begin{aligned} Tcal &= 0 && \text{si } T_{\max} < T_{\text{umbral}} \\ Tcal &= T_{\max} - T_{\text{umbral}} && \text{si } T_{\max} > T_{\text{umbral}} \end{aligned}$$

Donde T_{\max} es la temperatura máxima diaria de cada región.

El **número de olas de calor (Num)** para cada año es el número de días en los que Tcal es > 0 , es decir el número de días en los que se supera la Tumbral.

Para tener en cuenta la **intensidad media (Intmedia)** de las olas de calor que se producen en un año basta con tener en cuenta el valor medio de Tcal ese año y se medirá en °C/día, calculado para Tcal > 0 .

La **intensidad total de las olas de calor (Inttotal)** que se producen en un año será:

$$\text{Inttotal} = \text{Num} * \text{Intmedia}. \text{ Su unidad es } ^\circ\text{C}$$

4. EVOLUCIÓN TEMPORAL DEL NÚMERO DE OLAS DE CALOR, INTENSIDAD MEDIA E INTENSIDAD ANUAL DE LAS OLAS DE CALOR

A partir de cada uno de los valores anuales de los parámetros anteriormente calculados se procedió a su ajuste lineal. Se elige el ajuste lineal porque se pretende determinar una tendencia obtenida como la pendiente de una recta en °C/año o °C/década, y que intuitivamente

sea fácilmente comprensible. La pendiente de dicha recta representa el aumento por año de cada uno de los valores anteriores. Valores positivos de la pendiente representarán un ritmo creciente en la evolución de ese parámetro. Un valor negativo de la pendiente indicará un descenso de ese indicador a lo largo del tiempo.

RESULTADOS

En la figura 2, se representa la Tumbal para cada una de estas IZ existentes en España para los que se ha calculado Tumbal. Estos valores oscilan entre una

Figura 2. Mapa de las temperaturas umbrales para las diferentes regiones isoclimáticas de España

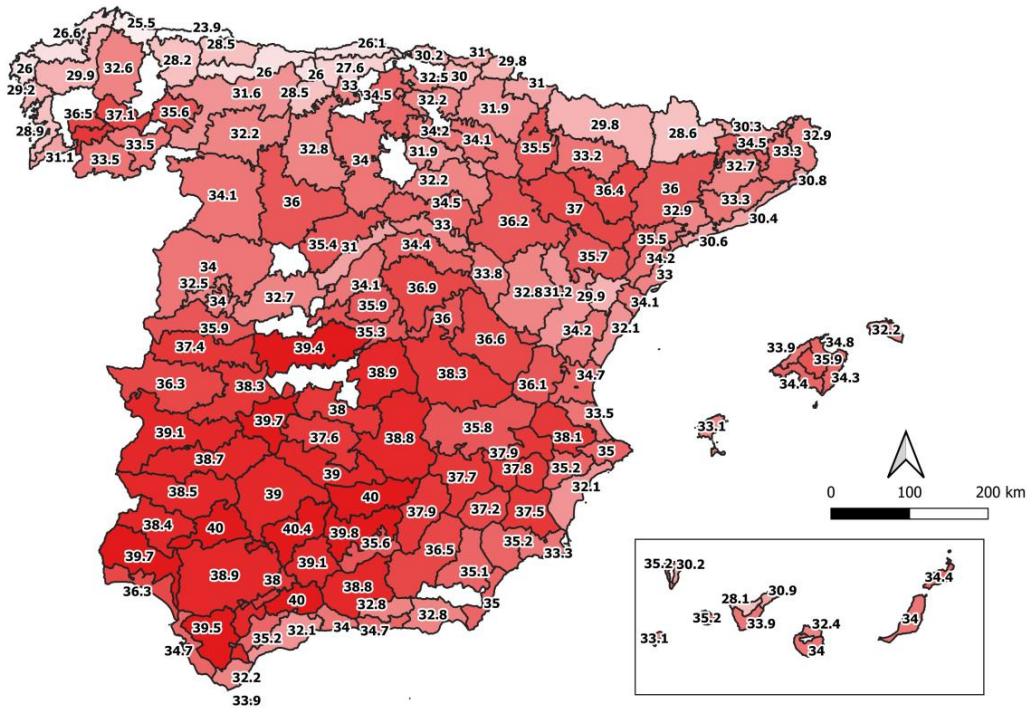
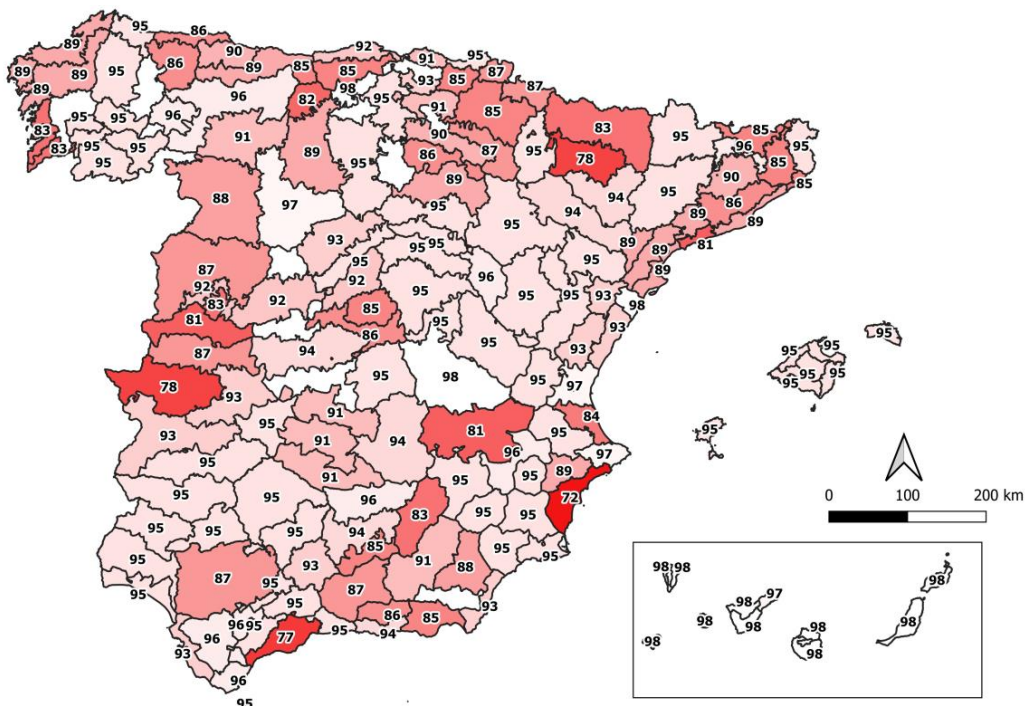


Figura 3. Percentiles a los que corresponden las temperaturas umbrales de cada región isoclimática en relación a la serie de temperaturas máximas de los meses de verano del periodo 2009-2018



temperatura máxima diaria de 23,9 °C correspondiente al Litoral Occidental Asturiano y 40,4 °C de la Campiña Cordobesa lo que supone una diferencia de 16,5 °C.

Con objeto de poder comparar las Tumbal en relación a las temperaturas máximas diarias que se registran en cada lugar se estableció a qué percentil corresponde dicha Tumbal en relación a las temperaturas máximas diarias de los meses de verano del periodo considerado.

En la figura 3, se muestran dichos percentiles que oscilan entre el percentil 72 correspondiente al Litoral Sur de Alicante y el percentil 98 del Litoral Norte de Castellón y de la región de la Mancha Conquense así como Las Palmas de Gran Canaria y Santa Cruz de Tenerife. El haber utilizado el percentil 95 correspondiente a la definición de ola de calor meteorológica para el caso del Litoral Sur de Alicante supondría, cada año, no haber activado el Plan de Prevención ante olas de calor el 23 % de los días con el posible impacto en la salud de la población.

Tabla 1. Variaciones en la década 2009-2018 en el número de días de olas de calor, la intensidad media de las olas de calor y la intensidad anual de las olas de calor según las diferentes Comunidades Autónomas de España. Situación de las diferentes Comunidades Autónomas en España.*Incrementos/decrementos estadísticamente significativos

	Número de Regiones Isoclimáticas	Tendencia decadal delos días de ola de calor (días)	Tendencia decadal de la intensidad media de las olas de calor (°C/día)	Tendencia decadal de la intensidad anual de las olas de calor (°C)
Andalucía	28	6*	0,4*	12,9*
Aragón	9	2	0,0	5,3
Asturias	4	7*	0,4*	20,0*
Islas Baleares	7	-4	-0,2	-2,1
Islas Canarias	10	-3*	-1,5*	-4,6
Cantabria	4	3*	0,5*	15,4
Castilla y León	19	4*	0,8*	12,0*
Castilla- La Mancha	15	10*	0,8*	15,7*
Cataluña	15	7*	0,2*	11,9*
Comunidad Valenciana	11	2*	-0,3	4,3*
Extremadura	8	5*	1,5*	18,1*
Galicia	13	4*	0,9*	16,0*
Madrid	3	1,3*	1,2*	1,1*
Murcia	5	-1,9	-0,6*	-6,4*
Navarra	4	-0,1	-0,3	-1,5
País Vasco	5	0,1	0,0	3,8*
La Rioja	2	3,4	-0,2	11,6*
Toda España	162	3,9	0,3	9,5



En general en 85 IZ, es decir, el 52,5 %, el umbral de definición de ola de calor está por debajo del percentil 95 y un 16,7 % por encima. Solo en el 30,7 % de las zonas (47 regiones) el percentil al que corresponde la Tumbal coincide con la definición meteorológica de ola de calor.

En cuanto a la evolución temporal del número de olas de calor, basada en la definición epidemiológica de ola de calor, para toda España estas han experimentado un incremento medio de 3,9 días de ola de calor en la década analizada. La intensidad media en cada día de ola de calor ha aumentado en 0,3 °C/día de ola de calor y la intensidad anual ha subido en 9,5 °C. Todos estos incrementos son estadísticamente significativos a $p < 0,05$.

En la tabla 1, se muestran los resultados agrupados para las 17 Comunidades Autónomas y para el conjunto de España, junto con la ubicación de cada Comunidad Autónoma. En ella, puede observarse que ese comportamiento es similar al descrito para toda España con incrementos en las tendencias de los 3 parámetros analizados salvo en las Islas Baleares, en las Islas Canarias y en las Comunidades de Murcia y Navarra en las que decrecen las tres tendencias. En la Comunitat Valenciana y en La Rioja no se observa incremento en la intensidad media de las olas de calor, aunque sí hay incremento en el número de días de ola de calor y en la intensidad anual.

La mayor variación en el número de días de ola de calor se ha observado en Castilla-La Mancha en el que ha habido 10 olas de calor más al principio de la década que al final. En cuanto a la intensidad media de las olas de calor es en Extremadura en donde de media las olas de calor han sido 1,5 °C más intensas al final de la década que al principio. En cuanto a la mayor intensidad de las olas de calor acumuladas en un año es en Asturias donde se han encontrado las mayores variaciones con incremento en la intensidad media anual de hasta 20 °C.

La figura 4a muestra el comportamiento de la variación decadal de los días de ola de calor. En ese mapa, se puede observar de forma general, que los mayores incrementos se dan en las zonas del interior. Lo mismo puede observarse en la figura 4b en cuanto a la intensidad media de las olas de calor siendo en los archipiélagos Balear y Canario y en el Levante español donde es menor este aumento. La intensidad anual de las olas de calor muestra un comportamiento aún más heterogéneo como puede observarse en la figura 4c.

DISCUSIÓN

Con el conocimiento científico actual es evidente que el impacto que las olas de calor tienen sobre la salud de la población viene modulada por numerosos factores que van más allá de los valores que alcance la temperatura máxima diaria, es decir, de la intensidad que tiene esa ola de

calor²⁴. Estos factores abarcan aspectos socioeconómicos como el nivel de renta²⁵ pero también las características demográficas de la población y su vulnerabilidad²⁶⁻²⁸. El carácter rural o urbano de cada lugar¹⁶, la frecuencia con que están sometidos o no a las olas de calor¹⁶, las infraestructuras urbanas con la existencia o no de zonas verdes²⁹, o la calidad de la vivienda³⁰⁻³², pueden ser algunos de estos factores locales que pueden modificar el impacto de la temperatura sobre la mortalidad. Por tanto, carece de lógica que la temperatura a partir de la cual se define una ola de calor desde el punto de vista de la salud se base únicamente en un percentil meteorológico fijo para todos los lugares de un ámbito geográfico, valor que no tiene en consideración ninguno de los factores anteriormente considerados. Es por eso que la WHO establece claramente la participación de estos factores a nivel local en relación a la implementación de los planes de prevención "*Threshold levels should be based on health risks and not only on meteorological conditions*"³.

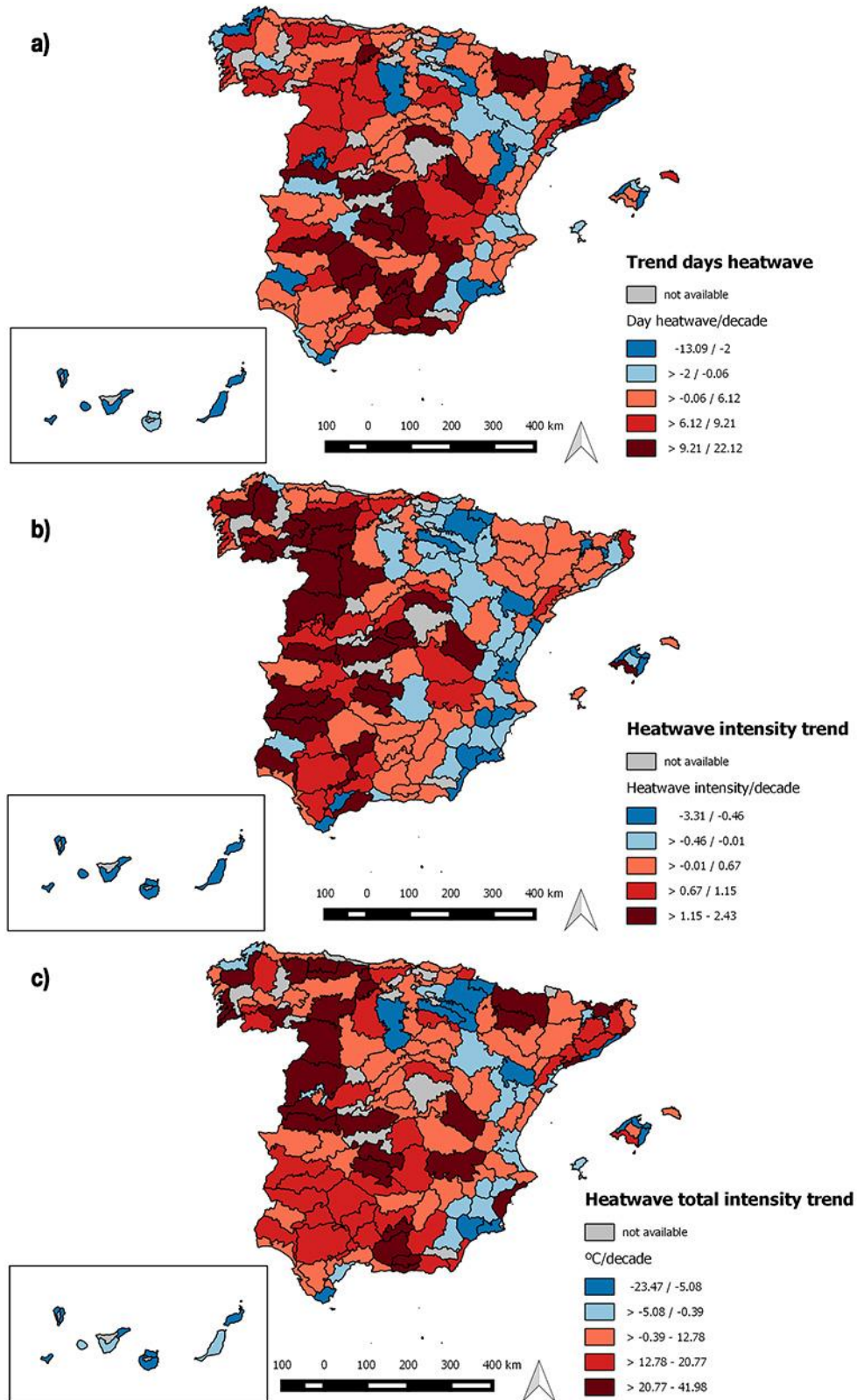
Los resultados de este estudio realizado para España muestran que en el 52,6 % de los casos el percentil de la serie de las temperaturas máximas de los meses de verano a los que corresponde la Tumbal de definición de ola de calor está por debajo del percentil 95 que es el que corresponde a la definición de ola de calor desde un punto de vista meteorológico. Utilizar este percentil significaría no activar el Plan de Prevención ante olas de calor cuando es necesario en más de la mitad de las IZ de España, con el consiguiente impacto en la mortalidad que podría evitarse al activar dicho Plan de Prevención³³. Por otro lado, para las regiones con percentiles superiores al 95 activar los Planes de Prevención en este percentil llevaría consigo activarlos cuando no es necesario con el consiguiente gasto en recursos y posible pérdida de credibilidad del Plan^{34,35}.

En este estudio también se presenta un avance importante en cuanto a la implementación de los Planes de Prevención⁴, que consiste en disminuir de la escala provincial a la escala de IZ. Este avance permite tener en algunos casos hasta 5 zonas geográficas por provincia lo que posibilita tener en cuenta estos factores locales que determinan en gran medida el diferente impacto en la mortalidad de las olas de calor³.

Un estudio realizado para la provincia de Madrid³⁶ comparando la mortalidad que se podría evitar utilizando umbrales de zonas geográficas por debajo de la provincial en periodo 2000-2009 concluyó que se podrían evitar 73 muertes en este periodo IC95 %: (73 -108) y no emitir alertas innecesarias en salud pública 570 ocasiones.

Por otro lado, algunos estudios utilizan percentiles fijos (el 95, el 97 e incluso el 99) para estimar el impacto en salud de las temperaturas^{11,33} o para el denominado calor extremo^{37,38}. Desde nuestro punto de vista, utilizar

Figura 4. Evolución temporal de las olas de calor en días, intensidad y de la intensidad anual en el periodo 2009-2018



un percentil fijo puede conducir a que la temperatura que representa ese percentil no se corresponda con la temperatura a la que realmente se produce una ola de calor, mientras que en otros lugares el mismo percentil sí puede responder a temperaturas por encima de la definición de ola de calor. En este caso se estarían comparando el impacto en salud en días de ola de calor con otros en los que no hay tal ola de calor, lo que incluiría sesgos en los resultados que se obtengan al comparar situaciones diferentes.

El incremento encontrado del número de días de ola de calor y el aumento en la intensidad media de las olas de calor en España desde el punto de vista de la salud es coherente con los trabajos que establecen un incremento en el número de días de eventos meteorológicos extremos con importantes efectos en salud tanto en el Norte como en el Sur de Europa (ECMWF, 2020), llegando incluso a estimarse que, fenómenos con altos impacto en salud como la ola de calor de 2003 que provocó un exceso de 70 000 muertes en Europa³⁹, pueda hacerse el doble de frecuentes⁴⁰.

Desde un punto de vista de definición de ola de calor meteorológica en España desde 1975 a 2019 las olas de calor han aumentado a un ritmo de 3 días por década⁴¹. Este estudio indica que las olas de calor con impacto en salud están creciendo a un ritmo superior (3,9 días/década) que las olas de calor meteorológicas, si bien los periodos temporales de análisis son diferentes. También el incremento de la intensidad media de las olas de calor anuales encontrado en este estudio de 9,5 °C/década es superior al incremento de 6°C/década encontrado en otros estudios basados en la definición meteorológica de ola de calor⁴³. Probablemente esto se deba a que la mayoría de las olas de calor en España (52,6 %) desde el punto de vista de la salud están por debajo del percentil 95 de definición de ola de calor meteorológica lo que hace que sean más numerosas y más intensas. Por tanto, parece que las olas de calor basadas en la definición de salud estarían creciendo a un ritmo superior tanto en frecuencia como en intensidad que las olas de calor meteorológicas, al menos en España. De confirmarse estos resultados en otros lugares, los estudios basados en la evolución temporal de extremos térmicos establecidos a partir de percentiles meteorológicos podrían estar minimizando las consecuencias que podrían tener el calor extremo en la salud humana.

Los resultados de la figura 4 junto los que aparecen en la tabla 1, muestran claramente la gran heterogeneidad geográfica existente en España, mientras que en unos lugares la tendencia encontrada en los 3 parámetros analizados en la evolución temporal de las olas de calor es claramente ascendente, en otros, resulta todo lo contrario. Estos resultados son coherentes con los encontrados con otras investigaciones realizadas en

España en relación a futuros impactos de las olas de calor en la mortalidad en 2021-2050⁴². En este estudio se observa que en los lugares donde no está previsto que se produzcan olas de calor con impacto en mortalidad, aún en el escenario de emisiones RCP8.5, son Murcia, Santa Cruz de Tenerife, Las Palmas y las Islas Baleares que son las mismas zonas en las que en este estudio no se ha detectado un incremento en la tendencia del número de olas de calor.

La heterogeneidad encontrada tanto en los percentiles a los que corresponden las Tumbal de definición de ola de calor, así como en la evolución temporal de su duración e intensidad están relacionadas con la diferente vulnerabilidad al calor que existe en las regiones españolas y que viene marcado por el distinto nivel de renta, la calidad de las viviendas, la frecuencia de las olas de calor que se dan en cada lugar, la pirámide de población o el carácter rural o urbano de estas regiones⁵ y enfatizan la necesidad de establecer planes de prevención ante olas de calor a escala menor a la provincial como aquí se ha realizado. Por otro lado, los resultados aquí encontrados deben considerarse esenciales de cara a priorizar las zonas geográficas en las que deben anticiparse la adopción de medidas dirigidas hacia disminuir la vulnerabilidad frente a las altas temperaturas⁵ y aumentar la adaptación ante las olas de calor^{43,44}.

Una de las limitaciones del estudio puede estar en el método de imputar valores perdidos mediante interpolación lineal o por predicción del modelo lineal controlando por estacionalidad según se tratara de observaciones ausentes aisladas o por *gaps* más largos en vez de utilizar el método de imputación múltiple MICE que podría dar resultados más precisos que el aquí utilizado. No obstante, el método utilizado en ese estudio ha sido ya implementado en otras ocasiones⁴⁵ y puede considerarse el adecuado a las características de nuestros datos ya que no se tiene una serie temporal completa sino la compuesta por una sucesión de series de datos de los meses de verano. Además, al ser pocas las lagunas rellenadas y de escasa longitud el posible efecto sobre el comportamiento de la serie es limitado.

Otro sesgo puede encontrarse en la heterogeneidad de la ubicación los observatorios meteorológicos y de su representatividad. Al trabajar con valores medios de todos los observatorios existentes en cada isozona este sesgo queda minimizado. Por último, al igual que ocurre con los estudios que analizan el efecto de la contaminación en variables de salud puede existir un problema en la asignación de la temperatura real a la que está expuesta una población, limitación inherente a los estudios ecológicos que impiden extrapolar los resultados a nivel individual^{46,47}.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que la definición de ola de calor es diferente desde el punto de vista de la salud (a través del impacto en la mortalidad) y desde el nivel meteorológico ya que corresponden a conceptos distintos. La definición meteorológica, se obtiene como un percentil de una serie climatológica (percentil 95), la definición en salud, como la temperatura máxima diaria a partir de la cual aumenta la mortalidad de forma estadísticamente significativa, y aunque, evidentemente, influye las temperaturas registradas, también intervienen otros factores que hacen que en la mayoría de las ocasiones ambas definiciones no coincidan. El mayor número de lugares en los que la temperatura umbral de definición de ola de calor en salud está por debajo del percentil 95 hace que la evolución temporal en el número de días de ola de calor y la intensidad media anual de estas olas de calor desde el punto de vista de la salud sea superior al de las olas de calor meteorológicas, lo que podría estar minimizando los impactos estimados para la salud al utilizar la definición meteorológica y no la de salud en relación a futuros impactos atribuibles al calor.

Por otro lado, la heterogeneidad en el comportamiento tanto de los percentiles a los que corresponden las temperaturas de ola de calor en salud como su diferente evolución temporal, es fruto de la incidencia que en la mortalidad tiene los factores locales. Este claro efecto de los factores locales hace necesario utilizar una escala inferior a la provincial para la activación de los planes de prevención ante altas temperaturas. Esto redundará en una disminución de la mortalidad atribuible a las olas de calor y en la disminución en el número de alertas que se activen cada año como consecuencia de las altas temperaturas en España.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento por las siguientes subvenciones del Instituto de Salud Carlos III (ISCIII) para los proyectos ENPY 304/20 y ENPY 436/2.

BIBLIOGRAFÍA

- IPCC. Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Internet]. 1.ª ed. Cambridge University Press; 2023 [citado 11 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://www.cambridge.org/core/product/identifier/9781009157896/type/book>.
- EPA. Climate Change and Heat Islands [Internet]. 2022 [citado 11 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://www.epa.gov/heatislands/climate-change-and-heat-islands>.
- WHO. Heat and health in the WHO European Region: updated evidence for effective prevention [Internet]. Denmark; 2021. Disponible en: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/Climate-change/publications/2021/heat-and-health-in-the-who-european-region-updated-evidence-for-effective-prevention-2021>.
- MSAN. Plan nacional de actuaciones preventivas de los efectos del exceso de temperatura sobre la salud [Internet]. 2023. Disponible en: https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/planAltasTemp/2023/Plan_nacional_actuaciones_preventivas.htm.
- López-Bueno JA, Navas-Martín MA, Linares C, Mirón IJ, Luna MY, Sánchez-Martínez G, et al. Analysis of the Impact of Heat Waves on Daily Mortality in Urban and Rural Areas in Madrid. *Environmental Research* [Internet]. 2021;110892. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110892>.
- López-Bueno JA, Díaz J, Linares C. Differences in the impact of heat waves according to urban and peri-urban factors in Madrid. *International journal of biometeorology* [Internet]. 2019;63(3):371-80. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01670-9>.
- MedECC. Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin - Current Situation and Risks for the Future: 1st Mediterranean Assessment Report [Internet]. Mediterranean Experts on Climate and environmental Change (MedECC); 2020. Report No.: 1. Disponible en: <https://www.medecc.org/>.
- Roldán E, Gómez M, Pino MR, Esteban M, Díaz J. Determinación de zonas isoclimáticas y selección de estaciones meteorológicas representativas en Aragón como base para la estimación del impacto del cambio climático sobre la posible relación entre la mortalidad y temperatura. *Rev Esp Salud Publica*. 2011;85:603-10.
- MSAN. eCIE10ES. Edición electrónica de la CIE-10-ES [Internet]. 2023 [citado 2 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://eciemaps.mscbs.gob.es/ecieMaps/browser/metabusador.html>.
- Díaz J, Carmona R, Mirón I, Ortiz C, Linares C. Comparison of the effects of extreme temperatures on daily mortality in Madrid (Spain), by age group: The need for a cold wave prevention plan. *Environmental Research* [Internet]. 2015;143:186-91. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.10.018>.
- Guo Y, Gasparri A, Armstrong BG, Tawatsupa B, Tobias A, Lavigne E, et al. Heat Wave and Mortality: A Multicountry, Multicommunity Study. *Environ Health Perspect* [Internet]. 16 de agosto de 2017 [citado 22 de enero de 2021];125(8):087006. Disponible en: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/EHP1026>.
- Díaz J, López-Bueno JA, Linares C. Patente: «Determinación de los umbrales epidemiológicos de temperatura de definición de ola de calor y de ola de frío basados en la mortalidad diaria poblacional». 16/2023/2287, 2023.
- Díaz J, Carmona R, Linares C. Temperaturas umbrales de disparo de la mortalidad atribuible al calor en España en el periodo 2000-2009. Instituto de Salud Carlos III, Escuela Nacional de Sanidad; 2015.
- Linares C, Mirón IJ, Montero JC, Criado-Álvarez JJ, Tobías A, Díaz J. The time trend temperature-mortality as a factor of uncertainty analysis of impacts of future heat waves. *Environ Health Perspect* [Internet]. mayo de 2014;122(5):A118. Disponible en: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.1308042R>.

15. Linares C, Sánchez R, Mirón IJ, Díaz J. Has there been a decrease in mortality due to heat waves in Spain? Findings from a multicity case study. *Journal of Integrative Environmental Sciences* [Internet]. 3 de abril de 2015;12(2):153-63. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1943815X.2015.1062032>.
16. López-Bueno JA, Navas-Martín MA, Díaz J, Mirón IJ, Luna MY, Sánchez-Martínez G, et al. Analysis of vulnerability to heat in rural and urban areas in Spain: What factors explain Heat's geographic behavior? *Environmental Research* [Internet]. octubre de 2021 [citado 26 de octubre de 2021];112213. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112213>.
17. López-Bueno JA, Díaz J, Follos F, Vellón JM, Navas-Martín MA, Culqui D, et al. Evolution of the threshold temperature definition of a heat wave vs. evolution of the minimum mortality temperature: a case study in Spain during the 1983–2018 period. *Environ Sci Eur* [Internet]. diciembre de 2021 [citado 10 de octubre de 2022];33(1):101. Disponible en: <https://enveurope.springeropen.com/articles/10.1186/s12302-021-00542-7>.
18. Box GE, Jenkins GM, Reinsel GC. *Time series analysis. Forecasting and Control*. Hall International; 1994.
19. Brockwell PJ, Davis RA. *Introduction to Time Series and Forecasting* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2016 [citado 14 de diciembre de 2020]. (Springer Texts in Statistics). Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-29854-2>.
20. Cowpertwait PSP, Metcalfe AV. *Introductory Time Series with R* [Internet]. New York, NY: Springer New York; 2009 [citado 20 de noviembre de 2020]. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/978-0-387-88698-5>.
21. Barbieri C, Bertini I. *Fundamentals of astronomy*. CRC Press. 2020.
22. Chien LC, Guo Y, Zhang K. Spatiotemporal analysis of heat and heat wave effects on elderly mortality in Texas, 2006-2011. *Sci Total Environ*. 15 de agosto de 2016;562:845-51.
23. López-Bueno JA, Navas-Martín MA, Díaz J, Mirón IJ, Luna MY, Sánchez-Martínez G, et al. Population vulnerability to extreme cold days in rural and urban municipalities in ten provinces in Spain. *Science of The Total Environment* [Internet]. diciembre de 2022 [citado 12 de septiembre de 2022];852:158165. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158165>.
24. Díaz J, Linares C, Tobías A. Impact of extreme temperatures on daily mortality in Madrid (Spain) among the 45-64 age-group. *International Journal of Biometeorology*. 2006;50(6):342-8.
25. López-Bueno JA, Díaz J, Sánchez-Guevara C, Sánchez-Martínez G, Franco M, Gullón P, et al. The impact of heat waves on daily mortality in districts in Madrid: The effect of sociodemographic factors. *Environmental research* [Internet]. 2020;190:109993. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109993>.
26. Benmarhnia T, Deguen S, Kaufman J, Smargiassi A. Review Article: Vulnerability to Heat-related Mortality: A Systematic Review, Meta-analysis, and Meta-regression Analysis. *Epidemiology (Cambridge, Mass)* [Internet]. noviembre de 2015;26(6):781-93. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26332052>.
27. Linares C, Martínez-Martin P, Rodríguez-Blázquez C, Forjaz MJ, Carmona R, Díaz J. Effect of heat waves on morbidity and mortality due to Parkinson's disease in Madrid: A time-series analysis. *Environ Int*. mayo de 2016;89-90:1-6.
28. Wei Y, Wang Y, Lin CK, Yin K, Yang J, Shi L, et al. Associations between seasonal temperature and dementia-associated hospitalizations in New England. *Environment International* [Internet]. mayo de 2019 [citado 11 de octubre de 2023];126:228-33. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0160412018318737>.
29. Bundle N, O'Connell E, O'Connor N, Bone A. A public health needs assessment for domestic indoor overheating. *Public Health* [Internet]. agosto de 2018 [citado 11 de octubre de 2023];161:147-53. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0033350617304298>.
30. Buchin O, Hoelscher MT, Meier F, Nehls T, Ziegler F. Evaluation of the health-risk reduction potential of countermeasures to urban heat islands. *Energy and Buildings* [Internet]. 15 de febrero de 2016;114:27-37. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778815300657>.
31. Vellei M, Ramallo-González AP, Coley D, Lee J, Gabe-Thomas E, Lovett T, et al. Overheating in vulnerable and non-vulnerable households. *Building Research & Information* [Internet]. 17 de febrero de 2017 [citado 11 de octubre de 2023];45(1-2):102-18. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09613218.2016.1222190>.
32. Flouris AD, McGinn R, Poirier MP, Louie JC, Ioannou LG, Tsoutsoubi L, et al. Screening criteria for increased susceptibility to heat stress during work or leisure in hot environments in healthy individuals aged 31–70 years. *Temperature* [Internet]. 2 de enero de 2018 [citado 10 de octubre de 2022];5(1):86-99. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23328940.2017.1381800>.
33. Tobías A, Armstrong B, Zuza I, Gasparrini A, Linares C, Díaz J. Mortality on extreme heat days using official thresholds in Spain: a multi-city time series analysis. *BMC Public Health* [Internet]. 2012;12(1):133. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-133>.
34. Montero JC, Mirón IJ, Criado JJ, Linares C, Díaz J. Comparison between two methods of defining heat waves: A retrospective study in Castile-La Mancha (Spain). *Science of the Total Environment* [Internet]. 2010;408(7):1544-50. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.01.013>.
35. Montero JC, Miron IJ, Criado JJ, Linares C, Díaz J. Difficulties of defining the term, "heat wave", in public health. *International Journal of Environmental Health Research* [Internet]. octubre de 2013 [citado 11 de octubre de 2023];23(5):377-9. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09603123.2012.733941>.
36. Carmona R, Linares C, Ortiz C, Mirón IJ, Luna MY, Díaz J. Spatial variability in threshold temperatures of heat wave mortality: impact assessment on prevention plans. *International Journal of Environmental Health Research*. 2017;27(6).
37. Salvador C, Gullón P, Franco M, Vicedo-Cabrera AM. Heat-related first cardiovascular event incidence in the city of Madrid (Spain): Vulnerability assessment by demographic, socioeconomic, and health indicators. *Environmental Research* [Internet]. junio de 2023 [citado 11 de octubre de 2023];226:115698. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0013935123004905>.
38. Quijal-Zamorano M, Martínez-Solanas È, Achebak H, Petrova D, Robine JM, Herrmann FR, et al. Seasonality reversal of temperature attributable mortality projections due to previously unobserved extreme heat in Europe. *The Lancet Planetary Health* [Internet]. septiembre de 2021 [citado 11 de octubre de 2023];5(9):e573-5. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2542519621002114>.

39. Robine JM, Cheung SLK, 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* [Internet]. febrero de 2008 [citado 11 de octubre de 2023];331(2):171-8. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1631069107003770>.
40. Christidis N, Jones GS, Stott PA. Dramatically increasing chance of extremely hot summers since the 2003 European heatwave. *Nature Clim Change* [Internet]. enero de 2015 [citado 11 de octubre de 2023];5(1):46-50. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/nclimate2468>.
41. AEMET. Informe del estado del clima en España en 2022. Resumen ejecutivo [Internet]. Agencia Estatal de Meteorología; 2023 [citado 11 de octubre de 2023]. Disponible en: https://www.aemet.es/es/conocerlas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/detalles/informe_estado_clima.
42. Díaz J, Sáez M, Carmona R, Mirón IJ, Barceló MA, Luna MY, et al. Mortality attributable to high temperatures over the 2021–2050 and 2051–2100 time horizons in Spain: Adaptation and economic estimate. *Environmental Research* [Internet]. 2019 [citado 2 de diciembre de 2020];172:475-85. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0013935119301215>.
43. Lorenzo N, Díaz-Poso A, Royé D. Heatwave intensity on the Iberian Peninsula: Future climate projections. *Atmospheric Research* (2021), 258:105655.
44. Navas-Martín M, López-Bueno JA, Díaz J, Follos F, Vellón J, Mirón I, et al. Effects of local factors on adaptation to heat in Spain (1983–2018). *Environmental Research* [Internet]. junio de 2022 [citado 11 de octubre de 2023];209:112784. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0013935122001116>.
45. López-Bueno JA, Navas-Martin MA, Díaz J, Mirón IJ, Luna MY, Sánchez-Martínez G, et al. Analysis of Vulnerability to Heat in Rural and Urban Areas in Spain: What Factors Explain Heat's Geographic Behavior? *Environmental Research*. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112213>. 207 (2022) 112213.
46. Gelfand, A.E., 2010. Misaligned spatial data: the change of support problem. In: Gelfand, A.E., Diggle, P.J., Fuentes, M., Guttorp, P. (Eds.), *Handbook of Spatial Statistics*. Taylor & Francis, Boca Raton, FL, USA.
47. Barceló MA, Varga D, Tobías A, Díaz J, Linares C, Saez M. 2016. Long term effects of traffic noise on mortality in the city of Barcelona, 2004–2007. *Environ Res*. 147, 193–206.