

TESIS DOCTORAL

2024

**Influencia de los factores sociales en
la adaptación poblacional al calor en
España 1983-2018: Un marco
conceptual**

MIGUEL ÁNGEL NAVAS MARTÍN

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS
BIOMÉDICAS Y SALUD PÚBLICA**

Dr. Julio Díaz

Prof. Investigación. Codirector de la Unidad de Referencia en Cambio Climático, Salud y Medio Ambiente Urbano. Instituto de Salud Carlos III. Madrid (España).

Dra. Cristina Linares

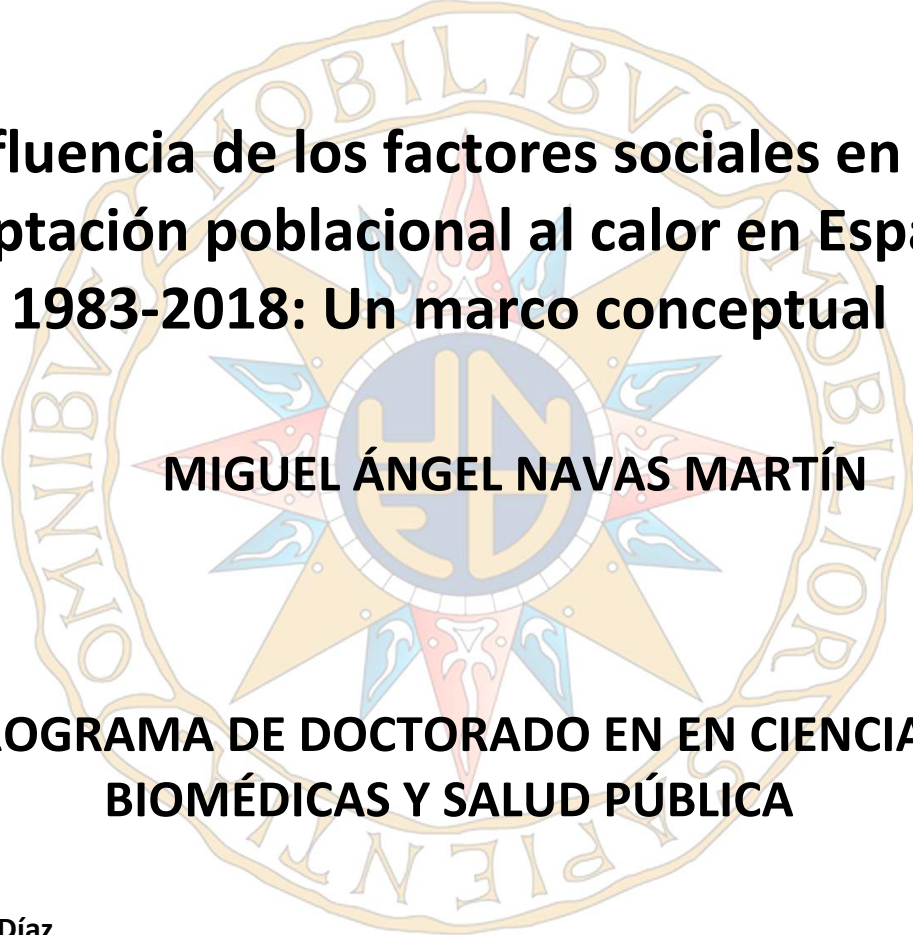
Científica Titular. Codirectora de la Unidad de Referencia en Cambio Climático, Salud y Medio Ambiente Urbano. Instituto de Salud Carlos III. Madrid (España).

Dr. Gerardo Sánchez Martínez

Experto en Medio Ambiente y Salud. Agencia Europea de Medio Ambiente. Copenhagen (Dinamarca).

TESIS DOCTORAL

2024



Influencia de los factores sociales en la adaptación poblacional al calor en España 1983-2018: Un marco conceptual

MIGUEL ÁNGEL NAVAS MARTÍN

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN EN CIENCIAS
BIOMÉDICAS Y SALUD PÚBLICA**

Dr. Julio Díaz

Prof. Investigación. Codirector de la Unidad de Referencia en Cambio Climático, Salud y Medio Ambiente Urbano. Instituto de Salud Carlos III. Madrid (España).

Dra. Cristina Linares

Científica Titular. Codirectora de la Unidad de Referencia en Cambio Climático, Salud y Medio Ambiente Urbano. Instituto de Salud Carlos III. Madrid (España).

Dr. Gerardo Sánchez Martínez

Experto en Medio Ambiente y Salud. Agencia Europea de Medio Ambiente. Copenhagen (Dinamarca).

“Lo que no se define no se puede medir. Lo que no se mide, no se puede mejorar. Lo que no se mejora, siempre se degrada”

Lord William T. Kelvin

A mis hijas, Lucía y Ángela

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis directores de tesis, Julio, Cristina y Gerardo. Han demostrado habilidades excepcionales para guiarme, orientarme y enseñarme a través del rigor científico. Para mí, lo aprendido tiene un valor incalculable.

En segundo lugar, quiero agradecer a mi compañero José Antonio, quien ha sido también un guía fundamental en mi camino. Siempre ha estado dispuesto a dedicarme tiempo, ya sea para abordar cuestiones metodológicas o incluso aquellas que van más allá de lo estrictamente profesional, pero que también son esenciales.

En tercer lugar, mi gratitud se extiende a todas las compañeras y compañeros que han contribuido significativamente al desarrollo de la metodología, la curación de los datos y sus valiosos comentarios en la elaboración de los manuscritos.

Asimismo, quiero agradecer a mi familia, la que he formado con Teresa, Lucía y Ángela, quienes son mi principal motivación para la superación personal. También agradezco a mi familia de la que provengo que son mis padres y hermanos, por su apoyo constante y por enseñarme los valores que considero esenciales en la vida. Mi gratitud también es extensible a las amigas y amigos que de alguna forma han compartido este camino conmigo. Asimismo, quiero recordar a aquellas personas que ya no están con nosotros, que no podrán presenciar mis progresos, pero que siempre han confiado en mí. Su memoria sigue estando presente.

Por último, pero no menos importante, mi reconocimiento al Instituto de Salud Carlos III (ISCIII) como la institución que me ha permitido crecer profesionalmente y abrirme la puerta a la investigación. Agradezco también a la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) por brindarme la oportunidad de desarrollar todas mis titulaciones superiores. Sin la colaboración entre el ISCIII y la UNED, todo mi esfuerzo y dedicación no hubieran sido posibles.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| Lista de Símbolos, Abreviaturas y Siglas | 8 |
| Lista de Tablas y Figuras..... | 9 |
| Resumen | 12 |
| Abstract | 13 |
| 1. Introducción..... | 15 |
| 1.1 Hipótesis | 16 |
| 1.2 Objetivos..... | 17 |
| 1.2.1 Objetivo general..... | 17 |
| 1.2.2 Objetivos específicos | 17 |
| 2. Marco conceptual..... | 20 |
| 2.1 Justificación del desarrollo del marco conceptual..... | 20 |
| 2.2 Introducción | 21 |
| 2.2.1 Antecedentes..... | 21 |
| 2.2.2. El concepto de adaptación | 22 |
| 2.2.3 Marcos sobre adaptación al cambio climático..... | 23 |
| 2.3 Metodología | 26 |
| 2.4 Desarrollo del marco conceptual..... | 28 |
| 2.4.1. Componentes principales del marco conceptual | 28 |
| 2.4.1.1 Cambio climático | 28 |
| 2.4.1.2 Vulnerabilidad..... | 29 |
| 2.4.1.3 Los riesgos en salud..... | 29 |
| 2.4.1.4 Ejes de desigualdad | 30 |
| 2.4.1.5 Resultados en salud..... | 30 |
| 2.5 Niveles del marco conceptual | 30 |
| 2.5.1 Nivel individual..... | 30 |
| 2.5.2 Nivel social..... | 31 |

| | |
|--|----|
| 2.6 Condiciones preexistentes | 31 |
| 2.7 Dominios del marco conceptual | 32 |
| 2.7.1 Adaptación fisiológica (Aclimatación) | 32 |
| 2.7.2 Adaptación cultural | 33 |
| 2.7.2.1 Adaptación conductual | 33 |
| 2.7.2.2 Adaptación técnica | 34 |
| 2.7.3 Adaptación política | 36 |
| 2.8. Mecanismos del marco conceptual..... | 37 |
| 2.9 Aplicación del marco conceptual..... | 48 |
| 2.10 Discusión | 49 |
| 2.11 Conclusiones..... | 52 |
| 3 Estado de la cuestión..... | 54 |
| 3.1 Justificación de la elección de realizar una revisión de alcance | 54 |
| 3.2 Introducción | 54 |
| 3.3 Material y método | 56 |
| 3.3.1. Criterios de elegibilidad | 57 |
| 3.3.2. Estrategia de búsqueda y criterios de selección | 57 |
| 3.3.2. Cribado | 58 |
| 3.3.3 Proceso de elaboración de gráficos de datos..... | 58 |
| 3.3.4 Análisis de datos..... | 58 |
| 3.4. Resultados | 59 |
| 3.5. Discusión | 74 |
| 3.6. Conclusiones..... | 76 |
| 4 Territorio | 78 |
| 4.1 Introducción | 78 |
| 4.2. Material y método | 80 |
| 4.2.1 Área de estudio | 80 |
| 4.2.2 Variables de estudio | 80 |

| | |
|--|-----|
| 4.2.2.1. Variable dependiente..... | 82 |
| 4.2.2.2. Variables explicativas | 83 |
| 4.2.2.3. Variable de control | 85 |
| 4.2.2.4. Variable de adaptación..... | 85 |
| 4.2.3 Análisis de datos..... | 85 |
| 4.3 Resultados..... | 87 |
| 4.4 Discusión..... | 88 |
| 4.5 Conclusiones | 91 |
| 5 Género | 94 |
| 5.1 Introducción | 94 |
| 5.2 Material y método..... | 96 |
| 5.2.1 Variables de estudio | 96 |
| 5.2.2 Cálculo de la TMM | 98 |
| 5.2.2.1 Estimación de valores ausentes de TMM..... | 98 |
| 5.2.3 Determinación del nivel de adaptación en función de la pendiente de la línea que representa la evolución temporal del TMM..... | 99 |
| 5.3 Resultados | 100 |
| 5.4 Discusión | 104 |
| 5.4.1 Las mujeres son más vulnerables al calor | 104 |
| 5.4.3 Hay otros factores importantes, como la gran variabilidad geográfica.. | 106 |
| 5.4.4 Limitaciones del estudio..... | 108 |
| 5.5 Conclusiones | 108 |
| 6 Edad..... | 111 |
| 6.1 Introducción | 111 |
| 6.2. Material y método..... | 113 |
| 6.2.1 Cálculo de las TMM..... | 113 |
| 6.2.2 Determinación del nivel de adaptación..... | 116 |
| 6.2.3 Análisis de datos..... | 118 |

| | |
|---|-----|
| 6.3. Resultados | 119 |
| 6.4 Discusión | 121 |
| 6.5 Conclusiones | 124 |
| 7 Edad-Territorio..... | 127 |
| 7.2 Material y método | 129 |
| 7.2.1 Cálculo de las TMM..... | 130 |
| 7.2.2 Determinación del nivel de adaptación..... | 130 |
| 7.2.3 Análisis de datos..... | 133 |
| 7.3 Resultados | 134 |
| 7.4 Discusión | 135 |
| 7.5 Conclusiones | 138 |
| 8 Conclusiones..... | 139 |
| 8.1 Alcance de la tesis doctoral..... | 139 |
| 8.1.1 Conclusiones alineadas con los objetivos específicos | 139 |
| 8.1.2. Alineación de la tesis doctoral con el Desarrollo Sostenible y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)..... | 140 |
| 8.2. Otros méritos | 142 |
| 8.2.1 Comunicaciones científicas..... | 142 |
| 8.2.2 Ponente invitado..... | 143 |
| 8.2.3 Otras publicaciones y méritos | 144 |
| 8.3 Investigaciones futuras..... | 145 |
| Bibliografía | 146 |
| Anexos | 194 |

Lista de Símbolos, Abreviaturas y Siglas

En castellano

| | |
|------|------------------------------------|
| DSS | Determinantes sociales en salud |
| ODS | Objetivos de Desarrollo Sostenible |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| PCC | Población, Concepto y Contexto |
| TMAX | Temperatura máxima diaria |
| TMM | Temperatura mínima mortalidad |

En inglés

| | |
|--------|--|
| IPCC | Intergovernmental Panel on Climate Change |
| EC | European Commission |
| EPA | Environmental Protection Agency (United States) |
| MESH | Medical Subject Headings |
| PRISMA | Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses |
| UNEP | United Nations Environment Programme |
| UNFCCC | United Nations Framework Convention on Climate Change |
| WHO | World Health Organization |

Lista de Tablas y Figuras

| | |
|--|-----|
| Tabla 1 Relación de los elementos del marco conceptual, las conclusiones de las pruebas locales y su relevancia para la adaptación al calor a través de los estudios de casos. | 38 |
| Tabla 2 Relación de los elementos del marco conceptual, las conclusiones de las pruebas locales y su relevancia para la vulnerabilidad al calor a través de los estudios de casos. | 39 |
| Tabla 3 Resumen de estudios revisados sobre adaptación de la población al calor a través de la relación entre temperatura y mortalidad | 59 |
| Tabla 4 Relación de las Variables por Categoría y Tipo..... | 81 |
| Tabla 5 Relaciones entre las variables dependientes, explicativas y de control en las provincias urbanas | 86 |
| Tabla 6 Relaciones entre las variables dependientes, explicativas y de control en provincias no urbanas | 86 |
| Tabla 7 Valores de MMT a nivel provincial para hombres y mujeres (°C); Media de la temperatura máxima diaria (°C); Ritmo de variación de la temperatura máxima diaria (°C/decada); ritmo de variación de la MMT para hombres y mujeres: Adaptación para hombres y mujeres (°c/decada). Periodo 1982-2018. *p<0.05. | 97 |
| Tabla 8 Modelo bivariante multivariante de TMM con las variables de años y sexo | 99 |
| Tabla 9 Regresión lineal multinivel de adaptación por provincias en función del sexo | 100 |
| Tabla 10 Relación de variables, por provincia, entre temperatura mínima de mortalidad (TMM) en personas de 65 años y más, temperatura máxima diaria (TMAX), TMAX media, incremento por década de la TMAX, variaciones en la TMM y niveles de adaptación. *valor p <0,05. | 117 |
| Tabla 11 Relación de variables, por provincia urbana, entre temperatura mínima de mortalidad (TMM) en personas de 65 años y más, temperatura máxima diaria (TMAX), TMAX media, tendencia por década de la TMAX, variaciones de la TMM y niveles de adaptación. *valor p <0,05. | 131 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 12 Relación de variables, por provincia no urbana, entre temperatura mínima de mortalidad (TMM) en personas de 65 años y más, temperatura máxima diaria (TMAX), TMAX media, tendencia por década de la TMAX, variaciones de la TMM y niveles de adaptación. *valor p <0,05. | 131 |
| Figura 1 Marco Conceptual sobre Adaptación al Cambio Climático | 24 |
| Figura 2 Marco teórico para evaluar la adaptación en términos de preocupaciones de justicia climática | 25 |
| Figura 3 Resumen esquemático de la interrelación de los conceptos desarrollados en el marco conceptual. | 27 |
| Figura 4 Marco conceptual de las tendencias temporales de la adaptación humana al calor en el contexto del cambio climático. Se define con 5 componentes principales (cambio climático, vulnerabilidad, riesgos para la salud, ejes de desigualdad..... | 28 |
| Figura 5 Diagrama de flujo de selección de estudios para el proceso de revisión del alcance | 66 |
| Figura 6 Ubicación geográfica de las instituciones por país y frecuencia de los estudios realizados | 70 |
| Figura 7 Nube de palabras clave de publicaciones seleccionadas de la revisión del alcance | 70 |
| Figura 8 Visualización de la red de investigadores agrupados por clústeres | 71 |
| Figura 9 Mapa de provincias urbanas y no urbanas de España, 2015 | 81 |
| Figura 10 Variación de la temperatura mínima de mortalidad en España, 1983-2018 | 83 |
| Figura 11 Mapa de las poblaciones privilegiadas y desfavorecidas según la privación en España, 2011 | 84 |
| Figura 12 Evolución de la temperatura mínima de mortalidad (TMM) por años de hombres y mujeres en España (1983-2018) | 101 |
| Figura 13 Tendencia de la temperatura de mínima mortalidad (TMM) de las provincias de A Coruña, Barcelona y Córdoba de hombres y mujeres en promedio móvil (1983-2018) | 102 |

| | |
|---|-----|
| Figura 14 Diagrama de dispersión de la Temperatura Mínima de Mortalidad (TMM) con respecto a las variaciones de la temperatura máxima diaria de hombres en España (1983-2018)..... | 103 |
| Figura 15 Diagrama de dispersión de la Temperatura Mínima de Mortalidad (TMM) con respecto a las variaciones de la temperatura máxima diaria de mujeres en España (1983-2018)..... | 103 |
| Figura 16 Tendencia de la temperatura mínima de mortalidad (TMM) por año para los grupos de edad ≥ 65 años y la población total en España (1983-2018)..... | 115 |
| Figura 17 Evolución de la temperatura mínima de mortalidad (TMM) por año para los grupos de edad ≥ 65 años y la población total en España (1983-2003)..... | 115 |
| Figura 18 Tendencia de la temperatura mínima de mortalidad (TMM) por año para los grupos de edad ≥ 65 años y la población total en España (2004-2018)..... | 116 |
| Figura 19 TMM por provincia para grupos de edad ≥ 65 años en España (1983-2018) | 120 |
| Figura 20 Nivel de adaptación por provincia para grupos de edad ≥ 65 años en España (1983-2018)..... | 120 |
| Figura 21 Mapa de provincias urbanas y no urbanas (intermedias y rurales) de España, 2015 | 129 |
| Figura 22 Evolución de la temperatura mínima de mortalidad (TMM) por año y tipo de territorio en España (1983-2018) | 133 |
| Figura 23 Diagrama de dispersión de la temperatura mínima de mortalidad con respecto a las variaciones de las temperaturas máximas diarias, por territorio en España (1983-2018). El área sombreada indica provincias que muestran adaptación al calor | 134 |

Resumen

Esta tesis doctoral aborda el desafío del cambio climático y su impacto en la salud humana, centrándose en la adaptación a las temperaturas cada vez más elevadas. Se destaca la necesidad de comprender los procesos de adaptación y los factores sociales que influyen en ellos. Se propone un marco conceptual que abarca cinco componentes principales y tres dominios de adaptación al calor. Se realiza una revisión exhaustiva de la literatura, señalando la escasez de estudios sobre la adaptación al calor desde un enfoque epidemiológico. Se examina la evolución de la temperatura mínima de mortalidad (TMM) como indicador de adaptación, especialmente en relación con el territorio, la edad y el género. Para ello, se realizan diversos estudios longitudinales y ecológicos en España entre 1983 y 2018, utilizando datos de mortalidad diaria por todas las causas naturales y temperatura máxima diaria. A través de la diferencia de variación de los ritmos de crecimiento entre la TMM y la temperatura máxima diaria, se encuentra que las poblaciones urbanas tienden a adaptarse mejor al calor que las rurales, y que las mujeres mostraron mayor capacidad de adaptación con respecto a los hombres. La mayoría de las provincias con población mayor o igual a 65 años mostraron adaptación, siendo mayor en las provincias no urbanas que en las urbanas. Se necesitan más estudios que aborden los mecanismos y causas de adaptación al calor, tomando en cuenta diversos factores locales, para informar y mejorar las estrategias de prevención y adaptación de los impactos del cambio climático en la salud humana. En conclusión, el proceso de adaptación se ve influido por las características geográficas, climáticas y socioeconómicas de cada zona en particular.

Abstract

This dissertation addresses the challenge of climate change and its impact on human health, focusing on adaptation on to increasingly higher temperatures. It highlights the need to understand adaptation processes and the social factors that influence them. A conceptual framework is proposed that encompasses five main components and three domains of heat adaptation. A comprehensive review of the review of the literature is conducted, noting the paucity of studies on heat adaptation from an epidemiological approach. It examines the evolution of the minimum mortality temperature (MMT) as an indicator of adaptation, especially in relation to territory, age and gender. For this purpose, several longitudinal and ecological longitudinal and ecological studies were carried out with a focus on Spain between 1983 and 2018, using data on daily mortality due to all natural causes and maximum daily temperature. Through the difference in the variation of growth rates between MMT and daily maximum temperature, it was found that urban populations tend to adapt better to heat than rural populations, and that females showed greater adaptive capacity than males. Most provinces with a population aged 65 or older showed adaptation, more so in non-urban than urban provinces. More studies addressing heat adaptation the mechanisms and causes, taking into account various local factors, are needed to inform and improve strategies to prevent and adapt to climate change impacts on human health. In conclusion, the adaptation process is influenced by the geographical, climatic and socio-economic characteristics of each particular area.

Capítulo 1. Introducción

1. Introducción

Existe una amplia evidencia que demuestra una clara relación entre los factores sociales y los resultados en salud, donde una posición social desfavorable está asociada con peores condiciones de salud (Braveman et al., 2011). Los factores sociales constituyen la raíz de muchas de estas desigualdades (Marmot, 2005). Estos factores, definidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como Determinantes Sociales de la Salud (DSS), abarcan las circunstancias que rodean a las personas desde su nacimiento hasta su vejez, incluyendo su entorno de vida, trabajo y los sistemas de salud para abordar las enfermedades que afectan la salud humana (World Health Organization, 2008).

En cambio, las desigualdades sociales en salud se refieren a las diferencias injustas y evitables en el estado de salud entre grupos de población específicos, los cuales se definen por sus características sociales, económicas, demográficas o geográficas. Estas diferencias surgen debido a las diferentes oportunidades y recursos relacionados con la salud disponibles para las personas, dependiendo de su clase social, sexo, territorio o etnia. Como resultado, los grupos menos privilegiados socialmente tienden a experimentar condiciones de salud más desfavorables en comparación con aquellos más favorecidos (Borrell et al., 2012; Comisión para Reducir las Desigualdades Sociales en Salud en España, 2015).

En España, también se observan peores resultados en los indicadores de salud en situaciones de mayor desventaja social en cualquiera de los DSS, y esta situación se agrava cuando múltiples ejes de desigualdad se superponen (Ruiz Álvarez et al., 2022). Los diversos ejes de desigualdad establecen estructuras de poder en la sociedad, como la clase social, el género, la edad, la etnia y el territorio, y se manifiestan de manera simultánea tanto a nivel individual como social (Borrell et al., 2012).

El cambio climático está afectando a muchos de los determinantes que intervienen en la salud de las personas (Smith et al., 2022). El cambio climático a través de sus efectos directos e indirectos, están exacerbando enfermedades como las respiratorias y cardiovasculares entre otras, al mismo tiempo que restringen el acceso a la atención médica (Romanello et al., 2021). Esto representa una amenaza para la salud pública de toda la población, pero resulta especialmente preocupante para grupos más vulnerables como los ancianos, las mujeres, las minorías étnicas, las clases

sociales más desfavorecidas y los niños. Sin embargo, los impactos del cambio climático en la salud no son uniformes para todas las personas debido a diferencias en la exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación. Como resultado, surgen desigualdades climáticas en la salud, que están influenciadas por los determinantes sociales en salud y que determinan cómo las personas experimentan los efectos del cambio climático (Paavola, 2017).

Entre los efectos directos del cambio climático se encuentran el incremento de la temperatura en la superficie del planeta y el aumento de la frecuencia, intensidad y duración de las olas de calor (IPCC, 2023b). Las temperaturas más elevadas han dado lugar a un aumento de casos de deshidratación, disfunción renal, enfermedades cutáneas, infecciones transmitidas por vectores, problemas de salud mental, complicaciones durante el embarazo, alergias, y morbilidad y mortalidad cardiovascular y pulmonar. Estos impactos afectan de manera desproporcionada a las poblaciones más vulnerables (Atwoli et al., 2021). debido a la influencia de los factores individuales, demográficos, geográficos y sociales y su capacidad de adaptación. La adaptación se refiere al proceso de ajuste ante las condiciones climáticas presentes o previstas, con el fin de reducir los daños y aprovechar las oportunidades beneficiosas (Navas-Martín et al., 2024).

Aunque existen diversos métodos para evaluar la efectividad de la adaptación, un indicador que puede ser representativo para conocer el nivel de adaptación es a través de la relación temporal entre las tendencias de las relaciones de temperatura-mortalidad con el incremento de las temperaturas producidos por el calentamiento global. Sin embargo, nuestro entendimiento del proceso de adaptación al calor de una población específica desde una perspectiva epidemiológica es limitado, lo que dificulta prever la relación entre morbilidad y/o mortalidad asociada a eventos extremos de calor (Navas-Martín et al., 2024). Esta tesis doctoral tiene como finalidad abordar este vacío en la investigación.

1.1 Hipótesis

La hipótesis de esta tesis doctoral surge de la pregunta de investigación: ¿Las características sociales han influido en la adaptación de la población en España al calor durante el periodo comprendido entre 1983 y 2018? En este contexto, se plantea la siguiente hipótesis general: Los factores sociales influyen en la adaptación al calor de la población. Para comprobar esta hipótesis, se proponen los siguientes objetivos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Evaluar la adaptación de la población española al calor en relación con los factores sociales.

1.2.2 Objetivos específicos

- Establecer un marco conceptual sobre la adaptación al calor y su relación con la salud.
- Comprender el nivel actual de lagunas de conocimiento y avances relacionados con la adaptación al calor en una determinada población.
- Identificar qué factores sociales, climáticos y económicos por contexto rural o urbano están relacionados con la evolución de las temperaturas mínimas de mortalidad (TMM) en España durante el periodo de tiempo 1983-2018.
- Analizar las diferencias de adaptación al calor en hombres y mujeres y su evolución a lo largo del periodo 1983-2018 en todas las provincias de España.
- Conocer la adaptación de las personas mayores o igual de 65 años y las diferencias con respecto con la población total entre 1983 a 2018.
- Conocer las diferencias en la adaptación al calor de la población de personas mayores o igual de 65 años españolas según el territorio mediante la evolución temporal de las TMM.

Para responder a la hipótesis y cumplir los objetivos de la tesis doctoral se realizó un trabajo de investigación que se ha visto reflejado en el siguiente compendio de publicaciones realizadas:

- Navas-Martín, M. Á., Cuerdo-Vilches, T., López-Bueno, J. A., Díaz, J., Linares, C., & Sánchez-Martínez, G. (2024). Human adaptation to heat in the context of climate change: A conceptual framework. *Environmental Research*, 118803. Pon factor de impacto y decil o cuartil. Lo mismo en todas las demás
- Navas-Martín, M. Á., Ovalle-Perandones, M. A., López-Bueno, J. A., Díaz, J., Linares, C., & Sánchez-Martínez, G. (2023). Population adaptation to heat as seen through the temperature-mortality relationship, in the context of the

impact of global warming on health: A scoping review. *Science of The Total Environment*, 168441.

- Navas-Martín, M. Á., Lopez-Bueno, J. A., Díaz, J., Follos, F., Vellón, J. M., Mirón, I. J., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G. & Linares, C. (2022). Effects of local factors on adaptation to heat in Spain (1983–2018). *Environmental Research*, 209, 112784.
- Navas-Martin, M. A., Lopez-Bueno, J. A., Ascaso-Sánchez, M. S., Sarmiento-Suárez, R., Follos, F., Vellón, J. M., Mirón, I.J, Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, Culqui, D., Linares, C. & Díaz, J. (2022). Gender differences in adaptation to heat in Spain (1983–2018). *Environmental Research*, 215, 113986.
- Navas-Martín, M. Á., López-Bueno, J. A., Ascaso-Sánchez, M. S., Follos, F., Vellón, J. M., Mirón, I. J., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Díaz, J. & Linares, C. (2023). Territory Differences in Adaptation to Heat among Persons Aged 65 Years and Over in Spain (1983–2018). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 4168.
- Navas-Martín, M. Á., López-Bueno, J. A., Ascaso-Sánchez, M. S., Follos, F., Vellón, J. M., Mirón, I. J., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Linares, C. & Díaz, J. (2023). Heat Adaptation among the Elderly in Spain (1983–2018). *International journal of environmental research and public health*, 20(2), 1314.

A continuación, se exponen los contenidos de estos artículos tal y cómo han sido publicados.

Capítulo 2. Marco conceptual

Time trends in human adaptation to heat in the context of Climate Change: A conceptual framework.

Miguel Ángel Navas-Martín,^{1,2} Teresa Cuervo-Vilches,³ José Antonio López-Bueno,² Julio Díaz,² Cristina Linares,² Gerardo Sánchez-Martínez.⁴

¹Doctorate Programme in Biomedical Sciences and Public Health, National University of Distance Education (*UNED*), Madrid (Spain). E-mail: mnavas89@alumno.uned.es

²National School of Public Health, Carlos III Institute of Health (*ISCIII*), Madrid, Spain.

³ Eduardo Torroja Construction Sciences Institute (*IETCC*), Spanish National Research Council (*CSIC*), Madrid, Spain.

⁴ European Environment Agency (EEA), Copenhagen, Denmark.

| | |
|------------------------------|---|
| Revista: | Environmental Research |
| Facto de impacto (JCR): | 8.3 |
| Percentil de la publicación: | Decil 1 |
| Fecha de la publicación: | marzo 2024 |
| DOI: | https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118803 |
| PMID: | 38565417 |

2. Marco conceptual

2.1 Justificación del desarrollo del marco conceptual

Según Leshem & Trafford (2007) para que una investigación sea considerada valiosa y contribuya al conocimiento en esa área, es importante que los argumentos proporcionen coherencia conceptual. Si queremos considerar que la investigación sea científica, debemos aplicar ciertas normas que brinden precisión terminológica, conceptual y metodológica (Daros, 2002). Por ello, en cualquier investigación, es necesario conectar el propósito del estudio con los antecedentes de este. La revisión de la literatura o un marco permiten justificar la necesidad del estudio y situarlo en relación con trabajos previos (Rocco & Plakhotnik, 2009).

A menudo, los investigadores intercambian los términos “revisión de la literatura”, “teoría”, marco teórico” y “marco conceptual” sin una comprensión clara de las diferencias entre ellos (Rocco & Plakhotnik, 2009; Varpio et al., 2020). La revisión de la literatura (*literature review*) tiene como objetivo principal verificar si un tema es viable para ser investigado, presentar los resultados de investigaciones previas relacionadas al tema y demostrar la relevancia del estudio actual en relación con las investigaciones previas (Rocco & Plakhotnik, 2009). Sin embargo, una teoría es un enunciado generalizado de abstracciones o ideas que afirma, explica o predice relaciones o conexiones entre fenómenos. Mientras que un marco teórico (*theoretical framework*) se refiere a las teorías planteadas por expertos en el campo de investigación que se va a estudiar. En cambio, el marco conceptual (*conceptual framework*) se refiere a las ideas y reflexiones del propio investigador (Kivunja, 2018) y es el resultado de combinar una serie de conceptos interrelacionados con el fin de explicar, predecir o tener una comprensión más amplia de un evento o problema de investigación (Imenda, 2017). Tanto las teorías y marcos conceptuales son creados con el objetivo de explicar o describir fenómenos abstractos que suceden en situaciones similares. Leshem & Trafford sugiere que una tesis debe de incluir siempre un marco conceptual (Leshem & Trafford, 2007).

2.2 Introducción

2.2.1 Antecedentes

La acción humana ha provocado ya un aumento en la temperatura media global de la superficie de 1,1°C por encima de la media preindustrial (IPCC, 2023a). Este fenómeno está provocando una mayor frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos, lo que está causando graves daños en los sistemas naturales y sociales y también importantes efectos en la salud humana (Romanello et al., 2022). Entre los efectos directos del cambio climático, se encuentra el aumento de la temperatura global en superficie y el incremento en frecuencia, duración, intensidad y gravedad de las olas de calor (IPCC, 2022b). El mundo enfrenta una crisis climática que afecta a la paz, la seguridad y la salud, entre otras dimensiones clave de la vida humana. Los procesos de adaptación se han vuelto más prominentes como un desafío mundial que abarca aspectos locales, subnacionales, nacionales, regionales y globales. Ahora es un foco central en las agendas políticas tanto nacionales como internacionales, y se reconoce que es igualmente vital como los esfuerzos para mitigar el cambio climático (United Nations Environment Programme, 2022).

El cambio climático inducirá a decenas de millones de personas a desplazarse dentro de sus países para 2050, tratando de escapar de sus impactos adversos. Estos desplazamientos se originarán en regiones menos sostenibles caracterizadas por una baja disponibilidad de agua y una baja productividad agrícola, así como en áreas afectadas por el aumento del nivel del mar y tormentas ciclónicas. Las comunidades más empobrecidas y vulnerables al clima serán las más afectadas (Rigaud et al., 2018). Aunque las emisiones de gases de efecto invernadero podrían reducirse al mínimo posible, los impactos climáticos que ya se están produciendo continuarán durante algún tiempo (European Commission, 2021). La influencia humana, según los escenarios de emisiones futuros, seguirá cambiando las condiciones climáticas, algo que muy probablemente provocará un aumento del nivel del mar y prácticamente seguro un aumento del calor extremo (IPCC, 2023a). Si bien los seres humanos tienen una alta capacidad de adaptación al calor (Périard et al., 2016), la mortalidad relacionada con el calor ha mostrado un descenso en determinados países, como Estados Unidos, Suecia, España o Japón. Además de los cambios demográficos y socioeconómicos en sí, esta reducción se atribuye a adaptaciones tecnológicas, infraestructurales y biofísicas, incluido el uso generalizado del aire

acondicionado (Åström et al., 2016; Chung et al., 2018; Davis et al., 2003; Follos et al., 2021). Sin embargo, nuestra comprensión del proceso de adaptación de la población expuesta sigue siendo limitada, lo que plantea un desafío a la hora de estimar con precisión la morbilidad y mortalidad relacionadas con el calor para proyecciones en el futuro (Folkerts et al., 2020; Navas-Martín et al., 2024).

El clima y las condiciones meteorológicas tienen un gran impacto en la salud y el bienestar de las personas. Cada año, millones de personas fallecen debido a factores ambientales que, con frecuencia, son agravados por el cambio climático o sus impulsores. De hecho, el cambio climático funciona como un multiplicador de las amenazas globales para la salud, empeorando muchos de los problemas de salud que ya enfrentan las comunidades y afectando desproporcionadamente a los grupos más vulnerables, especialmente en los países de bajos ingresos, aumentando las desigualdades (UNEP, 2018). El calentamiento global está intensificando los impactos climáticos y exponiendo a los países a un alto riesgo de experimentar límites en su capacidad de adaptación, además de sufrir pérdidas y daños inaceptables (United Nations Environment Programme, 2022). Las olas de calor se asocian con un aumento de la violencia de género, aumentando el riesgo de feminicidio, así como el número de denuncias policiales y llamadas a teléfonos de emergencia (Sanz-Barbero et al., 2018), la sequía también está relacionada con la salud mental, afectando el estado de ánimo, la incidencia de violencia de pareja y el riesgo de suicidio (Vins et al., 2015; Padrón et al. 2024). No solo el impacto en sí, sino la propia situación de emergencia climática provoca ansiedad, depresión, estrés, miedo, conductas suicidas e incluso ecoansiedad, entre otros posibles problemas de salud mental y psicosociales (WHO, 2022).

2.2.2. El concepto de adaptación

Según el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), la adaptación se refiere a un proceso de ajuste que se realiza ante las condiciones climáticas actuales o pronosticadas, con el objetivo de disminuir los daños o aprovechar las oportunidades favorables. En los sistemas naturales, la adaptación implica un ajuste al clima actual y sus efectos, mientras que, en presencia de intervención humana, se puede facilitar la adaptación al clima previsto y sus consecuencias. Mientras que la capacidad de adaptación se refiere a la habilidad que tienen los sistemas, las instituciones, las personas y otros organismos para ajustarse ante los posibles daños, aprovechar las oportunidades o responder a las consecuencias que puedan

presentarse (IPCC, 2022a). Desde un enfoque epidemiológico, la adaptación al calor implica principalmente respuestas a nivel de la población destinadas a mitigar los impactos en la salud de los eventos relacionados con el calor, lo que indica un enfoque colectivo en lugar de ajustes individuales (Petkova et al., 2014).

La adaptación al cambio climático puede implementarse mediante diferentes estrategias, como la salud y el bienestar; la seguridad económica y humana; la agricultura y los medios de vida de subsistencia; la infraestructura y el entorno construido; y los impactos socioculturales (Turek-Hankins et al., 2021). La adaptación en salud consiste en desarrollar, ejecutar, supervisar y evaluar estrategias, políticas y programas destinados a manejar los riesgos asociados con los resultados de salud relevantes para el cambio climático. Por tanto, la estrategia de adaptación pretende mitigar los efectos adversos que el cambio climático puede imponer sobre la salud de las personas, las comunidades y los propios sistemas de salud. Dicha adaptación puede ocurrir de manera espontánea, como resultado de acciones imprevistas, o, alternativamente, puede planificarse y apuntarse específicamente a reducir el impacto del cambio climático en la salud. Un ejemplo de adaptación planificada es la mejora de los sistemas de salud para hacer frente a fenómenos climáticos extremos (UNEP, 2018).

2.2.3 Marcos sobre adaptación al cambio climático

Existe una gran variedad de marcos conceptuales y teóricos que tratan sobre la adaptación y el cambio climático, los cuales cubren una amplia variedad de temas y enfoques. Algunos autores proponen marcos sobre la adaptación de los factores determinantes de la vulnerabilidad (Brooks et al., 2005); acciones y barreras en los procesos de adaptación (Eisenack & Stecker, 2012); indicadores para el entorno natural (Pearce-Higgins et al., 2022), equidad en las respuestas de adaptación (Araos et al., 2021), adaptación de infraestructura de transportes (Quinn et al., 2018) y cómo afecta la adaptación a las diferentes formas de turismo (Jopp et al., 2010). Otros autores han propuesto marcos sobre estrategias, evaluación y capacidad de adaptación de las ciudades y edificios (Araos et al., 2016; Barbosa et al., 2016; C. Chen et al., 2016; Filho et al., 2019; Kim & Lim, 2016).

Sin embargo, hay menos marcos que aborden específicamente la adaptación al cambio climático en el contexto de la salud, y aún menos que aborden específicamente la adaptación al calor. En 2004, los investigadores Füssel y Klein, realizaron un informe a través de una revisión sobre los diferentes marcos

conceptuales de adaptación para la evaluación de las adaptaciones planificadas pueden afectar la salud en el contexto del cambio climático. En sus hallazgos, encontraron que no existía un enfoque único para evaluar las políticas de adaptación que pueda abordar la diversidad de problemas de salud. Asimismo, ningún marco conceptual cubre todas las cuestiones relevantes para evaluar la adaptación en relación con la salud humana (Füssel & Klein, 2004). En 2006, los mismos autores presentaron un marco conceptual que abordan las evaluaciones de la vulnerabilidad al cambio climático con diferentes propósitos, entre ellos, que permita desarrollar estrategias de adaptación que reduzcan los riesgos sensibles al clima (Füssel & Klein, 2006).

Más recientemente, Tait y Hanna (2015) propusieron un nuevo marco conceptual más específico que destaca por incluir tres dominios de adaptación al cambio climático (aclimatación, comportamientos de adaptación y tecnología) que operan en dos niveles (personal y social) y que dentro de los niveles y los diversos factores o elementos específicos que forman parte de los subsistemas (Figura 1).

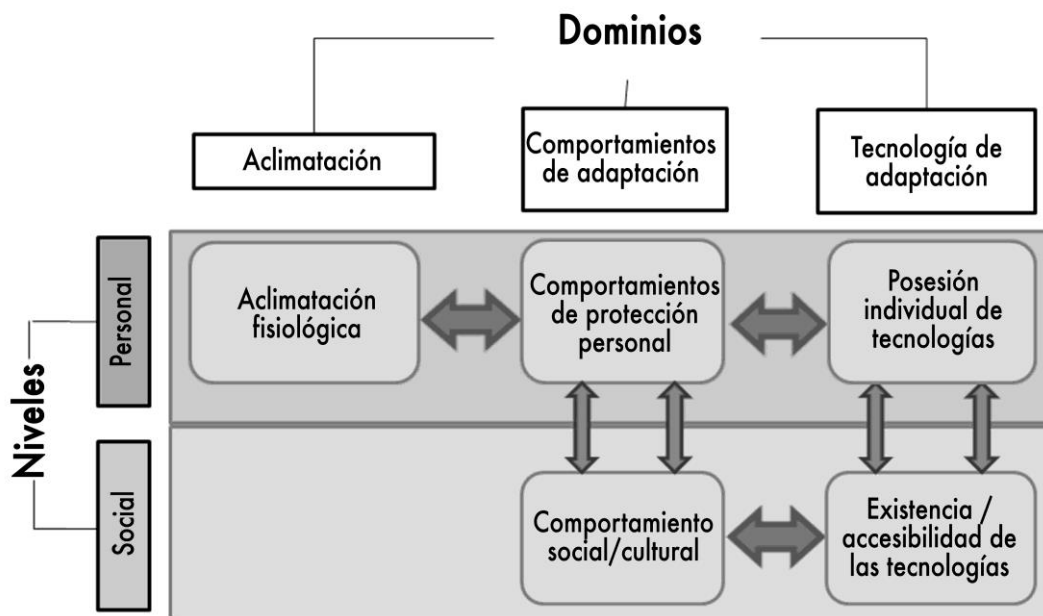


Figura 1. Marco Conceptual sobre Adaptación al Cambio Climático (Tait & Hanna, 2015). Traducida por elaboración propia.

Por otro lado, Boeckmann y Zeeb (2016) propusieron un marco que destaca por relacionar dos conceptos principales como son los impactos del cambio climático y los resultados en salud con siete dominios que muestran variables y contenidos que se pueden utilizar para medir la consecución de la justicia climática (Figura 2).

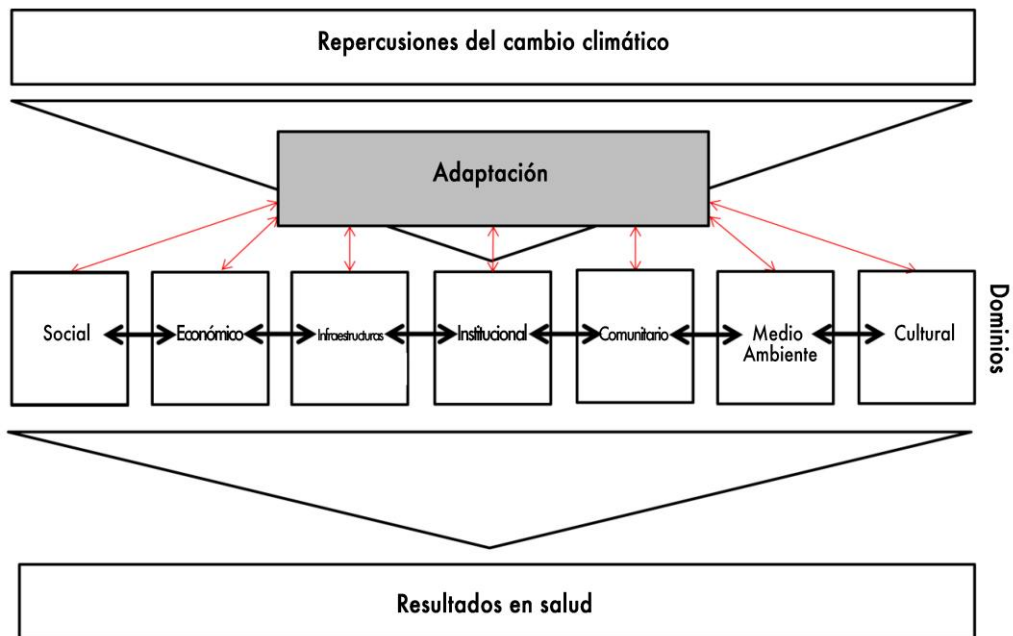


Figura 2. Marco teórico para evaluar la adaptación en términos de preocupaciones de justicia climática (Boeckmann & Zeeb, 2016). Traducida por elaboración propia.

Mientras que el primer marco sólo considera tres dimensiones de adaptación, aclimatación, comportamientos y tecnología, pero no contempla resultados de salud. El segundo marco abarca siete dimensiones de la adaptación, pero se centra en la evaluación de la adaptación desde la perspectiva de la justicia, pero no considera los dos niveles.

En este contexto, la información disponible de las investigaciones epidemiológicas sobre adaptación indica que la relación entre temperatura y mortalidad es restringida (Navas-Martín et al., 2024). Teniendo esto en cuenta, para guiar el marco conceptual, se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo se vinculan la adaptación y la vulnerabilidad al calor con los procesos de adaptación en un contexto que aborda el cambio climático, la vulnerabilidad, las desigualdades sociales y la salud?

El objetivo de este estudio fue, por tanto, establecer un marco conceptual sobre la adaptación al calor y su relación con la salud. Este marco que ayudaría a los investigadores y responsables políticos a comprender y organizar eficientemente el conocimiento (Rocco & Plakhotnik, 2009) sobre la adaptación humana al calor y los factores que pueden incidir en este proceso.

2.3 Metodología

Un marco conceptual es una red o estructura interconectada de conceptos que contribuye a una comprensión integral de uno o varios fenómenos específicos. Un concepto es una idea formada por componentes que lo definen colectivamente. En la investigación, el marco conceptual no lo descubre, sino que lo construye el investigador, quien construye la estructura general y la coherencia incorporando elementos prestados o que pueden haberse originado a partir de sus propias ideas sobre su investigación (Kivunja, 2018; Tamene, 2016). Para ello, se lleva a cabo mediante un proceso inductivo en el que se vinculan pequeñas piezas individuales (conceptos) con sus posibles relaciones (Imenda, 2017).

Para desarrollar el marco conceptual propuesto se utilizó un enfoque inductivo basado en la teoría fundamentada, mediante el análisis de estudios de casos. El enfoque inductivo permite comenzar desde cero a medida que se recopilan y analizan los datos hasta obtener el resultado de la investigación. Uno de los referentes metodológicos de la investigación inductiva es la teoría fundamentada (Bryman, 2012; Neuman, 2014), que ha ido evolucionando con el tiempo. La teoría fundamentada es una metodología flexible que facilita el descubrimiento o construcción de una teoría, así como la generación y conexión de conceptos a partir de datos cualitativos y cuantitativos. Esto permite el desarrollo conceptual de la investigación (Chun Tie et al., 2019; Holton, 2008). Para la interrelación de los conceptos desarrollados en el marco conceptual (Figura 3), utilizamos hallazgos extraídos de nuestros propios estudios de caso, teniendo en cuenta que, a diferencia de un marco teórico que se basa en el conocimiento establecido por expertos, un marco conceptual se desarrolla sobre la base de las ideas y pensamientos de los propios investigadores (Kivunja, 2018). Por este motivo, la selección de casos fue intencionada, no aleatoria. Se seleccionaron casos relevantes en información que permitieran un análisis en profundidad de acuerdo con la pregunta de investigación (Ebneyamini & Sadeghi Moghadam, 2018). Para ello, a partir de los estudios realizados por el grupo de investigación, se seleccionaron aquellos casos relacionados con el impacto en la salud por los efectos de las altas temperaturas. Se agruparon en dos grupos de casos de estudio para abordar los objetivos del estudio, uno relacionado con la vulnerabilidad y otro con la capacidad de adaptación al calor. El estudio de caso se utiliza en la investigación para obtener una comprensión detallada y

completa de un tema complejo dentro de su entorno real. Es ampliamente utilizado en una variedad de disciplinas, y aunque su definición puede variar, su núcleo esencial se basa en el imperativo de una exploración exhaustiva de un evento o fenómeno en su contexto natural y particularmente útil en la construcción de nuevas teorías (Crowe et al., 2011; Ebneyamini & Sadeghi Moghadam, 2018). Además, en el análisis de los estudios de caso, se categorizaron los casos (Chun Tie et al., 2019) para relacionar los conceptos del marco y comprender las interrelaciones entre ellos.

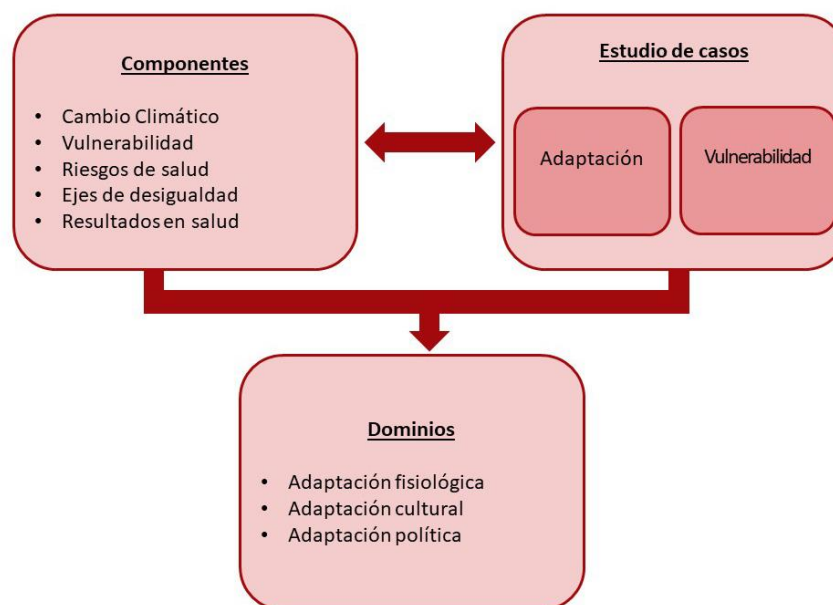


Figura 3. Resumen esquemático de la interrelación de los conceptos desarrollados en el marco conceptual.

Finalmente, para conectar ideas propias con elementos prestados, se utilizaron dos marcos de adaptación relativamente recientes (Boeckmann & Zeeb, 2016; Tait & Hanna, 2015) además de los componentes principales. La selección de los marcos se realizó mediante una revisión bibliográfica utilizando el buscador Web of Science con las palabras clave "framework", "heat", y "adaptation", utilizando el operador booleano AND y filtrando entre los últimos 10 años (2023-2013). Posteriormente, se realizó un proceso de cribado en función de los objetivos del estudio, obteniendo los dos marcos.

2.4 Desarrollo del marco conceptual

El marco conceptual se compone de cinco componentes principales que están relacionados entre sí en dos niveles. Dentro de cada nivel, se incluyen las condiciones preexistentes y los distintos dominios de adaptación (Figura 4).

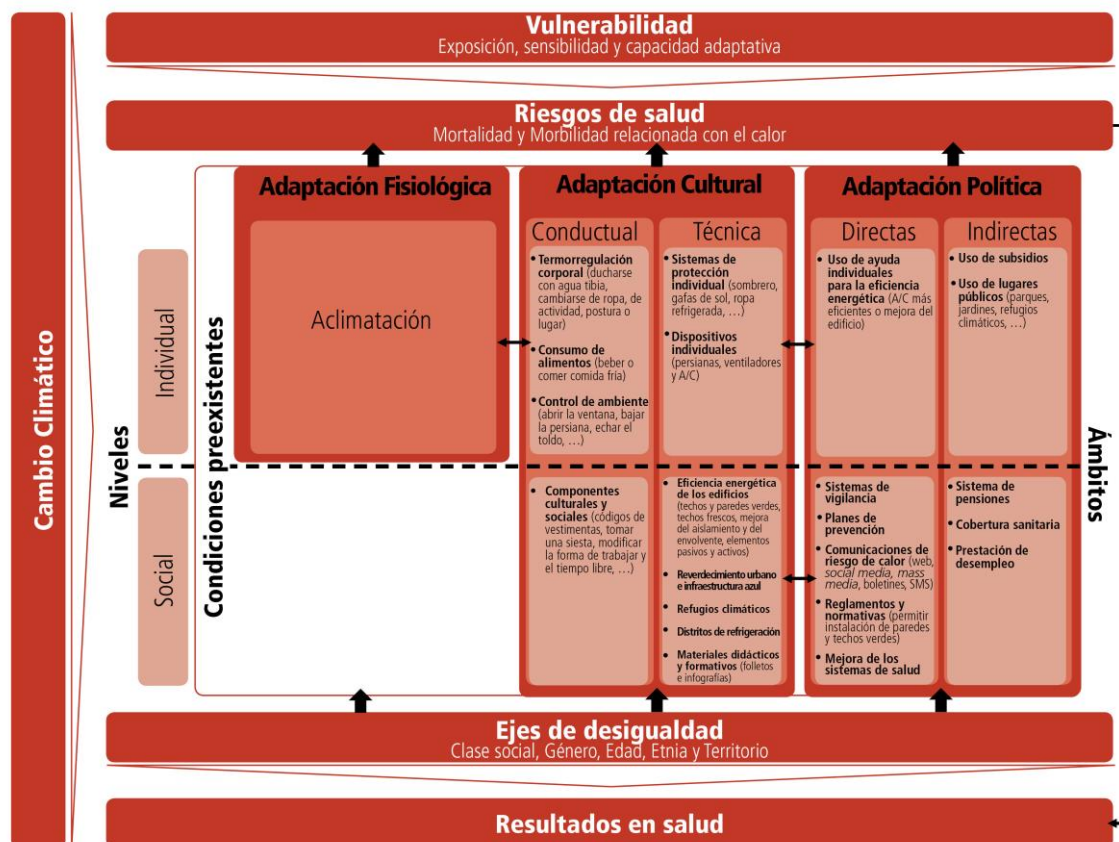


Figura 4. Marco conceptual de las tendencias temporales de la adaptación humana al calor en el contexto del cambio climático. Se define con 5 componentes principales (cambio climático, vulnerabilidad, riesgos para la salud, ejes de desigualdad).

2.4.1. Componentes principales del marco conceptual

2.4.1.1 Cambio climático

El cambio climático se define como el cambio de las condiciones climáticas que se considera causada, de forma directa o indirecta, por la actividad humana, la cual modifica la composición de la atmósfera terrestre y se añade las variaciones naturales del clima que se han registrado en periodos de tiempo comparables (UNFCCC, n.d.).

Tradicionalmente, han sido dos los enfoques políticos que abordan este problema: uno es la adaptación a al cambio climático, que implica ajustarse a las condiciones cambiantes del clima. El otro enfoque es la mitigación, que implica la limitación de las emisiones de gases de efectos invernadero o la utilización de sumideros de carbono (W. Wang & McCarl, 2011).

En el contexto del impacto del cambio climático en la salud humana, las medidas de adaptación y mitigación, unidas a otras medidas como los sistemas de alerta disminuyen la morbilidad y mortalidad de una determinada población (Luyten et al., 2023; Sharifi et al., 2021).

2.4.1.2 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad se refiere al nivel de capacidad que tiene una persona, grupo de personas o sistema para afrontar las consecuencias negativas sobre la salud que el cambio climático pueda generar. Viene determinada por la exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación a los factores de riesgo (Füssel & Klein, 2006; Marí-Dell'olmo et al., 2022; Paavola, 2017).

2.4.1.3 Los riesgos en salud

El riesgo se refiere a la posibilidad de que ocurran efectos negativos que pongan en peligro los sistemas humanos o ecológicos, y cuyo resultado o grado de impacto no se pueden predecir con certeza. Los riesgos surgen de la combinación de la vulnerabilidad del sistema afectado, la exposición prolongada al peligro y la probabilidad de que ocurra dicho peligro, que está relacionado con el clima (IPCC, 2022a, 2022b). El cambio climático conlleva numerosos riesgos para la salud humana, tales como calidad del aire, distribución de vectores y ecología; dietas ricas en nutrientes e inocuidad de los alimentos; calidad y cantidad del agua; estrés por calor, fenómenos meteorológicos extremos, inundaciones, tormentas, incendios forestales, sequías y otros fenómenos (Austin et al., 2015; IPCC, 2023a; McMichael, 2012; Mojahed et al., 2022).

Los riesgos en salud son los peligros o amenazas que surgen debido al cambio climático y afectan a la salud humana. Este riesgo puede afectar la salud de diversas formas, incluyendo el desarrollo de enfermedades respiratorias, problemas de salud mental y otros efectos adversos. En cuanto a los riesgos de temperaturas extremas de calor y eventos de olas de calor para la salud, se reflejan en el aumento de

mortalidad y morbilidad asociadas a estas situaciones (IPCC, 2022b; Patz et al., 2005; WHO, 2021b).

2.4.1.4 Ejes de desigualdad

Los ejes de desigualdad que establecen la distribución de poder en la sociedad y tienen un impacto en la salud son la clase social, el género, la edad, la etnia o la raza y el territorio (Borrell et al., 2012; Comisión para Reducir las Desigualdades Sociales en Salud en España, 2015). En el contexto del cambio climático, los distintos ejes influyen en las oportunidades que una persona tiene para mantener su salud en buen estado y estar en condiciones de adaptarse al cambio climático y evitar sus consecuencias en su salud. Aquellas personas con menos recursos económicos y sociales son las que se ven más expuestas a los efectos del cambio climático y se enfrentan a mayores obstáculos para ajustarse y recuperarse de dichos efectos (Marí-Dell'olmo et al., 2022).

2.4.1.5 Resultados en salud

Los resultados en salud se refieren a los cambios en el estado de salud de un individuo, grupo o población que se deben a una intervención planificada o una serie de intervenciones, independientemente de si la intervención tenía como objetivo cambiar el estado de salud (WHO, 2021a). En el contexto del cambio climático, los resultados están determinados por los riesgos para la salud, así como por la forma en que las personas están expuestas a estos riesgos, su sensibilidad hacia ellos y su capacidad de adaptación. Estos elementos, incluido el modo de exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación, se combinan para determinar la vulnerabilidad (Paavola, 2017). Aunque resulta difícil vincular la adaptación al cambio climático con los resultados de salud debido a complejas interacciones, limitaciones metodológicas y una comprensión causal incompleta en epidemiología (Boeckmann & Zeeb, 2016).

2.5 Niveles del marco conceptual

2.5.1 Nivel individual

El nivel individual se refiere a la perspectiva de análisis centrada en la persona (como unidad básica de análisis), considerando sus características y comportamiento. En el contexto del proceso de adaptación, se refiere a las condiciones personales que determinan el proceso de adaptación a nivel micro.

2.5.2 Nivel social

El nivel social se refiere a la perspectiva de análisis centrada en las personas, considerando su interacción e influencia en el contexto de grupo en el que se desenvuelven. En el contexto del proceso de adaptación, se refiere a las condiciones comunitarias que determinan el proceso de adaptación a nivel macro.

2.6 Condiciones preexistentes

Las condiciones preexistentes se refieren a las circunstancias o factores que ya están presentes en un individuo o población antes de que ocurra un evento, que en este caso significa un evento de calor. A nivel individual, en un contexto de salud, se trata de enfermedades, como las cardíacas, pulmonares, renales, psiquiátricas y los accidentes cerebrovasculares agudos, que están presentes en un individuo antes de un evento de calor y, por lo tanto, se exacerban cuando ocurre el evento (Huertas et al., 2021). A nivel social, contar con políticas directas o indirectas encaminadas a reducir la vulnerabilidad al calor (Martinez et al., 2019, 2022; Sánchez Martínez et al., 2011). Las condiciones preexistentes pueden actuar como factor protector o factor de riesgo, y pueden ocurrir varias simultáneamente.

A nivel individual, teniendo en cuenta que la vulnerabilidad al calor extremo está condicionada por la exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación de cada individuo. Pueden hacer que algunas personas sean más vulnerables que otras a los efectos del cambio climático, experimentando resultados de salud más adversos que el resto (Paavola, 2017; Sheridan & Dixon, 2017) Entre los diversos factores que pueden influir en los efectos del calor se encuentra la condición física o el consumo de sustancias tóxicas (como alcohol o drogas), que pueden modular la forma en que una persona experimenta los efectos del calor extremo (Asghari et al., 2017). A nivel de recursos, tener aire acondicionado o mejores viviendas afecta la exposición al calor (López-Bueno et al., 2020; López-Bueno, Navas-Martín, Díaz, et al., 2021a)

A nivel social, la vulnerabilidad y sus efectos en la salud están determinados por las exposiciones, las sensibilidades y la capacidad de adaptación de una comunidad ante una amenaza (J. Yu et al., 2021). Los recursos, la infraestructura y los medios disponibles a nivel comunitario también son un factor determinante en la adaptación y en la reducción de la vulnerabilidad. Por ejemplo, la implementación de políticas directas, como planes de prevención y políticas indirectas, como cobertura sanitaria, planes de pensiones o prestaciones por desempleo, pueden mitigar la vulnerabilidad social y su impacto en la salud modulando los efectos del calor (Sánchez Martínez et

al., 2011, 2022, 2019). Además, otros factores preexistentes que condicionan la adaptación al calor, como si la población está o no más aclimatada al calor (Navas-Martín et al., 2022), la contaminación (Culqui et al., 2017; Egea et al., 2023; Linares, Díaz, et al., 2020; Ruiz-Páez et al., 2023), el clima (Carmona et al., 2017; López-Bueno et al., 2019; López-Bueno, Navas-Martín, Linares, et al., 2021) y los factores meteorológicos (Miron et al., 2008; Ruiz-Páez et al., 2023).

2.7 Dominios del marco conceptual

Los procesos de adaptación al calor pueden abordarse desde diferentes perspectivas y de diferentes maneras, como lo señalan la OMS (WHO, 2015), autoridades sanitarias nacionales como el Reino Unido (Government of United Kingdom, 2023), Estados Unidos (The White House, 2023) y Canadá (Government of Canada, 2023) a través de la resiliencia al cambio climático. Respecto a la adaptación, ya que existen muchas definiciones y, por tanto, muchas categorías diferentes, lo que imposibilita tener una clasificación universal (Noble et al., 2015; Smit & Wandel, 2006). Algunos autores sugieren desde el enfoque del confort, son las clasificaciones de adaptación fisiológica, psicológica y conductual (Schweiker et al., 2013; Schweiker & Wagner, 2015). Otros autores se han centrado en la adaptación cultural (Ellen, 2018; Smit & Wandel, 2006), conductual (Indraganti, 2010; Rijal et al., 2019) o inclusive de forma conjunta cultural/conductual (Araos et al., 2021). Además de la adaptación política (Biesbroek et al., 2018; Dupuis & Biesbroek, 2013) o institucional (Araos et al., 2021; Bellamy, 2019; Noble et al., 2015), entre otras.

En el marco conceptual se proponen tres dominios de respuesta de adaptación al calor, la adaptación fisiológica, la cultural y política.

2.7.1 Adaptación fisiológica (Aclimatación)

La adaptación fisiológica al calor, también conocida como aclimatación, se refiere a los ajustes realizados en los mecanismos corporales en respuesta a la exposición regular a altas temperaturas, lo que desencadena reacciones que reducen los impactos adversos del estrés por calor. Esto se logra mediante un aumento de la sudoración y reacciones del flujo sanguíneo de la piel; un mejor equilibrio de líquidos y estabilidad cardiovascular; una tasa metabólica reducida, expansión del volumen plasmático y el desarrollo de tolerancia térmica (Périard et al., 2015). La adaptación funcional o fisiológica se adquiere durante la vida y no es hereditaria genéticamente (Leonard, 2015): se necesitan de 7 a 14 días para aclimatarse, y es durante los

primeros 4 a 7 días de exposición al calor cuando se produce una adaptación a corto plazo (Périard et al., 2016). Este tipo de adaptación se activa para mantener la homeostasis y asegurar el funcionamiento biológico normal, como la regulación de la temperatura corporal y la oxigenación de la sangre y los tejidos ante factores ambientales estresantes (Leonard, 2015).

Si uno sufre exposición frecuente, es posible que se produzca la aclimatación a corto plazo al mismo, lo cual puede disminuir tanto la carga cardiovascular como la respuesta de la temperatura central ante la exposición al calor (Charkoudian, 2016).

A nivel individual, las características físicas, tales como la edad, el sexo, el índice de masa corporal, la salud, la medicación y el estado físico, influyen significativamente en la eficacia de las funciones clave de termorregulación, como la sudoración, la eficiencia del sistema cardíaco y el ajuste del volumen sanguíneo. Estos factores pueden contribuir a la variación en la tolerancia al estrés por calor. En particular, se ha observado que tanto los niños como las personas mayores tienen menor capacidad de tolerancia al calor en comparación con el resto de la población (Hanna & Tait, 2015; Leonard, 2015; Wickham et al., 2020).

2.7.2 Adaptación cultural

La adaptación cultural es el proceso de cambio en respuesta en el entorno o una alteración en los factores internos que afectan a una entidad, como una organización, una comunidad o una sociedad (Denevan, 2010; Smit & Wandel, 2006; Storå, 1994). Estos factores culturales condicionan el respaldo de las personas a las medidas de adaptación y su nivel de motivación para actuar (Adger et al., 2012). A través del aprendizaje y enseñanza, el conocimiento sobre la adaptación puede ser transmitidas de generación en generación (Leonard, 2015). En la gestión adaptativa del sistema de salud, por ejemplo, las evaluaciones de riesgos aclaran las necesidades locales o las encuestas proporcionan información sobre la eficacia (WHO, 2015). En estudios recientes de las ciencias sociales, las prácticas culturales que favorecen los procesos de adaptaciones pueden clasificarse en dos categorías: conductuales y técnicas (Smit & Wandel, 2006).

2.7.2.1 Adaptación conductual

La adaptación conductual se trata de la adecuación en el comportamiento individual, colectivo e institucional para disminuir la exposición de la sociedad a las vulnerabilidades relacionadas con el clima (Pielke, 1998). Se adquiere por medio del

aprendizaje, es el mecanismo más rápido y flexible en los que individuos pueden hacer frente a los problemas ambientales (Hardesty, 1942).

A nivel individual, los cambios que una persona realiza consciente o inconscientemente para modificar su temperatura corporal incluyen diversas acciones, tales como tomar una ducha de agua tibia, cambiar de ropa, actividad, postura o lugar. Además, comer o beber alimentos fríos puede contribuir a disminuir la temperatura corporal (Brager & De Dear, 1998; Liu et al., 2012). Asimismo, existen medidas pasivas que el individuo puede adoptar en el hogar, como abrir las ventanas para disipar el calor, echar el toldo o usar persianas y cortinas (Alessandrini et al., 2019; Martinez et al., 2022; Santamouris et al., 2007). Durante los días laborales tomar descansos en ambientes calurosos (Jay et al., 2021).

A nivel social, el cambio está determinado por los componentes culturales y sociales de cada lugar. Por ejemplo, puede implicar cambiar los códigos de vestimenta adaptados a zonas más cálidas, tomar una siesta durante las horas de mayor calor o modificar la forma en que nos organizamos en el trabajo y el tiempo libre (Brager & De Dear, 1998; Liu et al., 2012; Lundgren et al., 2013; Navas-Martín, López-Bueno, Ascaso-Sánchez, et al., 2022; Weitensfelder & Moshhammer, 2020).

2.7.2.2 Adaptación técnica

En un sentido más amplio, la tecnología se refiere al uso y conocimiento de diversas herramientas y técnicas, y a cómo su aplicación impacta en la capacidad de los seres humanos para adaptarse y controlar el entorno físico y social. Puede hacer referencia no solo a objetos físicos como máquinas, herramientas y dispositivos, sino que también puede extenderse a temas más generales como sistemas, métodos de organización y técnicas (Banta, 2009). En el contexto del cambio climático, la adaptación tecnológica se refiere al uso de estas herramientas y conocimiento de la tecnología para hacer frente a los impactos y ser más resistentes al cambio climático (Bellamy, 2019). La adaptación técnica, así, puede adoptar diferentes formas - estructural, física o social- que incluyen la adaptación educativa, la informativa y la conductual. (Bellamy, 2019; Noble et al., 2015).

A nivel individual, el uso de ropa y complementos con protección solar, como gafas de sol, sombrero o ropa acondicionada para reducir el calor (Holmér, 1995; Kearney et al., 2016), así como dispositivos de sombra, como persianas, y el uso de

ventiladores y aires acondicionados (Kownacki et al., 2019; Osberghaus & Abeling, 2022).

A nivel social, esto abarcaría mejoras arquitectónicas más complejas, como mejorar el aislamiento térmico del edificio para aumentar la eficiencia energética; haciendo uso de techos y paredes frescos o verdes, y otros elementos como parte del diseño pasivo del edificio. Además, la selección de la orientación óptima, o la inclusión de dispositivos de control solar y la aplicación de materiales de construcción absorbentes, por ejemplo, podrían ser un mejor enfoque para un escenario cambiante de cambio climático donde se necesita adaptación. Por otro lado, para alcanzar el confort higrotérmico interior, y cuando las estrategias pasivas no resultan suficientes, se recomienda la implementación de ventilación y aire acondicionado, además de otros elementos de apoyo, como intercambiadores de energía, elementos de almacenamiento térmico de energía, ventiladores, radiadores entre otros, podrían ser buenas soluciones, pero en caso contrario, implican un aumento en el gasto energético y en las emisiones de GEI. Este inconveniente puede solucionarse suministrando energía, al menos en gran medida, con fuentes de energía renovables (Martinez et al., 2022; Puig, 2021).

También, puede de ser desde el propio entorno construido, como pueden ser con el reverdecimiento urbano e infraestructura azul urbana presencia (Martinez et al., 2022), que entre otros beneficios reduce el efecto de isla de calor urbano (Alvarez et al., 2021; López-Bueno et al., 2020). Además, los centros de enfriamiento son lugares diseñados específicamente para proporcionar alivio temporal a personas que se encuentran en situaciones de calor extremo y suelen estar ubicados en lugares públicos (Berisha et al., 2017; Nayak et al., 2019). Otra posible medida es la transformación de las escuelas en refugios climáticos, ofrecen protección ante una situación desfavorable. Estos espacios que puedan ser utilizados por la comunidad como lugares de refugio durante los días calurosos, fuera del horario escolar o durante los fines de semana (Baró et al., 2022).

Otra de las soluciones técnicas es a través del enfriamiento urbano, que se trata de una red centralizada de tuberías que suministra refrigeración a los edificios conectados (Puig, 2021). Por último, no se debe olvidar que otra forma de adaptación tecnológica es la educacional o informativa, como se mencionó anteriormente. La educación ambiental permite empoderar y fomentar una ciudadanía comprometida con su salud y con la preservación del medio ambiente (Huertas et al., 2021). A nivel

nacional, para prevenir el impacto del calor en la sociedad, es necesario crear materiales didácticos y formativos, como folletos e infografías, para su posterior difusión y concienciación (Martinez et al., 2022).

2.7.3 Adaptación política

En términos generales, la adaptación política se refiere al conjunto de acciones y decisiones de acciones y elecciones llevadas a cabo por individuos y organizaciones tanto públicas como privadas, a distintos niveles administrativos y en diversos sectores, con el fin específico de abordar los efectos del cambio climático. Los resultados buscados pretenden generar un impacto significativo en grupos de actores, áreas geográficas o sectores vulnerables a los efectos del cambio climático (Biesbroek et al., 2018; Dupuis & Biesbroek, 2013).

Existen dos tipos de políticas destinadas a la adaptación al calor: las directas e indirectas. Las políticas directas son medidas específicas y dirigidas que se implementan con el objetivo de reducir los efectos negativos del calor extremo. Por otro lado, las políticas indirectas que no tienen como objetivo promover la adaptación, pero pueden tener un impacto positivo en el proceso de adaptación al calor. Estas políticas pueden ser específicas, por ejemplo, incrementar la eficiencia energética mediante una mejor climatización, incrementando a su vez la eficacia del aire acondicionado. Pero también pueden ser políticas generales, como pueden ser disponer de un sistema de pensiones, cobertura sanitaria o prestaciones de desempleo, las cuales incrementan la resiliencia en general, incluyendo frente a los impactos del cambio climático.

A nivel social, estas políticas de adaptación pueden incluir, implementación de planes de alerta, emergencia y de prevención en salud que se activan durante una ola de calor (Sánchez Martínez, 2019; Sánchez Martínez et al., 2011, 2022, 2019), Además de sistemas de vigilancia (Martinez et al., 2022), así como la mejora de infraestructuras para reducir la exposición al calor, como la creación de zonas verdes (García Sánchez et al., 2018; Hrdalo et al., 2015; Mukhamedjanov et al., 2023). Promover campañas de sensibilización mediante de la divulgación y la educación sobre los riesgos del calor extremo. Realizar comunicaciones de riesgo a través de páginas web, aplicaciones móviles, SMS, boletines, medios de comunicación social y medios de comunicación masiva. Fomentar acciones individuales saludables en las empresas y organismos a través de incentivos y premios. También, en la creación de

normativas, planes y programas para favorecer acciones para combatir los efectos de calor (EPA, 2023; Martínez et al., 2022; Puig, 2021).

A nivel individual, sería la acción que puede llevar a cabo un ciudadano en respuesta a una política específica, como puede ser el uso de subsidios para el pago del recibo de la luz (Bienvenido-Huertas et al., 2023; Rodríguez-Alvarez et al., 2019), o el uso del espacio público para buscar lugares frescos y con sombra como parques y jardines.

Asimismo, estas políticas pueden distinguirse entre políticas de adaptación privada, que se realiza por cuenta propia y solo benefician a los que toman la decisión, y de adaptación conjunta, que involucra a múltiples beneficiarios, esta última se lleva a cabo por la acción gubernamental (Mendelsohn, 2000). Ejemplos de políticas públicas son la mejora de los servicios sanitarios, reducción de la pobreza; redistribución de recursos; educación y sistema de alerta de olas de calor (Guo et al., 2018).

2.8. Mecanismos del marco conceptual

El cambio climático está alterando los riesgos de salud por el incremento en la mortalidad y morbilidad ocasionados por fenómenos meteorológicos extremos cada vez más frecuentes, como las olas de calor. La influencia de estos riesgos en los resultados en salud está condicionada por la vulnerabilidad de la población. En los ámbitos de adaptación, los ejes de desigualdad, los niveles y las condiciones preexistentes determinan los mecanismos adaptativos.

En España, los estudios realizados por el grupo de investigación (tabla 1 y tabla 2) han demostrado que la relación entre los riesgos de salud y los resultados en salud en términos de adaptación al calor vienen determinados por los ejes de desigualdad como el género (Follos et al., 2020; Navas-Martín et al., 2022), la edad (Navas-Martín et al., 2023) y el territorio (Díaz et al., 2019; Follos et al., 2021; López-Bueno, Díaz, et al., 2021; Navas-Martín et al., 2022; Navas-Martín et al., 2023). Mientras que el impacto en la vulnerabilidad al calor, viene determinada por además del género (Díaz et al., 2002a, 2006; Díaz, López, et al., 2018; López-Bueno et al., 2020) y la edad (Díaz, Carmona, Mirón, Ortiz, & Linares, 2015a), también en la clase social (López-Bueno et al., 2020) y el territorio (Cuerdo-Vilches et al., 2023; Díaz, Carmona, et al., 2018a; Díaz, Carmona, Mirón, Ortiz, León, et al., 2015; García-Herrera et al., 2005; Linares et al., 2014; López-Bueno et al., 2022; Miron et al., 2008; Tobias et al., 2012; Tobías et al., 2014).

Tabla 1. Relación de los elementos del marco conceptual, las conclusiones de las pruebas locales y su relevancia para la adaptación al calor a través de los estudios de casos.

| Dimensión del marco | Elemento específico del marco | Hallazgos de resultados locales | Referencias | Pertinencia para la adaptación |
|----------------------------|--------------------------------------|--|-----------------------------|---|
| Ejes de desigualdad | Edad | La población mayor de 65 años mostró una aclimatación más lenta que la población general | Navas-Martín et al. (2023a) | La prevención debe asumir, en el mejor de los casos, el ritmo más lento de aclimatación, la orientación específica a las personas mayores |
| Ejes de desigualdad | Territorio | Los distintos territorios mostraron ritmos de adaptación muy diferentes | Navas-Martin et al. (2023b) | Los planes de prevención deben adaptarse a las zonas climáticas y basarse en pruebas epidemiológicas locales |
| Ejes de desigualdad | Territorio | Las zonas urbanas mostraron mayores tasas de adaptación que las rurales | Navas-Martin et al. (2022a) | Los planes de prevención deben incorporar las diferencias de adaptación entre las zonas urbanas y rurales |
| Ejes de desigualdad | Género | Las mujeres mostraron una mayor adaptación que los hombres | Navas-Martin et al. (2022b) | Los planes de prevención deben incluir la perspectiva de género para |

| | | | | |
|---------------------|------------|---|---------------------------|--|
| | | | | abordar las diferencias de género en la adaptación |
| Ejes de desigualdad | Territorio | Heterogeneidades geográficas en la adaptación | Follos et al. (2021) | Los planes de prevención deben articular medidas a nivel local para la adaptación |
| Ejes de desigualdad | Territorio | Heterogeneidades geográficas en la adaptación | López-Bueno et al. (2021) | Los planes de prevención deben adaptarse a la temperatura umbral de definición de ola de calor a nivel local |
| Ejes de desigualdad | Género | Ambos sexos mostraron adaptación, aunque las mujeres son más vulnerables al calor | Follos et al. (2020) | Los planes de prevención deben evaluarse y mejorarse |
| Adaptación política | Directa | Es importante aplicar planes de acción de prevención en salud | Linares et al. (2020) | El plan de prevención debe priorizar una perspectiva sanitaria |
| Ejes de desigualdad | Territorio | Heterogeneidades geográficas en la adaptación | Díaz et al. (2019) | Los planes de prevención deben articular medidas a nivel local para la adaptación |

Tabla 2. Relación de los elementos del marco conceptual, las conclusiones de las pruebas locales y su relevancia para la vulnerabilidad al calor a través de los estudios de casos.

| Dimensión del marco | Elemento específico del marco | Hallazgos de resultados locales | Referencias | Pertinencia para la adaptación |
|----------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------------|--|
| Ejes de desigualdad | Territorio | Heterogeneidades geográficas en el efecto isla de calor urbana | Cuerdo - Vilches et al. (2023) | El plan de prevención debe basarse en evidencia local y considerar factores locales para determinar su impacto en los resultados de salud. |
| Condiciones preexistentes | Contaminación | Aumento de ingresos en urgencias por enfermedades endocrinas y metabólicas debido al ozono y las horas de luz solar | Egea et al. (2023) | El plan de prevención debe considerar factores ambientales basados en evidencia epidemiológica local |
| Condiciones preexistentes | Meteorológica | El efecto de las olas de calor sobre la morbilidad y la mortalidad depende de la situación sinóptica | Ruiz-Páez et al. (2023) | Plan de prevención debe considerar factores meteorológicos basados en evidencia epidemiológica local |

| | | | | |
|---------------------------|--------------|---|----------------------------|--|
| Ejes de desigualdad | Territorio | Las zonas rurales son menos vulnerables al calor extremo que el área urbana | López-Bueno et al. (2022) | Los planes de prevención deben incorporar las diferencias de vulnerabilidad entre zonas urbanas y rurales |
| Condiciones preexistentes | Climática | Heterogeneidades climáticas en la vulnerabilidad a las olas de calor | López-Bueno et al. (2021) | El plan de prevención debe considerar las diferencias en la vulnerabilidad climática a las olas de calor según la evidencia epidemiológica local |
| Adaptación política | Directa | Planes de acción que consideran los diferentes factores ambientales afectados por las olas de calor | Linare et al. (2020) | Los planes de prevención deben integrarse en la salud |
| Ejes de desigualdad | Género | Las mujeres son más vulnerables al calor que los hombres | López-Bueno et al. (2020a) | Los planes de prevención deben incluir la perspectiva de género |
| Ejes de desigualdad | Clase social | Nivel de ingresos (como indicador proxy de clase social) para explicar los | López-Bueno et al. (2020b) | El plan de prevención debe considerar las diferencias en la vulnerabilidad |

| | | | | |
|---------------------|------------|--|-------------------------------|--|
| | | diferentes impactos del calor detectados en los distritos | | debido a factores socioeconómicos |
| Adaptación cultural | Técnica | La vivienda juega un papel clave en la modulación del impacto de las olas de calor | López-Bueno et al. (2019) | Los planes de prevención deben articular medidas de rehabilitación de viviendas |
| Adaptación política | Directa | Los HHAP reducen o minimizan la mortalidad y morbilidad relacionadas con el calor | Sánchez-Martín et al. (2019) | Los planes de prevención deben actualizarse |
| Adaptación política | Directa | Sin medidas de adaptación la mortalidad aumenta | Sánchez-Martín et al. (2018a) | Los planes de prevención deben incluir una perspectiva a largo plazo en la prevención de la exposición al calor en salud pública |
| Ejes de desigualdad | Territorio | Heterogeneidades geográficas en la vulnerabilidad | Díaz et al. (2018a) | Los planes de prevención deben incorporar las diferencias geográficas en vulnerabilidad |
| Adaptación política | Directa | Sin medidas de adaptación la | Sánchez- | Prevention plans must design as a |

| | | | | |
|---------------------------|--------------|---|--------------------------|--|
| | | mortalidad aumenta | Martín ez et al. (2018b) | dynamic, adaptive process from the inception |
| Ejes de desigualdad | Género | Hospital admissions for respiratory causes due to the impact of heat waves were associated with women | Díaz et al. (2018b) | Los planes de prevención deben incluir la perspectiva de género |
| Condiciones preexistentes | Enfermedades | Las olas de calor se asociaron con los ingresos hospitalarios por enfermedad de Alzheimer | Culqui et al. (2017) | El plan de prevención debe considerar condiciones preexistentes en vulnerabilidad a las olas de calor según la evidencia epidemiológica local |
| Condiciones preexistentes | Climática | El uso de zonas isoclimáticas mejora la eficacia de los planes de prevención en salud pública | Carmona et al. (2017) | El plan de prevención debe considerar las diferencias en la vulnerabilidad climática a las olas de calor según la evidencia epidemiológica local |
| Adaptación política | Directa | Sin medidas de adaptación la | Roldán et al. (2016) | Los planes de prevención deben incluir una perspectiva de largo |

| | | | | |
|---------------------------|--------------|---|------------------------|---|
| | | mortalidad aumenta | | plazo en la prevención de temperaturas extremas en salud pública |
| Condiciones preexistentes | Enfermedades | Las olas de calor se asociaron con la mortalidad por enfermedad de Parkinson | Linare s et al. (2016) | El plan de prevención debe considerar condiciones preexistentes en vulnerabilidad a olas de calor según evidencia epidemiológica local |
| Adaptación política | Directa | El impacto de las altísimas temperaturas supone un coste en la carga hospitalaria además de la pérdida de vidas humanas | Roldán et al. (2015) | Los planes de prevención deben incluir la implementación de medidas preventivas destinadas a mitigar el impacto del calor extremo en la salud humana y reducir los costos de mortalidad asociados |
| Ejes de desigualdad | Territorio | Heterogeneidades geográficas en la vulnerabilidad | Linare s et al. (2015) | Los planes de prevención deben incorporar las diferencias geográficas en vulnerabilidad |

| | | | | |
|---------------------------|------------------|--|------------------------|---|
| Condiciones preexistentes | Condición física | Las olas de calor son un factor de estrés agudo para las mujeres embarazadas | Linare s & Diaz (2015) | El plan de prevención debe considerar condiciones preexistentes en vulnerabilidad a las olas de calor según la evidencia epidemiológica local |
| Ejes de desigualdad | Territorio | Heterogeneidades geográficas en la vulnerabilidad | Díaz et al. (2015a) | Los planes de prevención deben incorporar las diferencias geográficas en vulnerabilidad |
| Ejes de desigualdad | Edad | Las personas mayores son más vulnerables al calor | Díaz et al. (2015b) | Los planes de prevención deben incluir diferentes medidas de adaptación para cada uno de los grupos vulnerables |
| Ejes de desigualdad | Territorio | Heterogeneidades geográficas en la vulnerabilidad | Linare s et al. (2014) | Los planes de prevención deben incorporar las diferencias geográficas en vulnerabilidad |
| Ejes de desigualdad | Territorio | Heterogeneidades geográficas en la vulnerabilidad | Tobías et al. (2014) | Los planes de prevención deben incorporar las diferencias |

| | | | | |
|---------------------------|---------------|---|------------------------------|--|
| | | | | geográficas en vulnerabilidad |
| Condiciones preexistentes | Meteorológica | Las condiciones ciclónicas acompañadas de situaciones de baja humedad se asocian con una mayor mortalidad por olas de calor | Montero et al. (2012) | Plan de prevención debe considerar factores meteorológicos basados en evidencia epidemiológica local |
| Ejes de desigualdad | Territorio | Heterogeneidades geográficas en la vulnerabilidad | Tobías et al. (2012) | Los planes de prevención deben incorporar las diferencias geográficas en vulnerabilidad |
| Ejes de desigualdad | Territorio | Heterogeneidades geográficas en la vulnerabilidad | García-Herrera et al. (2010) | Los planes de prevención deben incorporar las diferencias geográficas en vulnerabilidad |
| Ejes de desigualdad | Territorio | Heterogeneidades geográficas en la vulnerabilidad | Mirón et al. (2008) | Los planes de prevención deben incorporar las diferencias geográficas en vulnerabilidad |
| Ejes de desigualdad | Género | Heterogeneidades de género en la vulnerabilidad | Díaz et al. (2006a) | Los planes de prevención deben incluir la |

| | | | | |
|---------------------------|--------------|--|----------------------|---|
| | | | | perspectiva de género |
| Condiciones preexistentes | Enfermedades | Heterogeneidades de enfermedades en vulnerabilidad | Díaz et al. (2006b) | El plan de prevención debe considerar condiciones preexistentes en vulnerabilidad a las olas de calor según la evidencia epidemiológica local |
| Ejes de desigualdad | Territorio | Heterogeneidades geográficas en la vulnerabilidad | García et al. (2005) | Los planes de prevención deben incorporar las diferencias geográficas en vulnerabilidad |
| Ejes de desigualdad | Género | Las mujeres mayores son más vulnerables al calor que los hombres | Díaz et al. (2002) | Los planes de prevención deben incluir la perspectiva de género |

Con respecto al impacto de la vulnerabilidad, la adaptación está determinada por las condiciones preexistentes tanto de variables ambientales, como la contaminación (Díaz et al., 2016; Egea et al., 2023), las condiciones meteorológicas (Montero et al., 2012; Ruiz-Páez et al., 2023) y las condiciones climáticas (Carmona et al., 2017; López-Bueno, Navas-Martín, Linares, et al., 2021). También se consideran las condiciones físicas de las personas, como las enfermedades previas antes de un episodio de calor (Culqui et al., 2017; Linares et al., 2016). Por último, en relación con los dominios de adaptación, la evidencia disponible procedente de estudios epidemiológicos de que la relación temperatura-mortalidad es limitada (M. Á. Navas-

Martín et al., 2024) y se centra en la dimensión de la adaptación cultural, específicamente la adaptación técnica y el papel protector de las viviendas en particular (López-Bueno et al., 2019), y en la adaptación de políticas directas, como planes de prevención (Roldán et al., 2014, 2016).

2.9 Aplicación del marco conceptual

El cambio climático está alterando la bien conocida asociación entre el calor y los efectos adversos en salud, incrementando la exposición y vulnerabilidad de amplios grupos poblacionales y el riesgo de efectos adversos del calor. Esta modificación requiere un esfuerzo de adaptación tanto institucional como espontánea, con implementación tanto a nivel individual como grupal o social. La adaptación tiene como objetivo reducir la vulnerabilidad y riesgos del calor, minimizando los efectos adversos en salud. Esta adaptación, como se ha ilustrado en este marco, se puede categorizar en tres ámbitos principales: fisiológica (aclimatación), cultural (incluyendo comportamientos y tecnologías) y de políticas. La relevancia de los diferentes dimensiones y elementos del marco conceptual se muestran para la adaptación al calor en la tabla 1 y para el impacto en la vulnerabilidad al calor en la tabla 2.

El marco conceptual propuesto constituye una valiosa herramienta para comprender la interacción entre el cambio climático, la vulnerabilidad, los riesgos para la salud, los ejes de desigualdad y los resultados sanitarios en el proceso de adaptación al calor. Las desigualdades sociales, impulsadas por factores como la clase social, el género, la edad, la etnia y el territorio, delimitan la vulnerabilidad al cambio climático. Subrayando la necesidad de políticas integrales y justas que den prioridad a las comunidades más vulnerables, el marco subraya las dimensiones fisiológicas, culturales y políticas de la adaptación. Las condiciones preexistentes, que abarcan dolencias crónicas, rasgos demográficos y elementos socioeconómicos, surgen como determinantes fundamentales de la vulnerabilidad tanto individual como comunitaria. A escala individual, estas condiciones determinan la eficacia de la adaptación fisiológica al calor, influyendo en la tolerancia y la capacidad de respuesta a condiciones extremas. A escala social, las condiciones preexistentes moldean la adaptación cultural, determinando la capacidad de instigar cambios de comportamiento y tecnológicos a nivel comunitario. Esta interconexión subraya la necesidad imperiosa de políticas que aborden las desigualdades existentes y

promuevan adaptaciones a medida en cada nivel, garantizando tanto la equidad como la eficacia en la gestión del riesgo climático para la salud.

2.10 Discusión

El objetivo del marco conceptual propuesto es proporcionar una estructura global para comprender y abordar la relación entre el cambio climático, la vulnerabilidad, los riesgos para la salud, las desigualdades sociales y los resultados sanitarios. Pretende establecer conexiones claras entre componentes clave, como las condiciones preexistentes, los niveles individual y social, y las dimensiones fisiológicas, culturales y políticas de la adaptación al calor. También pretende orientar el desarrollo y la aplicación de políticas inclusivas y equitativas que mitiguen las desigualdades y refuercen la capacidad de las comunidades, especialmente las más vulnerables, para hacer frente a los riesgos asociados al cambio climático. Entre las principales conclusiones cabe destacar la relevancia de las desigualdades sociales y la acuciante necesidad de abordar la adaptación al calor desde una perspectiva multidimensional, que abarque aspectos fisiológicos, culturales y políticos. Las condiciones preexistentes aparecen como determinantes cruciales de la vulnerabilidad, tanto a nivel individual como social. Esta constatación subraya la necesidad de enfoques integrados. También subraya la importancia de las políticas inclusivas y equitativas, con especial énfasis en las poblaciones más vulnerables. Estas conclusiones ponen de relieve la urgencia de adoptar medidas holísticas y equitativas para afrontar los retos del cambio climático y garantizar una adaptación eficaz y equitativa.

En el caso de la adaptación al calor, existe un conocimiento limitado a partir de estudios epidemiológicos de que la relación temperatura-mortalidad es limitada (M. Á. Navas-Martín et al., 2024) pero los hallazgos basados en evidencia local vinculan la adaptación al calor con los ejes de desigualdad, como edad, territorio y género. Estos hallazgos coinciden con estudios realizados con otros investigadores, donde se han observado diferencias en la adaptación al calor entre distintas ciudades, grupos de edad y género (Achebak et al., 2019; Bobb et al., 2014; Chung et al., 2018; Tobías et al., 2021). Asimismo, ha sido relevante la implementación de planes de prevención frente al calor a través de políticas de adaptación, tal como se ha evidenciado en otros estudios realizados en diferentes países, como son Canadá (Benmarhnia et al., 2016a), Italia (Schifano, Leone, De Sario, et al., 2012) y Australia (Nitschke et al., 2016).

En cuanto a la vulnerabilidad al calor, se ha encontrado una relación también con los estudios de evidencia local los con ejes de desigualdad como la edad, el territorio y el género, tal como lo han demostrado otros estudios (Graczyk et al., 2022; Kang et al., 2020; Tong et al., 2014). Estas diferencias influyen en las oportunidades que cada persona tiene para mantener una buena salud frente a la exposición a los riesgos del cambio climático. Asimismo, también los estudios que relacionan las condiciones preexistentes con la vulnerabilidad al calor coinciden con los hallazgos de otras investigaciones sobre la incidencia de factores ambientales como la contaminación (Yang et al., 2022), las condiciones climatológicas (Pezza et al., 2012) y meteorológicas (Sharma & Mujumdar, 2017), así como la propia condición de salud de las personas (Schifano et al., 2009). Por último, con relación a la evidencia relacionada con los dominios de la adaptación política y cultural, también se encuentra respaldada en otros estudios que enfatizan la necesidad de implementar medidas políticas de adaptación para reducir la vulnerabilidad al calor (Boeckmann & Rohn, 2014a). O bien, implementar medidas técnicas de adaptación en las viviendas por el sobrecalentamiento se ha demostrado que la vivienda desempeña un papel crucial como elemento protector frente al calor (Ramakrishnan et al., 2017a).

La adaptación es el resultado de una combinación de múltiples factores. Este conjunto de elementos y factores distintos que explican el proceso de adaptación al calor se conoce como "cultura del calor" (Follos et al., 2020; IPCC, 2019; Linares, Paz, et al., 2020; López-Bueno et al., 2020; Navas-Martín et al., 2022). Según Bobb et al., existen diversos factores que pueden contribuir a que una población se adapte al calor. Entre ellos se incluyen cambios en el estilo de vida, la reducción de factores de riesgo y mejoras en los servicios de salud. Además, la implementación de sistemas de alerta temprana y programas de salud pública. Asimismo, los cambios en el comportamiento, como reducir la exposición al aire libre en días calurosos, y las mejoras en el entorno construido, como la creación de zonas verdes. Además, es de suma importancia fomentar una mayor concienciación sobre los riesgos asociados al calor (Bobb et al., 2014).

Igualmente, es importante destacar otros factores que complementan y enriquecen la comprensión del proceso de adaptación al calor y las medidas que pueden tomarse para reducir sus efectos negativos en la salud, tal como se ha identificado en el marco conceptual. Estos factores permitirían ampliar la noción de "cultura del calor". La

vivienda desempeña un papel fundamental como elemento protector contra el calor, y aspectos como la edad, el estado y la rehabilitación de la vivienda influyen en el riesgo asociado (López-Bueno et al., 2019a, 2020; López-Bueno et al., 2021a; López-Bueno, Navas-Martín, Linares, et al., 2021; M. Navas-Martín et al., 2022; Navas-Martín et al., 2023). Además, el uso de medios técnicos como el aire acondicionado (López-Bueno et al., 2020; Petkova et al., 2014) y la adopción de medidas de protección solar, como el uso de gafas de sol, ropa adecuada o sombrero, también son importantes para prevenir los efectos adversos del calor en la salud (Holmér, 1995; Kearney et al., 2016). En el caso de las personas mayores, contar con una red social y apoyo interpersonal cercanos resulta crucial, ya que vivir solo durante una ola de calor se convierte en un factor de riesgo. Aquellos individuos que mantienen mayor interacción social tienen menos probabilidades de experimentar los efectos negativos del calor (Lin et al., 2019a, 2019b; López-Bueno, Navas-Martín, Linares, et al., 2021).

Por último, la educación ambiental desempeña un papel relevante al fomentar un conocimiento sólido y una mayor conciencia sobre la adaptación a corto y largo plazo a las condiciones climáticas extremas (Anderson, 2013; Bofferding & Kloser, 2015; Ekpo & Olatunde-Aiyedun, 2019). En conjunto, estos factores adicionales enriquecen el concepto de "cultura del calor" y nos proporcionan una comprensión más completa de cómo abordar y adaptarnos a los efectos del calor en la salud.

El marco conceptual tiene una serie de limitaciones que conviene tener en cuenta. En primer lugar, existen pocos estudios que aborden los procesos de adaptación al calor de la población. Además, existen lagunas en la investigación que dificultan la interrelación de ciertos conceptos con el marco conceptual. Por ejemplo, cuando se trata de adaptación, se necesita un examen más profundo de la influencia de la clase social y la etnia en los ejes de desigualdad, así como la de las políticas de adaptación, la adaptación cultural y las condiciones preexistentes. En lo que respecta al impacto de la vulnerabilidad, aunque hay amplia evidencia disponible, todavía existen vacíos en la investigación. Estas brechas incluyen la necesidad de estudios sobre adaptación conductual, políticas indirectas y estudios que desglosen sus resultados por etnia.

Por un lado, la implementación del marco conceptual a nivel político también puede enfrentar ciertas limitaciones. Los desafíos relacionados con la logística y los recursos, especialmente en entornos con limitaciones financieras, podrían obstaculizar la implementación efectiva de políticas. Las interpretaciones divergentes y la priorización de elementos del marco entre los actores políticos

pueden conducir a enfoques inconsistentes. La resistencia política o la falta de compromiso para abordar las desigualdades sociales subyacentes podrían impedir la eficacia de las políticas. Además, lograr la coordinación y colaboración intersectorial entre los niveles de gobierno puede resultar complicado en contextos políticos fragmentados. Por otro lado, la resistencia social al cambio y las diversas perspectivas culturales podrían plantear desafíos para la adopción de las medidas de adaptación recomendadas. El acceso desigual a los recursos y la información podría exacerbar las desigualdades sociales existentes, obstaculizando la eficacia del marco. Por lo tanto, abordar los desafíos tanto políticos como sociales es crucial para una implementación exitosa, lo que requiere una gobernanza efectiva y una inclusión y participación comunitaria activa. A pesar de estas limitaciones, el marco conceptual proporciona una base sólida para su aplicación y permite identificar elementos clave para futuros estudios.

2.11 Conclusiones

Los efectos del cambio climático, y en concreto el aumento de la temperatura y las olas de calor, están relacionadas con los riesgos, la vulnerabilidad y los ejes de desigualdad en el proceso de adaptación al calor. La adaptación se produce a dos niveles o escalas: individual y social, y está condicionada por las condiciones personales y comunitarias previas. Todo esto influyen en los resultados en salud. La propuesta del marco conceptual ayudará a los investigadores y a los responsables políticos, tanto a comprender como a organizar eficazmente el conocimiento sobre la capacidad humana para adaptarse al calor, planificando e implementando medidas de adaptación efectivas. Asimismo, destaca que el problema de la adaptación al calor es un problema de salud que requiere soluciones políticas. En consecuencia, esto requiere un enfoque multidisciplinario que fomente la participación y colaboración de múltiples actores con el fin de proponer medidas efectivas para abordar el impacto en la salud del aumento de la temperatura.

Capítulo 3. Estado de la cuestión

Population adaptation to heat as seen through the temperature-mortality relationship, in the context of the impact of global warming on health: A scoping review

Miguel Ángel Navas-Martín,^{1,2} María-Antonia Ovalle-Perandones,³ José Antonio López-Bueno,² Julio Díaz,² Cristina Linares,² Gerardo Sánchez-Martínez.⁴

¹Doctorate Programme in Biomedical Sciences and Public Health, National University of Distance Education (*UNED*), Madrid (Spain). E-mail: mnavas89@alumno.uned.es

²National School of Public Health, Carlos III Institute of Health (*ISCIII*), Madrid, Spain.

³Library and Information Science Department, Madrid Complutense University, Madrid, Spain.

⁴ European Environment Agency (EEA), Copenhagen, Denmark.

| | |
|------------------------------|----------------------------------|
| Revista: | Science of The Total Environment |
| Facto de impacto (JCR): | 9.8 |
| Percentil de la publicación: | Decil 1 |
| Fecha de la publicación: | 2024 enero |
| DOI: | 10.1016/j.scitotenv.2023.168441 |
| PMID: | 37949135 |

3 Estado de la cuestión

3.1 Justificación de la elección de realizar una revisión de alcance

Se llevó a cabo una revisión de alcance o *scoping review* con el objetivo de comprender el nivel actual de conocimiento y avances relacionados con la adaptación al calor en una población específica. Este tipo de revisión es particularmente adecuado para determinar el alcance y la cobertura de la literatura existente, proporcionando una clara indicación del volumen de estudios y evidencia disponibles. Además, permite obtener una visión general, ya sea detallada o amplia, del enfoque general de la investigación. La *scoping review* resulta valiosa al examinar evidencia emergente, especialmente cuando aún no está claro qué preguntas más específicas podrían ser planteadas y abordadas mediante revisiones sistemáticas más precisas. Este enfoque también se revela efectivo para identificar y mapear la evidencia disponible, clarificar conceptos clave, examinar la metodología de investigación en un tema o campo específico, identificar características o factores esenciales relacionados con un concepto, y analizar y abordar posibles brechas de conocimiento (Munn et al., 2018).

3.2 Introducción

El cambio climático es la mayor amenaza para la salud a la que se enfrenta la humanidad (WHO, 2021b), debido al aumento de la frecuencia, intensidad y gravedad de fenómenos meteorológicos extremos como olas de calor, olas de frío, tormentas, incendios forestales, inundaciones y sequías. Estos fenómenos afectan negativamente la salud humana, ya que aumentan la mortalidad y morbilidad de la población (Weilnhammer et al., 2021).

Según el IPCC, se ha producido un incremento de la temperatura media global y un aumento en la intensidad y la frecuencia de las olas de calor (IPCC, 2022b). Pero sus efectos se producen de forma desigual en las poblaciones debido a los factores individuales, demográficos, geográficos y sociales que determinan la vulnerabilidad y la capacidad de adaptación (Adger, 2006; Paavola, 2017; Satgar & Cherry, 2019; WHO, 2021b). Estos factores vienen determinados por las diferencias de exposición, sensibilidad y adaptabilidad a los factores de riesgo (Füssel & Klein, 2006; Marí-Dell'olmo et al., 2022; Paavola, 2017).

La adaptación en el sistema humano es el proceso de modificarse para hacer frente al clima actual o previsto y a sus efectos, con el objetivo de minimizar los daños y maximizar las oportunidades de obtener beneficios (Allen et al., 2014). Existen

diferentes métricas para medir la efectividad de la adaptación (United Nations Environment Programme, 2022). Con respecto al impacto del calor se puede abordar según su relación con las estrategias de adaptación implementadas, que son: salud y bienestar, seguridad económica y humana, agricultura y medios de vida de subsistencia, infraestructura y entorno construido, e impactos socioculturales (Turek-Hankins et al., 2021). Desde el ámbito de la salud, la reducción de la mortalidad por el calor se considera el indicador más efectivo para reflejar la eficacia de la adaptación (United Nations Environment Programme, 2022).

Si el impacto del cambio climático producido por la acción del hombre cada vez se conoce más, en cambio la adaptación global al cambio se entiende mucho menos (Turek-Hankins et al., 2021). En general, no se sabe cómo los humanos se han adaptado o se adaptarán al estrés térmico causado por el cambio climático a largo plazo (Folkerts et al., 2020a).

Para conocer el nivel de adaptación al calor de una determinada población, se puede analizar a través de la evolución temporal entre la relación entre temperatura y mortalidad. Para ello, se pueden utilizar dos indicadores que vinculan la mortalidad (la Tumbal y la TMM) y comparar su evolución a lo largo del tiempo con el ritmo de aumento de la temperatura máxima diaria. Si el ritmo de cambio de los indicadores es más rápido que el aumento de la temperatura máxima diaria, entonces la población se ha adaptado. Si el ritmo de cambio de los indicadores es más lento que el aumento del ritmo temporal de la temperatura máxima diaria, entonces la población no ha logrado adaptarse (Follos et al., 2020, 2021; López-Bueno, Díaz, et al., 2021; Navas-Martín, López-Bueno, Ascaso-Sánchez, et al., 2022; Navas-Martín, López-Bueno, Díaz, et al., 2022).

La Tumbal es la temperatura máxima diaria a partir de la cual los efectos del calor empiezan a producir un exceso de mortalidad atribuible al calor, a partir de la cual aumenta la mortalidad de forma significativa (Linares-Gil et al., 2017; López-Bueno, Díaz, et al., 2021). La TMM es la temperatura máxima diaria que tiene el menor número de fallecimientos (Follos et al., 2020, 2021).

Por ello, es crucial entender los factores que influyen en la adaptación (Bakhsh et al., 2018a) para proteger a la población de sus efectos, especialmente aquellos relacionados con el aumento de temperatura y su impacto en salud (Sánchez Martínez et al., 2011). Sin embargo, no se sabe con exactitud qué tipo de

conocimientos sobre la adaptación de la población al calor a través de la relación entre temperatura y mortalidad existen en la literatura científica.

En este contexto, la relación entre temperatura y mortalidad a través de evolución temporal de las temperaturas umbrales y las temperaturas de mínimo mortalidad con la temperatura máxima diaria, permiten conocer el nivel de adaptación al calor de una determinada población. Teniendo en cuenta esta consideración para orientar la investigación, se planteó la siguiente pregunta: ¿Cuál es la evidencia disponible en la literatura sobre la adaptación al calor de la población a través de la evolución temporal a través de la relación temperatura-mortalidad?

El objetivo principal de esta revisión es conocer los conocimientos existentes sobre la adaptación de la población al calor en relación con la reducción o no de la mortalidad debida a los efectos del calor en la salud humana. Mientras que el objetivo secundario de la revisión es crear un mapa en red de los investigadores a través de las coautorías en las publicaciones.

Las revisiones de la bibliografía relativa a la relación entre la mortalidad relacionada con la temperatura y la adaptación humana a las altas temperaturas son limitadas (Arbuthnott et al., 2016; Boeckmann & Rohn, 2014b). En consecuencia, han puesto de relieve la escasez de pruebas sustanciales. Con el aumento de las temperaturas globales y la mayor frecuencia e intensidad de las olas de calor, evaluar el alcance y la exhaustividad de las pruebas existentes podría ayudar a señalar las áreas en las que existen lagunas de conocimiento. Además, esta evaluación podría orientar futuras investigaciones.

3.3 Material y método

Una revisión del alcance sirve como evaluación inicial de la amplitud y profundidad potencial de los materiales de investigación existentes, tratando de descubrir el carácter y la escala de los resultados de la investigación disponible, que puede incluso abarcar la investigación en curso. Este tipo de revisión proporciona a los responsables políticos información para determinar si se justifica una revisión sistemática exhaustiva (Grant & Booth, 2009). Las revisiones de alcance se llevan a cabo con diversos fines, siendo los principales objetivos examinar la amplitud o profundidad de la bibliografía, mapear y resumir las pruebas disponibles, orientar

la investigación futura y reconocer o abordar áreas de lagunas de conocimiento (Peters, Godfrey, et al., 2020).

Se realizó una revisión de alcance de acuerdo con las recomendaciones sugeridas de la extensión PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) ampliación de las revisiones del alcance y actualización de las directrices metodológicas (Peters, Marnie, et al., 2020; PRISMA, 2021). Las revisiones del alcance comienzan estableciendo un protocolo predeterminado que describe la metodología prevista para cada etapa (Sargeant & O'Connor, 2020). Para ello, elaboramos un protocolo específico (Navas-Martín, Ovalle-Perandones, et al., 2023) que se depositó antes de la extracción de datos en el repositorio Open Science Framework (Center for Open Science, n.d.). El protocolo describe la estrategia de búsqueda, el proceso de cribado, el proceso de registro de datos y el análisis de datos.

3.3.1. Criterios de elegibilidad

Según la nemotecnia Población, Concepto y Contexto (PCC) (Peters, Godfrey, et al., 2020), esta revisión exploratoria incluirá estudios que a) se refieran a todas las personas; b) consideren el concepto adaptación al calor; c) abarquen el contexto del impacto del calentamiento global sobre la salud y la mortalidad.

3.2.2. Estrategia de búsqueda y criterios de selección

La estrategia de búsqueda se elaboró conjuntamente con una especialista en búsquedas bibliográficas y el equipo de investigación. Se desarrolló una estrategia inicial utilizando las siguientes palabras controladas de Medical Subject Headings (MeSH): "Adaptation Physiological", "Acclimatization", "Heat Stress Disorders", "Hot Temperature", "Temperature", "Mortality" y "Climate Change" para MEDLINE. Luego esta estrategia de búsqueda se adaptó para su uso en otras bases de datos como, *Embase*, *Scopus* y *Web of Science Core Collection*. En el Anexo 1 se adjunta las diferentes estrategias de búsquedas realizadas en las bases de datos bibliográficas utilizadas. Se incluyeron manuscritos en lengua inglesa publicados después de 2003, año en que se produjo la ola de calor más letal de Europa hasta la fecha y se inició la planificación de medidas contra el calor. De este modo, se recogió las últimas investigaciones y reflexiones sobre la temática hasta mayo de 2023. El estudio abarcó investigaciones ecológicas de todas las regiones geográficas.

3.3.2. Cribado

Tras realizar la búsqueda utilizando la estrategia designada, se recopilaron los resultados y se eliminaron los registros duplicados utilizando el programa de gestión bibliográfica Jabref (Kopp, n.d.). Se realizó un proceso de cribado utilizando el método liberal acelerado (Khangura et al., 2012), en el que un revisor examinó todos los documentos identificados para su inclusión, y otro revisor revisó de forma independiente los documentos que fueron excluidos por el primer revisor. El proceso de cribado inicial consistió en la revisión de los títulos y resúmenes de todos los registros encontrados. Después, se evaluaron el texto completo de los documentos restantes y fueron cribados en función de los criterios de elegibilidad.

3.3.3 Proceso de elaboración de gráficos de datos

Se recogió la información de cada artículo a través de un formulario de extracción de datos en Microsoft Excel. Un miembro del equipo de investigación extrajo los datos, que fueron verificados por un segundo miembro del equipo. La información que fue extraída incluyó el nombre de los títulos, los autores, el país de afiliación de la institución del autor correspondencia (en caso de existir varios autores de correspondencia, se eligió el que fuera primer autor), el año, el objetivo del estudio y las palabras clave.

3.3.4 Análisis de datos

Se realizaron análisis cuantitativos y cualitativos de los resultados de la revisión del alcance. El análisis cuantitativo se centró principalmente en los autores, los años de publicación, los países de afiliación de las instituciones de los autores de correspondencia, el objetivo y las palabras clave. Se generó una nube de palabras para el análisis de frecuencias de las palabras clave utilizando la herramienta en línea *NubeDePalabras*. El análisis cualitativo, por su parte, consistió en categorizar los objetivos de los estudios para agruparlos por categorías mediante el análisis de contenido (Bardin, 2002). Para la representación visual de los países de las instituciones en los que los investigadores desarrollan sus estudios se utilizó la herramienta en línea *MapChart*. Por último, se realizó un análisis de redes sociales a través de la información bibliográfica que permite identificar las redes de colaboraciones con otros autores. Para ello, se utilizó *VOSviewer* con la versión 1.6.19, que es una aplicación para construir y visualizar redes bibliométricas. Para el análisis de las referencias bibliográficas se normalizó manualmente todos los

nombres de los autores para su unificación y evitar autores duplicados por aparecer nombrados de diferentes formas en las publicaciones.

3.4. Resultados

Se seleccionaron un total de 23 estudios para esta revisión (Tabla 3), de un conjunto inicial de 98 estudios que cumplían los criterios de elegibilidad. De los 74 estudios excluidos, 50 no trataban sobre adaptación, 13 se centraban en proyecciones a futuro que no permitían conocer si una población se había adaptado al calor o no, y 11 no había una relación directa entre temperatura y mortalidad (Figura 5).

Tabla 3. Resumen de estudios revisados sobre adaptación de la población al calor a través de la relación entre temperatura y mortalidad.

| Referencia | País | Objetivos | Keywords | Categoría |
|-------------------------|----------|---|---|---------------------|
| Kinney et al. (2008) | EEUU | | adaptation, climate change, heat waves, mortality, temperature, weather | Metodológica |
| Bobb et al. (2014) | EEUU | Investigaron la hipótesis de que si se produce una adaptación, la mortalidad relacionada con el calor disminuiría con el tiempo | | Ejes de desigualdad |
| Boeckmann & Rohn (2014) | Alemania | En este estudio, los investigadores están particularmente interesados en la adaptación intencional y planificada | heat, climate change, effectiveness, systematic review, cardiovascular disease, | Revisión |

| | | | | |
|--------------------------|-------------|---|--|--------------|
| | | | respiratory disease | |
| Todd & Valleron (2015) | Francia | Su objetivo era dividir el espacio con una cuadrícula de alta resolución para evaluar la relación temperatura-mortalidad en un territorio con una amplia diversidad climática durante un período de notable calentamiento climático | | Metodológica |
| Arbuthnott et al. (2016) | Reino Unido | El objetivo de este artículo es revisar estudios que han examinado específicamente las variaciones en los riesgos de mortalidad relacionados con la temperatura durante los siglos XX y XXI y determinar si se ha producido una adaptación de la población al calor y/o al frío | climate change, adaptation, temperature, heat, cold, heatwave, mortality, health | Revisión |
| Astrom & Tornevi (2016) | Suecia | Utilizaron observaciones de las temperaturas medias diarias para investigar si la temperatura mínima de mortalidad (TMM) cambió en Estocolmo, Suecia, desde principios del siglo XX hasta 2009 | | Metodológica |
| Petkova et al. (2017) | EEUU | El presente estudio derivó proyecciones de mortalidad relacionada con la temperatura en la ciudad de Nueva York, considerando patrones futuros de adaptación o cambio | | Metodológica |

| | | | | |
|------------------------------|---------------|--|---|--------------------------|
| | | demográfico, los cuales pueden tener profundas influencias en las cargas de salud futuras | | |
| Chung et al. (2018) | Corea del Sur | El objetivo del estudio fue investigar la susceptibilidad cambiante de la población a temperaturas no óptimas en 47 prefecturas de Japón durante un lapso de cuatro décadas, específicamente de 1972 a 2012. Nuestro objetivo fue abordar tres aspectos: la temperatura mínima de mortalidad (MMT) y los riesgos de mortalidad relacionada con el calor y el frío. Además, nuestro objetivo era examinar las asociaciones entre estos aspectos de susceptibilidad y variables climáticas, demográficas y socioeconómicas | | Ejes de desigualdad |
| Vicedo-Cabrera et al. (2018) | Reino Unido | Este estudio tiene como objetivo abordar la cuestión de los posibles mecanismos de adaptación a temperaturas ambiente no óptimas proporcionando una evaluación integral. La evaluación cubrirá las últimas décadas y diferentes lugares caracterizados por climas diversos | climate change, heat, cold, adaptation, mortality | Múltiples localizaciones |
| Díaz et al (2018) | España | El objetivo de este estudio es analizar si se ha producido un cambio temporal en las temperaturas máximas | heat waves, daily mortality, time trend, | Ejes de desigualdad |

| | | | | |
|------------------------|--------------|--|--|---------------------|
| | | diarias que constituyen una ola de calor (umbral) en España durante el periodo 1983-2013. Además, el estudio pretende investigar si ha habido variación en el riesgo atribuible (RA) asociado a la mortalidad por altas temperaturas durante este período. | impact assessment, prevention plans | |
| Acheback et al. (2019) | España | El objetivo de este estudio fue evaluar las tendencias de la mortalidad por enfermedades cardiovasculares relacionadas con la temperatura en España, considerando tanto el sexo como la edad. Además, el estudio investigó la asociación entre el calentamiento climático y los cambios en el riesgo de mortalidad | | Ejes de desigualdad |
| Thai et al. (2019) | Australia | Este estudio tuvo como objetivo abordar el desafío empleando un enfoque indirecto para evaluar el impacto de la temperatura interior elevada sobre la mortalidad en diferentes zonas climáticas. El objetivo era investigar si los humanos se adaptan o aclimatan a diferentes rangos de temperaturas interiores | minimum mortality temperature, indoor temperature, human health, adaptive thermal approach, adaptability | Metodológica |
| Folkerts et al. (2020) | Países Bajos | El objetivo del presente estudio era doble: investigaron los cambios en la temperatura mínima de mortalidad (TMM) | mortality, temperature, climate change, | Metodológica |

| | | | | |
|---------------------------|--------|--|--|---------------------|
| | | en los Países Bajos durante un período de 23 años, de 1995 a 2017, centrándose específicamente en los adultos mayores (≥ 65 años). Además, compararon los tres modelos mencionados anteriormente (SEG, CSDL y DLNM) | human adaptation, older adults, minimum mortality temperature | |
| Follos et al. (2020) | España | El objetivo de este estudio es determinar la evolución temporal de la temperatura mínima de mortalidad (TMM) en dos provincias españolas (Sevilla y Madrid), durante el periodo 1983-2018. Además, el estudio pretende evaluar si la tasa de adaptación al calor es la adecuada | minimum mortality temperature, adaptation, daily mortality, prevention plans | Ejes de desigualdad |
| Follos et al. (2021) | España | El objetivo de este estudio era doble. En primer lugar, se pretendió analizar la evolución temporal (tendencia temporal) de la temperatura mínima de mortalidad (TMM) registrada en las 52 provincias de España durante el periodo 1983-2018. En segundo lugar, el estudio pretendía investigar si hubo un aumento del MMT suficiente para compensar el aumento de las temperaturas ambientales detectado en España durante el mismo periodo | minimum mortality temperature, adaptation, temporal trend, mortality, heat | Metodológica |
| López-Bueno et al. (2021) | España | El objetivo de este estudio fue analizar la evolución temporal de las temperaturas umbral | temperature threshold, minimum | Metodológica |

| | | | | |
|------------------------------------|--------|--|--|-----------------------------|
| | | (Tumbral) en diferentes regiones españolas durante el periodo 1983-2018. Además, el estudio tuvo como objetivo comparar esta evolución con la evolución de la temperatura media mensual (TMM) | mortality temperatur e, adaptation, mortality attributable | |
| Tobías et al. (2021) | España | Los investigadores se propusieron estimar las temperaturas medias mensuales (MMT) utilizando datos de cientos de comunidades en varios países bajo diferentes climas. Además, buscaron estudiar los determinantes geográficos, climáticos y socioeconómicos del MMT | minimum mortality temperatur e; climate; adaptation; time-series; distributed lag nonlinear models; multi-city; multi- country | Múltiples localizaciones |
| Navas- Martín et al. (2022a) | España | El objetivo de este estudio fue aportar conocimiento relacionado con los factores sociales, climáticos y económicos que se asocian a la evolución de las temperaturas mínimas de mortalidad (TMM) en España, considerando tanto el contexto rural como el urbano, durante el periodo 1983-2018 | adaptation, minimum mortality temperatur e, urban, rural, prevention plans, local factors | Ejes de desigualdad |
| Navas- Martín et al. (2022b) | España | El objetivo de este estudio fue analizar los valores de las temperaturas mínimas de mortalidad (TMM) en hombres y mujeres y examinar su evolución temporal durante el | adaptation, vulnerabilit y, minimum mortality temperatur | Ejes de desigualdad |

| | | | | |
|-----------------------------|-------------|---|---|---------------------|
| | | periodo 1983-2018 en las provincias de España | e, gender, sex | |
| Roca-Barcelo et al. (2022) | Reino Unido | | urban health, health inequalities, climate change, temperature, mortality | Ejes de desigualdad |
| Navas-Martín et al. (2023a) | España | El objetivo de este estudio era doble. En primer lugar, conocer la adaptación al calor de las personas de 65 años y más durante el periodo 1983-2018 mediante el análisis de la temperatura mínima de mortalidad (TMM). En segundo lugar, examinar la tendencia de adaptación al calor a lo largo del tiempo en relación con la población total | adaptation; MMT; age; prevention plan; mortality; health | Ejes de desigualdad |
| Navas-Martín et al. (2023b) | España | El objetivo de este estudio es conocer las diferencias en vulnerabilidad y proceso de adaptación al calor entre la población española de 65 y más años, en concreto a través del análisis de la temperatura mínima de mortalidad (TMM), mediante clasificación territorial | adaptation; MMT; age; elderly; rural; nonurban; urban; mortality; health | Ejes de desigualdad |
| Ordanovich et al. (2023) | España | Este estudio tiene como objetivo explorar las variaciones temporales de la temperatura mínima de | adaptation, temperature, climate change, | Ejes de desigualdad |

| | | | | |
|--|--|--|---|--|
| | | mortalidad y la carga de mortalidad tanto por calor como por frío entre los años 1979 y 2018 | time-series regression, distributed lag non-linear models | |
|--|--|--|---|--|

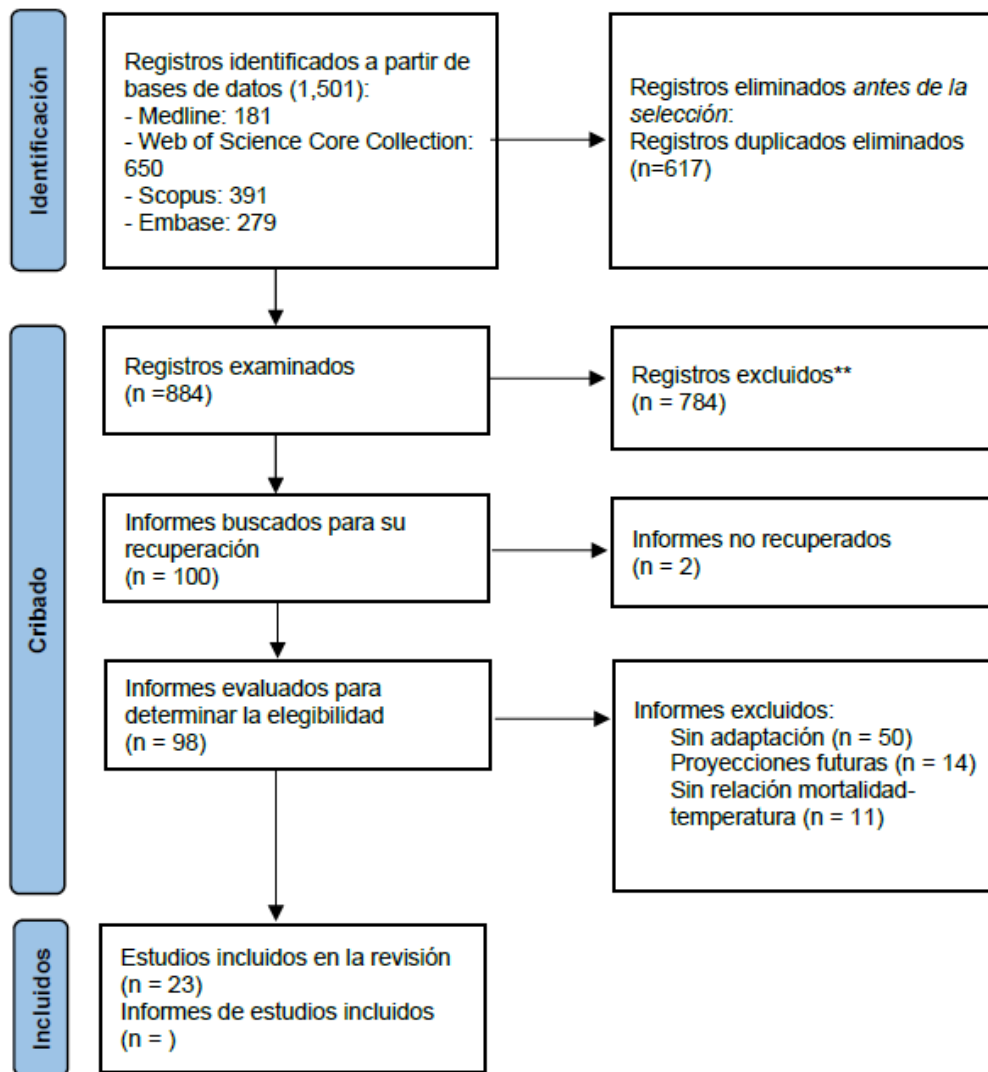


Figura 5. Diagrama de flujo de selección de estudios para el proceso de revisión del alcance.

De los seleccionados, once se abordan desde el enfoque de los ejes de desigualdad, que son los factores que contribuyen a la desigualdad en una sociedad. Estos ejes se identificaron como territorio (Díaz, Carmona, et al., 2018b; Navas-Martín, López-

Bueno, Díaz, et al., 2022) , edad (Navas-Martín et al., 2023), género (Follos et al., 2020; Navas-Martín et al., 2022), O la combinación entre distintos ejes como son género y edad (Achebak et al., 2019), y edad y territorio (Bobb et al., 2014; Chung et al., 2018; Navas-Martín, et al., 2023). Además, se encontró un estudio que abordó con más de dos ejes, tales como la edad, el territorio y el género (Ordanovich et al., 2023) o la etnia, la edad y el género (Roca-Barceló et al., 2022). Ocho estudios se consideraron estudios metodológicos (Åström et al., 2016; Follos et al., 2021; Kinney et al., 2008; López-Bueno, Díaz, et al., 2021; Petkova et al., 2017; Thai et al., 2019; Todd & Valleron, 2015). Uno de los estudios se llevó a cabo en múltiples ciudades (Tobías et al., 2021), uno en varios países (Vicedo-Cabrera et al., 2018). Dos estudios fueron revisiones de la literatura relacionadas con la adaptación al calor (Arbutnott et al., 2016; Boeckmann & Rohn, 2014b).

En relación con los estudios categorizados como ejes de desigualdad, según Díaz et al. (2018), observaron una disminución de la mortalidad atribuible al calor en la población española en los últimos años, aunque encontraron diferencias entre territorios. Además, Navas-Martín et al. (2022a) identificaron diferencias en la adaptación al calor entre poblaciones urbanas y no urbanas al evaluar los niveles de adaptación. Por otro lado, Bobb et al. (2014) hallaron que la población estadounidense ha desarrollado mayor resistencia al calor con el tiempo, lo que se ha reflejado en una disminución del riesgo de mortalidad. Sin embargo, observaron diferencias entre ciudades y grupos de edad, especialmente en la población anciana. Navas-Martín et al. (2023a, 2023b) y Ordanovich et al. (2023), también encontraron diferencias en la adaptación al calor según los territorios y el género, respectivamente.

Desde la perspectiva de género, Acheback et al. (2019) encontraron que tanto hombres como mujeres mostraron adaptación durante el periodo de estudio en España. Por otro lado, Follos et al. (2020) y Navas-Martín et al. (2022b) encontraron diferencias en la adaptación de la población española, destacando que, aunque las mujeres son más susceptibles al calor, mostraron una mayor capacidad de adaptación con respecto a los hombres. En el estudio realizado por Chung et al. (2018) observaron una disminución en el riesgo relativo de mortalidad relacionada con el calor en Japón. Además, encontraron diferencias significativas en función de la región y el género. En los resultados hallados indicaron que el cambio en la

susceptibilidad estuvo asociado a factores climáticos, demográficos y socioeconómicos.

Finalmente, en el estudio realizado por Roca-Barcelo et al. (2022) para evaluar la adaptación de la población de São Paulo, analizaron las fluctuaciones en la TMM y el Riesgo Relativo Acumulado encontrando diferencias según el género, edad y etnia. Con respecto a las diferencias por raza, los hombres no blancos presentaron mayores dificultades para adaptarse al calor, mientras que las mujeres blancas mostraron una mayor capacidad de adaptación.

Con respecto a los estudios revisados que abordan aspectos metodológicos, Kinnet et al. (2008) señalan la existencia de diversas formas de relacionar la temperatura con la mortalidad, pero con diferentes limitaciones. Aunque se utiliza comúnmente la Temperatura Mínima Mortalidad (TMM), existen distintas formas de obtenerla. Follos et al. (2021) sugieren el uso de ajustes cuadráticos o cúbicos para encontrar la mejor relación entre temperatura y mortalidad a través de la TMM. Además, proponen evaluar la adaptación al calor de una población comparando la tasa de aumento de la TMM con la Temperatura Máxima Diaria (TMAX). López-Bueno et al. (2021) indican que también se puede utilizar la Temperatura Umbral (Tumbral), si bien su evolución temporal tiene una importante variación geográfica.

Todd & Valleron (2015) señalan que las áreas urbanas grandes no son homogéneas y pueden tener variaciones importantes, como en el caso en su estudio en París, donde se observan diferencias significativas entre la ciudad y sus suburbios. Thai et al. (2019) proponen relacionar las altas temperaturas interiores con la mortalidad, y destacan que la asociación entre la exposición a la temperatura interior y la mortalidad también depende de la ubicación geográfica. Folkerts et al. (2020) emplearon tres métodos distintos para determinar la TMM y la sensibilidad al calor atribuible al calor. Los resultados indicaron que la susceptibilidad al calor disminuyó en la población anciana de Países Bajos, independientemente del método utilizado. Astrom & Tornevi (2016) propusieron utilizar series de tiempo extensas para examinar las tendencias demográficas. Para ello, analizaron datos de la población de Estocolmo durante más de un siglo y sugirieron que la población se adaptó por el aumento de las TMM. Por último, Petkova et al. (2017) sugieren que la evaluación de la adaptación al calor puede realizarse mediante la observación de los cambios en los riesgos relativos de mortalidad relacionados con el calor a lo largo del tiempo.

Con relación a la categoría de múltiples localizaciones, se caracterizan por ser estudios comparativos en diferentes lugares, ya sea de ciudades o países diferentes. Tobías et al. (2021) llevaron a cabo un estudio en 43 países diferentes en el que sugieren que las poblaciones mostraron adaptación a temperaturas elevadas, especialmente en áreas con mayores variaciones de temperatura y cambios estacionales. Vicedo-Cabrera et al. (2018) llevaron a cabo un estudio en 10 países diferentes para estimar las tendencias en las fracciones de mortalidad atribuible, las cuales disminuyeron en la mayoría de los países. Los autores sugieren una reducción en la mortalidad relacionada con el calor en las décadas más recientes.

Por último, se encontraron dos revisiones de la literatura. Boeckmann & Rohn (2014) llevaron a cabo una revisión sistemática sobre las medidas efectivas para reducir la mortalidad por calor. Encontraron un total de 30 artículos, pero no hallaron evidencia concluyente acerca de qué medidas son efectivas para la adaptación al calor. Por otro lado, Arbuthnott et al. (2016) llevaron a cabo una investigación para explorar la relación entre la temperatura, los resultados de salud y los cambios en la vulnerabilidad o adaptación. Encontraron únicamente 11 estudios que cuantificaron el riesgo absoluto de mortalidad relacionada con el calor a lo largo del tiempo, así como 6 estudios que compararon los efectos de las olas de calor en la mortalidad. Sus hallazgos indican una disminución en la susceptibilidad al calor y a las olas de calor en la población.

En relación con el análisis del lugar de origen de las instituciones de los autores de correspondencia, los continentes representados fueron América del Norte (Estados Unidos), Asia (Corea del Sur), Europa (España, Francia, Países Bajos, Reino Unido y Suecia) y Oceanía (Australia) (Figura 6).

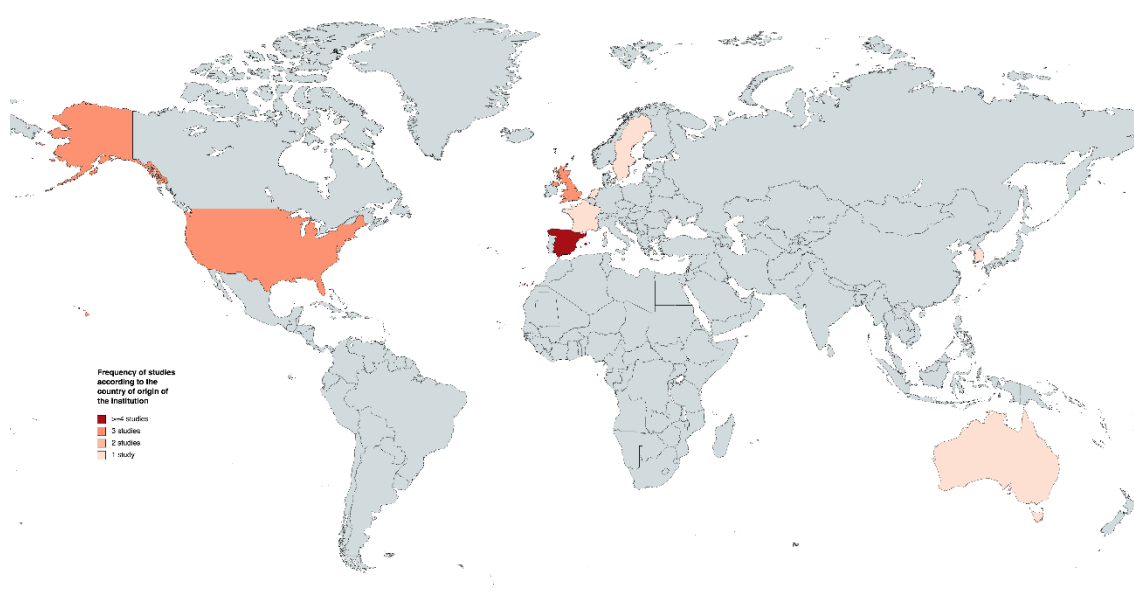


Figura 6. Ubicación geográfica de las instituciones por país y frecuencia de los estudios realizados.

Con respecto al análisis de las palabras clave, se analizaron un total de 53 palabras clave con 101 repeticiones. Los términos que mostraron una mayor frecuencia fueron los siguientes: "adaptation" (12 veces), "climate change" (7 veces), "minimum mortality temperature" (8 veces), "mortality" (6 veces), "temperature" (4 veces), "health" (3 veces), "heat" (3 veces) y "prevention plans" (3 veces). Por otro lado, los términos "age", "cold", "heat waves", "MMT", "rural" y "urban" solo aparecieron dos veces. Mientras que la mayoría de las palabras claves analizadas (74,1%) aparecieron una única vez (Figura 7).



Figura 7. Nube de palabras clave de publicaciones seleccionadas de la revisión del alcance.

En el análisis del mapa de red de investigadores identificado en la revisión de alcance (Figura 8), se observa la presencia de 12 grupos o clústeres, de los cuales 7 están aislados y 5 están interconectados. Destaca un clúster en particular (representado en color rojo), el cual es el componente principal y el más grande de todos. Este clúster se compone a su vez por 4 clústeres adicionales, aunque los vínculos del clúster central son débiles ya que dependen de un único nodo (el investigador Roosli). Según la teoría de Granovetter sobre la fuerza de los vínculos débiles (Granovetter, 1973), si este investigador desapareciera, el componente se dividiría y la red quedaría más inconexa.

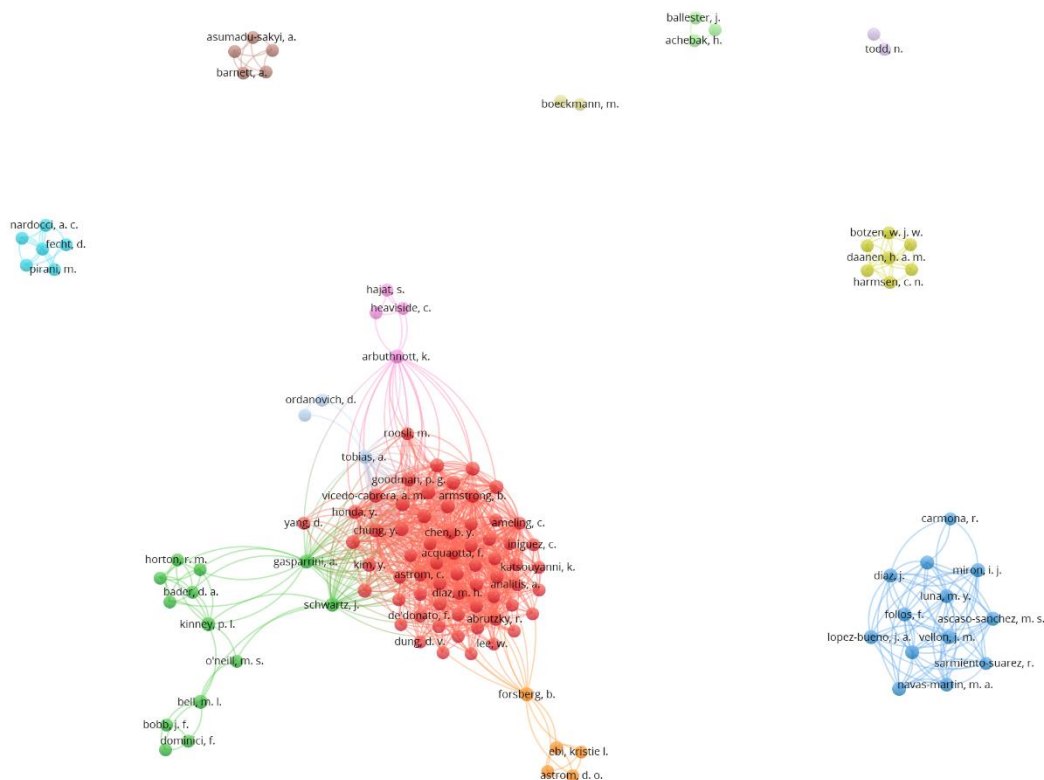


Figura 8. Visualización de la red de investigadores agrupados por clústeres.

Por último, como resumen de las pruebas sobre los principales resultados de las publicaciones revisadas sobre el proceso de adaptación humana al calor, en general, se puede afirmar que la población está experimentando un proceso de adaptación al calor. Sin embargo, es importante señalar que la disponibilidad de estudios sobre este tema es limitada y se han identificado diferencias tanto en los enfoques metodológicos como en las poblaciones analizadas. Por un lado, se han encontrado

pocas revisiones en este ámbito. En la revisión sistemática realizada por Boeckmann y Rohn (2014), más del 56,6% de los estudios revisados informaron de una disminución de los efectos negativos relacionados con condiciones de calor extremo. Sin embargo, los estudios revisados no proporcionaron pruebas definitivas sobre la eficacia de las medidas de adaptación, ya que es difícil cuantificar los efectos de la adaptación en la salud.

Por el contrario, la revisión de Arbuthnott et al. (2016) identificó mayoritariamente (91%) una disminución de la vulnerabilidad de la población al calor a lo largo del tiempo.

Por otro lado, los pocos estudios obtenidos en ambas revisiones pueden atribuirse, en parte, a la complejidad de obtener mediciones precisas de la TMM. Además, es importante tener en cuenta que la relación entre temperatura y mortalidad puede variar entre diferentes ciudades o comunidades, lo que sugiere la utilidad de utilizar series temporales que abarquen largos periodos de tiempo, como proponen Kinney et al. (2008).

En cuanto a los resultados, en Estados Unidos, durante el periodo de 1987 a 2005, la mayoría de las ciudades analizadas (70%) demostraron haberse adaptado al calor. Aunque la población se ha vuelto cada vez más resistente al calor, esto no excluye la persistencia de riesgos relacionados con el calor, como señalan Bobb et al. (2014). En el contexto de la ciudad de Nueva York, un estudio que abarca desde el siglo XIX hasta el XX reveló una adaptación limitada al calor durante la primera mitad del siglo XX. Sin embargo, se observó un cambio en esta tendencia en las últimas cuatro décadas, lo que indica un aumento de la adaptación, especialmente a partir del año 2000. Estos hallazgos sugieren que el principal factor que impulsó este cambio fue el uso generalizado del aire acondicionado doméstico, como señalaron Petkova et al. (2017).

En Francia, un estudio realizado en una población anciana durante el periodo comprendido entre 1968 y 2009 mostró indicios de adaptación al calor en sus resultados, según Todd & Valleron (2015). En Suecia, un análisis realizado en la población de Estocolmo durante el periodo comprendido entre 1901 y 2009 sugiere que el aumento gradual de la TMM a lo largo del tiempo podría indicar adaptación al calor, según indican Astrom & Tornevi (2016). Por otro lado, en Japón, un estudio que abarcó las 47 prefecturas durante el periodo de 1972 a 2012 encontró una

disminución de la susceptibilidad de la población al calor con el tiempo, como mencionan Chung et al. (2018). En los Países Bajos, un estudio realizado en una población de edad avanzada durante el período comprendido entre 1995 y 2017 sugiere la presencia de adaptación, indicada por una disminución de la susceptibilidad humana al calor Folkerts et al. (2020). En Brasil, un estudio realizado en la ciudad de São Paulo durante el período 2000 a 2018 sugiere que las mujeres blancas se adaptaron más que las mujeres de otras razas, mientras que los hombres no blancos mostraron una adaptación menos favorable Roca-Barcelo et al. (2022).

Un análisis realizado en 10 países durante el período 1985-2012 indicó que la mayoría de estos países (70%) experimentaron adaptación, evidenciada por disminuciones en los impactos de la mortalidad relacionada con el calor, según lo informado por Vicedo-Cabrera et al. (2018). Además, un estudio que abarca 43 países durante el período 1984 a 2016 sugiere que las poblaciones han mostrado adaptación, como indican Tobias et al. (2021). En un enfoque más específico, un estudio que tuvo lugar en 8 ciudades y se centró en la relación entre las temperaturas interiores y exteriores y la mortalidad reveló que las poblaciones pueden estar en proceso de adaptación a temperaturas interiores más altas, tal y como evidencian Thai et al. (2019).

En el contexto de España, varios estudios han abordado la adaptación humana a distintas escalas y periodos de tiempo. Entre los estudios realizados entre 1983 y 2018 destacan las investigaciones llevadas a cabo en diferentes números de provincias, como dos provincias concretas (Madrid y Sevilla) analizadas por Follos et al. (2020), 10 provincias estudiadas por López-Bueno et al. (2021), y un análisis a nivel de 50 provincias realizado por Follos et al. (2021) que mostraron todas ellas adaptación en general. Asimismo, en el mismo periodo, en relación con la población urbana y no urbana, un estudio de Navas-Martín et al. (2022a) sugiere que la población urbana ha experimentado una mayor adaptación, mientras que Navas-Martín et al. (2022b) sugieren que las mujeres han mostrado una mayor adaptación que los hombres. En el contexto de la población anciana, se encontró que la mayoría (62%) se había adaptado al calor, según Navas-Martín et al. (2023a), mientras que otras investigaciones centradas en la población anciana de provincias urbanas y no urbanas durante el mismo periodo sugieren una adaptación en las provincias no urbanas (Navas-Martín et al., 2023b). Durante otro periodo de estudio, comprendido

entre 1983 y 2013, la investigación realizada por Díaz et al. (2018) también indica adaptación en 10 provincias, manifestada por una disminución de la mortalidad atribuible al calor. Por último, durante la evolución temporal de 1980 a 2016, Acheback et al. (2019) encontraron una adaptación sustancial al calor en 49 provincias. Además, un estudio en el rango de 1979 a 2018, realizado por Ordanovich et al. (2023), también sugiere que la población ha experimentado cierto grado de adaptación, aunque no de manera uniforme.

3.5. Discusión

De acuerdo con los hallazgos de la revisión de alcance, se identificaron escasos estudios (n=23) que aborden la cuestión de la adaptación al calor de la población humana desde la perspectiva del calentamiento global y su repercusión en la salud, específicamente en relación con la mortalidad y la temperatura. Dado el escaso conocimiento sobre la adaptación a largo plazo a las altas temperaturas (Folkerts et al., 2020a), existe un claro vacío en la investigación de este tema crucial. Además, los resultados de la limitada evidencia coinciden con otras dos revisiones de la literatura de enfoques parecidos realizadas en 2014, que incluyeron 30 estudios seleccionados (Boeckmann & Rohn, 2014b), y en 2016, que abarcó 17 estudios (Arbuthnott et al., 2016).

Asimismo, la mayoría de los estudios identificados se caracterizan por ser estudios ecológicos que utilizan distintos ejes de desigualdad como son el género, la etnia, la edad o el territorio para determinar la capacidad de adaptación de una determinada población. Estos ejes son los que determinan las posibilidades que una persona tiene para preservar su salud y adaptarse a los efectos del cambio climático y su impacto en salud. Asimismo, los resultados ponen en evidencia que no existe una metodología única para conocer el proceso de adaptación al calor al largo plazo de la población. Si bien, a pesar que dos estudios encontrados se realizaron en múltiples ciudades de diferentes países e inclusive entre diversos países, la mayoría de los estudios realizados se llevaron a una escala de análisis menor, lo que pone de manifiesto que las políticas de adaptación deben abordarse desde una perspectiva de escala local y no global (Füssel & Klein, 2006), teniendo en cuenta las características geográficas, climáticas y socioeconómicas de cada área en particular determinan la adaptación (Navas-Martín et al., 2023).

En cuanto a la procedencia de las instituciones en las que se realizaron los estudios, España encabeza el número de investigaciones sobre la adaptación al calor y su

impacto en la salud, seguida por el Reino Unido y Estados Unidos. Es notable la ausencia de investigaciones en África y América del Sur, lo cual destaca que, a pesar del impacto del calentamiento global en todos los países, son pocos los países que actualmente están investigando en esta área.

Con respecto al análisis de las palabras clave, se observa una amplia diversidad en los términos utilizados. Sin embargo, destacan la adaptación, las implicaciones del cambio climático en la salud y el indicador más habitual para medir la relación entre la temperatura y la mortalidad, como es la temperatura mínima de mortalidad (TMM).

En cuanto al mapa de la red de investigadores, se observa que existe un número significativo de grupos que no están conectados entre sí en comparación con los grupos que sí colaboran. Esto podría explicar, por un lado, las diferencias metodológicas encontradas en los estudios. Por otro lado, las características de los estudios requieren que se realicen a una escala menor, lo que hace que las colaboraciones para replicar estudios entre países o ciudades, podrían estar determinados por la dificultad que estos estudios sean comparables debido a que el proceso de adaptación está influenciado por las características climáticas, geográficas y socioeconómicas de cada zona en particular (Navas-Martín et al., 2023).

En general, se puede decir que algunas poblaciones han logrado adaptarse parcialmente al calor, pero muchas otras todavía enfrentan dificultades para hacerlo. Varios estudios han indicado que en algunos países tanto europeos como en otras partes del mundo se ha registrado una disminución de los efectos del calor, aunque esta reducción no es uniforme ni se da en todos los lugares (WHO Regional Office for Europe, 2021).

Por último, si bien, los estudios sobre el calor y la mortalidad han aumentado en las últimas dos décadas (Mayrhuber et al., 2018). Se desconoce en qué medida una determinada población se ha adaptado al calor de manera espontánea, es decir, sin intervención externa, o si ha logrado adaptarse a través de intervenciones directas o indirectas en los procesos adaptativos. Por lo tanto, es crucial comprender dos aspectos importantes. En primer lugar, determinar si el ritmo de evolución de la mortalidad relacionada con la temperatura a lo largo del tiempo es mayor o constante en comparación con el ritmo de aumento de la temperatura registrada, ya que esto puede ser un indicador de adaptación. En segundo lugar, es fundamental identificar

los factores que intervienen en el proceso de adaptación al calor a lo largo del tiempo, con el objetivo de minimizar los efectos del calentamiento global en la salud humana.

Las revisiones de alcance conllevan limitaciones inherentes, ya que su objetivo principal es proporcionar una visión general de amplio alcance en lugar de una exploración detallada de un tema específico ((Tricco et al., 2016). Es por ello por lo que algunos estudios relevantes pueden quedar excluidos (Pham et al., 2014).

Esta revisión exhaustiva tiene algunas limitaciones. En primer lugar, las búsquedas se limitaron al contenido en inglés publicado después de 2003. Esta limitación puede introducir sesgos lingüísticos y temporales que pueden excluir otros estudios publicados en otros idiomas y antes de la fecha indicada. Además, nuestra búsqueda se limitó a cuatro bases de datos: MEDLINE, Embase, Scopus y Web of Science (WOS), que pueden no cubrir toda la literatura relevante en otras bases de datos, además de quedar excluida la literatura gris. En segundo lugar, a pesar de utilizar un enfoque metódico, es concebible que no todos los estudios se incluyeran en esta revisión durante la fase de cribado. Además, dado que sólo se tuvieron en cuenta los artículos con los términos de búsqueda en el resumen o el título, es posible que se dejaran fuera aquellos que mencionaban el concepto de considerar la adaptación al calor dentro del contenido, pero no lo nombraban explícitamente en el título o el resumen. Por último, en cuanto a los distintos enfoques que podría abarcar este estudio, es importante destacar que la adaptación es un fenómeno complejo que podría manifestarse de distintas formas, como desplazando o cambiando la forma de la curva temperatura-mortalidad. En concreto, la adaptación podría evidenciarse como una curva menos pronunciada para temperaturas más cálidas, un enfoque que no se ha incluido en esta revisión.

3.6. Conclusiones

Si bien el cambio climático es la mayor amenaza para la salud a la que se enfrenta la humanidad, y entre las medidas para afrontar los efectos del cambio se encuentran las medidas de mitigación y adaptación. Con respecto a la capacidad de adaptación al calor de la población humana, se han llevado a cabo escasos estudios y son pocos los países que están investigando en esta área. Esta revisión de alcance pone de manifiesto una brecha en la investigación. Por lo tanto, es crucial que los responsables de la toma de decisiones respalden investigaciones que nos permitan comprender mejor la adaptación al calor a largo plazo y sus implicaciones en la salud de las personas.

Capítulo 4. Territorio

Effects of Local Factors on Adaptation to Heat in Spain (1983-2018)

Navas-Martín MÁ^{1,2}, López-Bueno JA¹, Díaz J¹, Follos F³, Vellón JM³, Mirón IJ⁴, Luna MY⁵, Sánchez-Martínez G⁶, Culqui D¹, Linares C¹.

¹National School of Public Health, Carlos III Institute of Health, Madrid, Spain

²Doctorate program in Biomedical Sciences and Public Health, National University of Distance Education, Madrid, Spain

³Tdot Soluciones Sostenibles, SL. Ferrol. A Coruña, Spain

⁴Regional Health Authority of Castile La Mancha, Toledo, Spain

⁵State Meteorological Agency, Madrid, Spain

⁶The UNEP DTU Partnership, Copenhagen, Denmark

| | |
|------------------------------|------------------------------|
| Revista: | Environmental Research |
| Factor de impacto (JCR): | 8.3 |
| Percentil de la publicación: | Decil 1 |
| Fecha de la publicación: | Junio 2022 |
| DOI: | 10.1016/j.envres.2022.112784 |
| PMID: | 35090871 |

4 Territorio

4.1 Introducción

En 2015, los Estados Miembros pertenecientes a las Naciones Unidas aprobaron 17 Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS). Entre los ODS, se encuentra el objetivo para adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos (Nº 13). El cambio climático es un problema global, pues está afectando a todos los países del mundo (United Nations, 2020). Entre las diferentes consecuencias que supone el cambio climático, se encuentran el aumento de la temperatura media y el incremento de las olas de calor (WHO Regional Office for Europe, 2021). La Unión Europea se encuentra inmersa en los desafíos climáticos y ambientales para el fortalecimiento de la resiliencia, reducción de la vulnerabilidad y mejora de la adaptación al cambio climático. Una de las consecuencias del cambio climático son los problemas de la salud de la población, siendo uno de los impactos directos los efectos de las olas de calor (European Commission (EC), 2020). Pero este impacto, no se presenta de la misma forma en todo el continente europeo, encontrándose diferencias entre las propias ciudades europeas. No es lo mismo el impacto del calor en ciudades del Norte de Europa, que suelen tener temperaturas más frías, en relación con el Sur, que presentan temperaturas más cálidas (Kazmierczak et al., 2020).

Si bien, esto no quiere decir que las consecuencias en zonas más cálidas sean más livianas con respecto a las zonas más frías. Así, por ejemplo, la región mediterránea, es una de las regiones más vulnerables de Europa a nivel climático, y, además, según las previsiones será una de las regiones más afectadas por el cambio climático (Linares et al 2020), junto a la parte oriental de la región europea (WHO Regional Office for Europe, 2021). Entre las diferentes consecuencias que sufrirá, destaca un mayor impacto en la salud de sus habitantes (Cramer et al., 2020).

Entre los países de la región mediterránea, se encuentra España. En este país, según la proyección estimada en el escenario climático de más emisiones RCP8.5 (Amblar Francés et al., 2017) , las variaciones anuales en el incremento de temperatura estarán comprendidas entre 4.2°C y 6.4°C. Esto supondrá veranos más acusados y olas de calor más largas, siendo sus efectos especialmente relevantes en el medio urbano y la salud humana (Sanz & Galán, 2021). Al igual que en Europa, en España los efectos serán dispares entre ciudades. Así, por ejemplo, con respecto al

incremento de las olas de calor, serán más acuciadas las consecuencias en las comunidades de Región de Murcia, Islas Baleares y Canarias, y en menor medida, en Galicia o la Rioja (Gobierno de España, 2020).

Estudios previos de mortalidad han demostrado que la temperatura y sus efectos difieren localmente (Choi et al., 2021; Hu, Guo, Hochrainer-Stigler, et al., 2019; Hu, Guo, Yang, et al., 2019; López-Bueno et al., 2019b; López-Bueno, Navas-Martín, Díaz, et al., 2021b; C. Wang et al., 2018).

Las diferencias de mortalidad por los efectos del calor entre diferentes regiones pueden estar determinadas tanto por las condiciones climatológicas, como por las características individuales -destacan la edad y el nivel socioeconómico de las personas en función de sus ingresos, educación y empleo-, los factores de adaptación, mejoras de infraestructuras y los servicios (de' Donato et al., 2015; Gasparrini et al., 2015; Son et al., 2014).

Las personas mayores son más vulnerables ante la respuesta al calor que las más jóvenes (Díaz, Carmona, Mirón, Ortiz, & Linares, 2015a). Asimismo, el nivel de estudio está relacionado a su vez con el nivel de ingresos, pues las personas con mayor nivel de estudios tienen ingresos más altos que las personas que no completaron sus estudios (Muller, 2002). Esto determina las condiciones de vida, tanto al acceso a servicios médicos o al acceso a equipos de climatización (J. Yang et al., 2021a).

La implementación de medidas de adaptación se relaciona con la reducción de casos de mortalidad (Sánchez Martínez et al., 2019). Campañas informativas a través de medios de comunicación, medios impresos o medios digitales informan sobre los riesgos asociados con el calor (de' Donato et al., 2018).

La adaptación a las altas temperaturas es clave para reducir los efectos adversos del calor sobre la salud de los residentes, y la Temperatura Mínima Mortalidad (TMM) es un indicador válido para medir las tendencias adaptativas de una población o territorio (Folkerts et al., 2020; Follos et al., 2020, 2021; López-Bueno et al., 2021; Yin et al., 2019). Cuando la TMM aumenta más rápidamente que las temperaturas máximas diarias medias de exposición, indica un proceso adaptativo de la población, gracias a la combinación de aclimatación y adaptación de factores individuales, tanto físicos como socioeconómicos. Sin embargo, en la práctica, nuestra comprensión de la

influencia de estos factores en la adaptación de la población al calor es limitada. Por lo tanto, es necesario el conocimiento de los factores que influyen en la adaptación (Bakhsh et al., 2018) que pueden informar el desarrollo de políticas en los gobiernos locales para proteger a la población de las consecuencias del cambio climático, específicamente los efectos relacionados con el calor (Sánchez Martínez et al., 2011).

El objetivo de este estudio fue aportar conocimiento relacionado con qué factores sociales, climáticos y económicos por contexto rural o urbano están relacionados con la evolución de las temperaturas mínimas de mortalidad (TMM) en España durante el periodo de tiempo 1983-2018.

4.2. Material y método

4.2.1 Área de estudio

España está situada en el suroeste de Europa. Es el segundo país más grande de la Unión Europea (505,944 Km²) y el sexto en población (47,322,614 habitantes). Posee una gran variabilidad climática debido a las características de su orografía y su situación geográfica, contando con 3 tipos y 11 subtipos de regionalización climática (Eurostat, 2021a, 2021b; Moreno Rodríguez et al., 2005). A nivel administrativo se divide en 50 provincias, todas ellas incluidas en el estudio.

El territorio español fue clasificado a nivel geográfico (NUTS 3) según (Regulation (EC) No 1059/2003 on the Establishment of a Common Classification of Territorial Units for Statistics (NUTS), 2003), que, en el caso de España, se corresponde a la división administrativa de provincias. Para el nivel NUTS 3 se establecieron varias tipologías, siendo una de ellas la tipología urbana-rural que se corresponden a regiones predominantes urbanas, regiones intermedias y regiones predominantes rurales, también regulada por el reglamento europeo 1059/2003.

4.2.2 Variables de estudio

El comportamiento de la población con respecto a los riesgos de las temperaturas extremas difiere en función de la tipología rural-urbana (Gutierrez & LePrevost, 2016). Por ello, al igual que trabajos previos se ha utilizado la diferenciación de la tipología en este estudio (López-Bueno, Navas-Martín, Díaz, et al., 2021b; López-Bueno, Navas-Martín, Linares, et al., 2021).

Para la clasificación urbana-rural, se utilizó el criterio establecido por (Eurostat, 2015) en función del porcentaje de población rural de la población total, siendo 20%

para las regiones predominantes urbanas, entre 20% y 50% para las regiones intermedias y 50% o más para regiones predominante rurales. Para el estudio se agrupó las provincias en dos categorías: urbanas que se corresponden a las regiones predominantes urbanas y no urbanas que se corresponden a las regiones intermedias y predominantes rurales (figura 9).

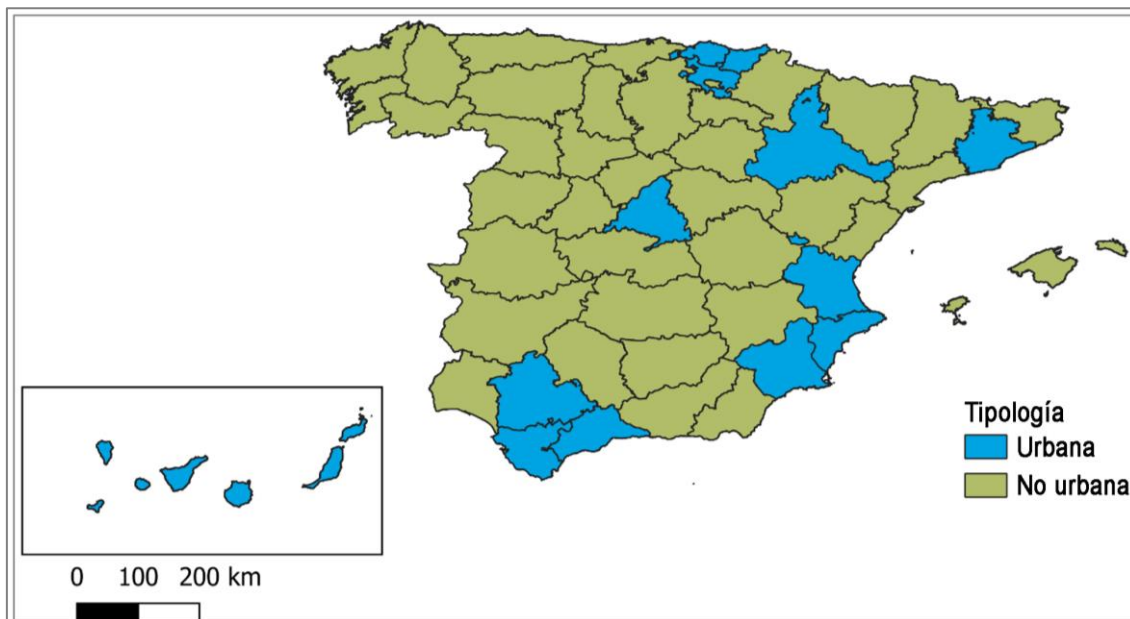


Figura 9. Mapa de provincias urbanas y no urbanas de España, 2015.

Para la selección de variables para el análisis se utilizaron variables de referencias de otros estudios de contexto de mortalidad (Follos et al., 2020), climática, demográfica, socioeconómica y de servicios e infraestructuras (Barreca et al., 2016; Chung et al., 2018; López-Bueno, Navas-Martín, Linares, et al., 2021). Las variables utilizadas se clasificaron en tres categorías: dependiente, explicativas y de control (tabla 4).

Tabla 4. Relación de las Variables por Categoría y Tipo.

| Tipo | Categoría | Variables |
|---------------|-------------|--|
| Dependiente | Mortalidad | Variación de la temperatura mínima de mortalidad por grados y décadas (MMT_VAR) |
| | Demográfica | Proporción de mayores de 65 años (POP_65) y promedio de habitantes (POPULATION). |
| Explicatorias | Económica | Ingresos per cápita (INCOME), privaciones de grupos privilegiados y desfavorecidos (ECONOMIC RESOURCES). |

| | | |
|---------|---------------|--|
| | Vivienda | Proporción de viviendas en buen estado (GOOD_HOUSE), proporción de viviendas construidas en los últimos 50 años (HOUSE_LESS_50), licencias de rehabilitación (REHABILITATION_LICENSES). |
| | Salud | Gasto sanitario por habitante (HEALTH_EXPENDITURE), proporción de profesionales sanitarios (HEALTH_PROFESSIONALS), proporción de ambulancias (AMBULANCES), ratio de centros de salud (HEALTH_FACILITIES) y centros de consulta (MEDICAL_FACILITIES) por habitante. |
| Control | Climatológica | Temperaturas umbral de ola de calor basadas en el percentil 95 (T_95). |

4.2.2.1. Variable dependiente

Se utilizó la TMM como variable dependiente principal, de acuerdo con la metodología y los resultados obtenidos previamente por Follos et al., 2020 (figura 10). La TMM es un indicador que permite relacionar la mortalidad con la temperatura, además de ser un indicador válido para evaluar la capacidad de adaptación al calor de una población (Folkerts et al., 2020; Follos et al., 2020, 2021; López-Bueno et al., 2021; Yin et al., 2019). La TMM se ha obtenido mediante un método determinista, utilizando la temperatura máxima diaria y la mortalidad diaria del periodo de estudio. Para cada año y provincia, la TMM se determina mediante un ajuste cuadrático o cúbico (regresión curvilínea). A partir de los valores anuales de TMM, se realiza un ajuste lineal para determinar la evolución temporal de la TMM. En el caso de que no se ajuste significativamente o con un polinomio de orden 2 ó 3, se descartan los TMM de ese año (Follos et al., 2020, 2021).

Estos datos se determinaron utilizando datos de mortalidad y temperaturas predichas retrospectivamente por el Instituto Nacional de Estadística (INE) y la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) en el periodo 1983-2018.

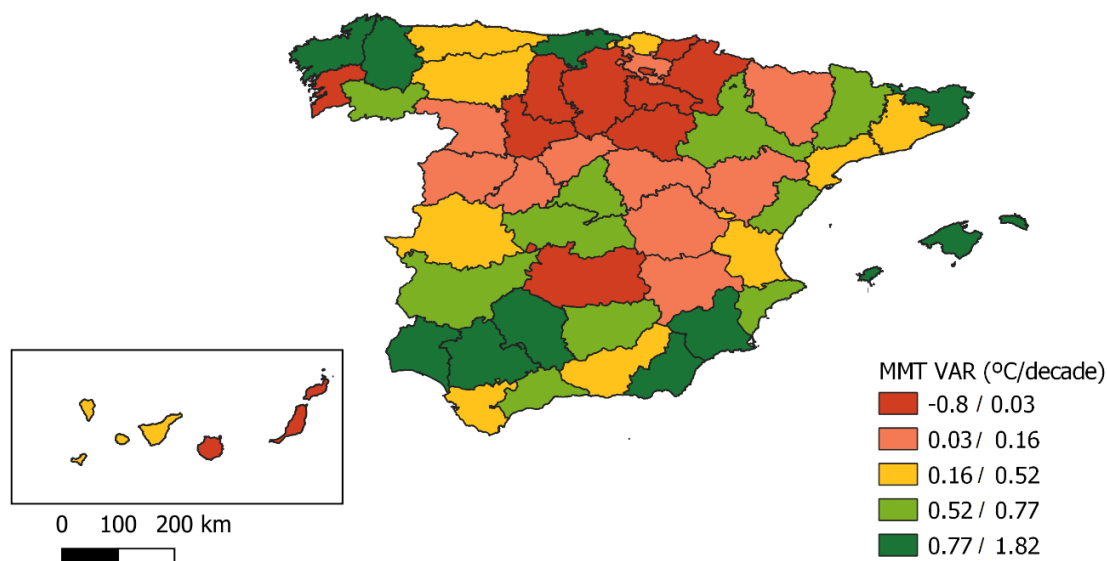


Figura 10. Variación de la temperatura mínima de mortalidad en España, 1983-2018.

4.2.2.2. Variables explicativas

Las variables explicativas se preseleccionaron en una fase previa y estaban compuestas por variables demográficas, económicas, de vivienda y sanitarias (tabla 4). Cada una de las variables se calculó por provincia (equivalente a NUTS 3), teniendo en cuenta el periodo de tiempo en el que cada una tuvo lugar durante el periodo global del estudio. A continuación, se describen las variables utilizadas.

Se calculó la media de la población mayor de 65 años y de la población total. Los datos de ambas variables se extrajeron de la serie principal de datos de población desde 1971 (Instituto Nacional de Estadística, n.d.-c) y se calcularon para cada provincia para los años 1983-2018, tomando como referencia el 1 de enero de cada año.

Se calculó la renta per cápita media para cada provincia de la serie 2000-2018. Los datos se extrajeron de los datos estadísticos de la contabilidad regional española (Instituto Nacional de Estadística, n.d.-b).

Se ha calculado la situación económica de la población, agrupada en población privilegiada y población desfavorecida (Figura 11). La situación económica puede estar condicionada por el tipo de trabajador o la edad de la población desempleada, además del nivel educativo y el acceso a Internet en el hogar. Para esta variable se utilizó una versión adaptada del índice de privación IP2011 (Duque et al., 2021), que

se agrupó por provincias y tomó un valor dicotómico: 1 para las poblaciones más privilegiadas (el valor del índice agrupado es menor que cero) y 0 para las poblaciones desfavorecidas (el valor del índice agrupado es mayor que cero).

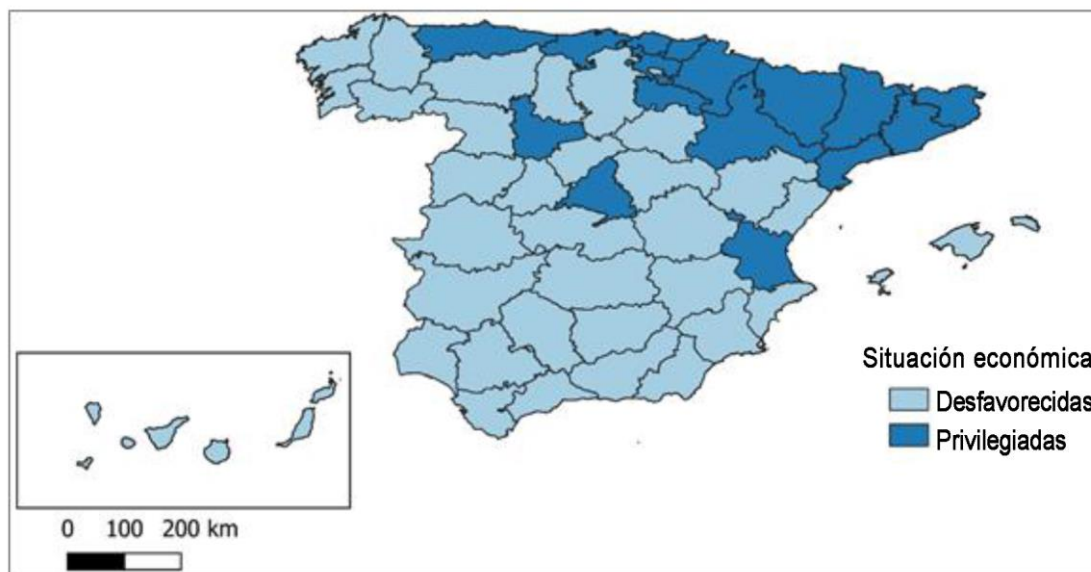


Figura 11. Mapa de las poblaciones privilegiadas y desfavorecidas según la privación en España, 2011.

Se ha obtenido la proporción de viviendas en buen estado y el número medio de viviendas construidas en los 50 años anteriores. El estado de las viviendas y la fecha de construcción se obtuvieron del Censo de Población y Viviendas de 2011 (Instituto Nacional de Estadística, n.d.-a).

Se calculó el número de licencias concedidas a edificios para su rehabilitación por cada 10.000 habitantes durante los años 2007-2017. Los datos se obtuvieron del catálogo de construcción de edificios con licencia municipal de obras del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (Gobierno de España, n.d.-c).

El gasto sanitario municipal medio se obtuvo para los años 2002-2018. Los datos de las entidades locales se obtuvieron a partir de los datos estadísticos relativos a los presupuestos generales de las entidades locales y su liquidación de los servicios telemáticos de la Secretaría General de Financiación Autonómica y Local (Gobierno de España, n.d.-a).

La proporción de profesionales sanitarios se calculó utilizando la media de la ratio del número de médicos o enfermeras durante el periodo 2004-2018. Se obtuvo la media del número de ambulancias por cada 100.000 habitantes en la serie 2012-

2018. Se calculó el número de centros de salud y de atención primaria y los consultorios (que no se consideran centros de salud propiamente dichos, pero que prestan asistencia sanitaria en el ámbito de la atención primaria). Las cifras medias de centros de salud y consultorios se calcularon utilizando la media de población por cada 10.000 habitantes. Los datos se obtuvieron del Portal Estadístico Área de Inteligencia de Gestión (Gobierno de España, n.d.-b) y del Sistema de Información de Atención Primaria (SIAP) para cada provincia.

4.2.2.3. Variable de control

Cómo variable de control de exposición se utilizó las variables **T₉₅**, que se corresponde a las temperaturas situadas en el percentil 95 para cada provincia española en el periodo 1980-2003. Teniendo en cuenta que la vulnerabilidad al calor depende de la exposición de la población al calor a la temperatura máxima diaria (Linares-Gil et al., 2017).

4.2.2.4. Variable de adaptación

Asimismo, para conocer si las provincias se adaptaron o no durante el periodo de estudio, se calculó la variable **ADAPTATION**. Para la creación de esta variable se utilizó la variable **ADAPT_LEVEL**, que se corresponde e a la diferencia de la variación de la mínima temperatura de mortalidad (**MMT_VAR**) con el incremento promedio de las temperaturas máximas diarias, según la metodología y resultados (Follos et al., 2020). Se le asignó a la variable **ADAPTATION** el valor 1 a las provincias adaptadas (el valor del nivel de adaptación es mayor que cero), y un valor de 0, a las provincias que no se adaptaron (tuvieron un valor de nivel de adaptación menor que cero).

4.2.3 Análisis de datos

Para el análisis de los datos, en primer lugar, se tuvieron en cuenta la división entre provincias urbanas (tabla 5) y no urbanas (tabla 6) de cada una de las variables. Fueron analizadas mediante el uso de modelos lineales generalizado GLM (link = identity).

Tabla 5. Relaciones entre las variables dependientes, explicativas y de control en las provincias urbanas

| NAM_MUN | MMT VAR | ADAPT LEVEL | ADAPT. | T_95 | POP_65 | POPULATION | INCOME | ECONOMIC RESOURCES | GOOD HOUSE | HOUSE LESS 50 | REHAB. LICENSES | HEALTH EXPENDITURE | HEALTH PROFESSIONALS | AMBULANCES | HEALTH FACILITIES | MEDICAL FACILITIES |
|---------------|---------|-------------|--------|------|--------|------------|----------|--------------------|------------|---------------|-----------------|--------------------|----------------------|------------|-------------------|--------------------|
| Alicante | 0.69 | 0.50 | 1 | 33.3 | 15.17 | 1569682 | 17398.21 | 0 | 0.94 | 0.89 | 7.11 | 6.64 | 2784 | 7.86 | 4.86 | 9.29 |
| Álava | 0.06 | -0.40 | 0 | 38 | 14.41 | 300207 | 32118.95 | 1 | 0.96 | 0.86 | 12.96 | 14.70 | 2789 | 5.39 | 6.02 | 10.46 |
| Barcelona | 0.45 | 0.04 | 1 | 30.3 | 15.00 | 5140403 | 23885.00 | 1 | 0.94 | 0.75 | 5.20 | 15.13 | 2517 | 3.89 | 5.02 | 3.83 |
| Bizkaia | 0.20 | 0.14 | 1 | 32 | 16.00 | 1182241 | 26298.32 | 1 | 0.96 | 0.73 | 7.66 | 13.35 | 2527 | 3.28 | 6.36 | 8.54 |
| Cádiz | 0.49 | 0.20 | 1 | 32.4 | 11.44 | 1171259 | 16015.68 | 0 | 0.92 | 0.85 | 5.77 | 5.99 | 3130 | 5.10 | 4.33 | 6.13 |
| Gipuzkoa | 0.03 | -0.22 | 0 | 33.1 | 15.72 | 708972 | 28009.00 | 1 | 0.97 | 0.67 | 4.58 | 9.37 | 3102 | 3.75 | 7.22 | 6.51 |
| Madrid | 0.58 | 0.18 | 1 | 36.5 | 13.31 | 5736471 | 29458.37 | 1 | 0.96 | 0.82 | 3.20 | 21.25 | 3281 | 1.35 | 4.08 | 2.53 |
| Málaga | 0.68 | 0.36 | 1 | 36.4 | 13.16 | 1377593 | 16361.11 | 0 | 0.96 | 0.91 | 4.67 | 8.37 | 2796 | 3.02 | 3.99 | 7.34 |
| Murcia | 1.00 | 0.83 | 1 | 37.5 | 12.87 | 1261196 | 18197.11 | 0 | 0.93 | 0.85 | 3.89 | 7.41 | 2671 | 5.43 | 5.65 | 12.91 |
| Las Palmas | 0.00 | -0.13 | 0 | 29.9 | 10.46 | 935091 | 19029.58 | 0 | 0.90 | 0.84 | 2.27 | 6.28 | 2779 | 5.48 | 4.84 | 6.42 |
| S.C. Tenerife | 0.36 | 0.14 | 1 | 31.5 | 12.61 | 864165 | 19285.53 | 0 | 0.92 | 0.84 | 2.44 | 5.53 | 2375 | 5.86 | 5.60 | 8.60 |
| Sevilla | 1.14 | 0.83 | 1 | 41 | 12.55 | 1791717 | 23820.84 | 0 | 0.96 | 0.84 | 5.62 | 13.16 | 2321 | 4.98 | 4.42 | 5.53 |
| Valencia | 0.41 | 0.10 | 1 | 33.3 | 14.78 | 2361208 | 20494.11 | 1 | 0.93 | 0.77 | 5.75 | 6.79 | 2658 | 6.63 | 5.43 | 12.00 |
| Zaragoza | 0.61 | 0.13 | 1 | 37.3 | 17.35 | 915979 | 23644.26 | 1 | 0.96 | 0.80 | 9.33 | 6.28 | 2471 | 3.77 | 6.52 | 30.39 |

Tabla 6. Relaciones entre las variables dependientes, explicativas y de control en provincias no urbanas.

| NAM_MUN | MMT VAR | ADAPT LEVEL | ADAPT. | T_95 | POP_65 | POPULATION | INCOME | ECONOMIC RESOURCES | GOOD HOUSE | HOUSE LESS 50 | REHAB. LICENSES | HEALTH EXPENDITURE | HEALTH PROFESSIONALS | AMBULANCES | HEALTH FACILITIES | MEDICAL FACILITIES |
|-----------------|---------|-------------|--------|------|--------|------------|---------|--------------------|------------|---------------|-----------------|--------------------|----------------------|------------|-------------------|--------------------|
| Albacete | 0.04 | -0.47 | 0 | 37 | 15.821 | 378510 | 17092.6 | 0 | 0.95 | 0.81 | 6.60 | 5.66 | 2458 | 7.97 | 9.39 | 41.11 |
| Almería | 1.28 | 1.35 | 1 | 35.5 | 12.296 | 572008 | 18254.7 | 0 | 0.93 | 0.89 | 5.45 | 22.20 | 3245 | 7.70 | 5.61 | 28.07 |
| Asturias | 0.33 | 0.15 | 1 | 27.6 | 18.958 | 1111002 | 19338.9 | 1 | 0.94 | 0.75 | 7.59 | 4.01 | 2056 | 4.17 | 6.47 | 13.97 |
| Ávila | 0.05 | -0.35 | 0 | 33.2 | 21.441 | 175868 | 17055.9 | 0 | 0.96 | 0.84 | 4.88 | 7.95 | 2115 | 9.25 | 13.14 | 200.68 |
| Badajoz | 0.65 | 0.36 | 1 | 39.7 | 15.861 | 683126 | 14994.5 | 0 | 0.97 | 0.75 | 14.17 | 9.99 | 2705 | 18.04 | 8.34 | 24.87 |
| Baleares, Illes | 1.07 | 0.74 | 1 | 32.6 | 13.683 | 905868 | 24144.4 | 0 | 0.93 | 0.77 | 14.11 | 8.47 | 3030 | 3.27 | 5.20 | 9.57 |
| Burgos | -0.06 | -0.44 | 0 | 34 | 18.436 | 369209 | 24312.1 | 0 | 0.94 | 0.82 | 5.69 | 8.62 | 2724 | 6.68 | 9.82 | 161.99 |
| Cáceres | 0.23 | -0.11 | 0 | 38.4 | 18.03 | 421494 | 15206.9 | 0 | 0.94 | 0.77 | 8.46 | 12.96 | 2287 | 25.55 | 12.70 | 60.06 |
| Cantabria | 0.79 | 0.51 | 1 | 27.5 | 16.755 | 565552 | 20348.6 | 1 | 0.95 | 0.77 | 5.94 | 4.12 | 2725 | 5.32 | 7.06 | 20.65 |
| Castellón | 0.76 | 0.39 | 1 | 32.6 | 15.876 | 520310 | 22645.6 | 0 | 0.94 | 0.84 | 6.57 | 11.96 | 2533 | 9.33 | 7.05 | 17.55 |
| Ciudad Real | -0.28 | -0.54 | 0 | 38.8 | 16.92 | 506388 | 17864.8 | 0 | 0.95 | 0.79 | 5.59 | 5.48 | 2335 | 6.55 | 10.11 | 17.88 |
| Córdoba | 1.82 | 1.49 | 1 | 41.2 | 15.206 | 791212 | 15432.8 | 0 | 0.95 | 0.80 | 10.11 | 4.54 | 2912 | 8.03 | 4.91 | 12.96 |
| Coruña, A | 0.83 | 0.48 | 1 | 26.2 | 17.762 | 1142966 | 19621.6 | 0 | 0.92 | 0.80 | 4.31 | 3.68 | 2753 | 3.43 | 11.83 | 3.71 |
| Cuenca | 0.13 | -0.48 | 0 | 35.4 | 20.814 | 213238 | 18048.6 | 0 | 0.94 | 0.79 | 5.22 | 13.19 | 1648 | 18.12 | 16.72 | 123.24 |
| Girona | 1.18 | 0.53 | 1 | 33.6 | 15.543 | 621840 | 25561.2 | 1 | 0.95 | 0.83 | 17.66 | 21.22 | 2444 | 6.12 | 7.10 | 25.53 |
| Granada | 0.29 | -0.13 | 0 | 38.4 | 14.337 | 865718 | 15517.7 | 0 | 0.94 | 0.85 | 10.48 | 9.58 | 2555 | 6.70 | 5.65 | 30.81 |
| Guadalajara | 0.06 | -0.30 | 0 | 38.2 | 16.418 | 196496 | 18052.8 | 0 | 0.98 | 0.91 | 10.22 | 10.26 | 2479 | 9.10 | 12.04 | 170.38 |
| Huelva | 1.64 | 1.32 | 1 | 37.6 | 13.661 | 486111 | 16738.6 | 0 | 0.93 | 0.81 | 7.48 | 4.46 | 2431 | 11.06 | 5.49 | 17.84 |
| Huesca | 0.03 | -0.46 | 0 | 36.1 | 20.315 | 220583 | 23820.8 | 1 | 0.95 | 0.79 | 12.01 | 13.01 | 2377 | 10.58 | 12.58 | 146.88 |
| Jaén | 0.61 | 0.10 | 1 | 37.6 | 15.437 | 666812 | 15112.7 | 0 | 0.95 | 0.78 | 15.27 | 5.09 | 2594 | 10.52 | 6.21 | 23.49 |
| León | 0.18 | -0.06 | 0 | 32.5 | 20.534 | 517151 | 18428.1 | 0 | 0.94 | 0.78 | 3.38 | 5.22 | 2081 | 5.65 | 7.77 | 150.09 |
| Lleida | 0.57 | 0.31 | 1 | 36.8 | 17.854 | 395467 | 26056.4 | 1 | 0.94 | 0.76 | 10.95 | 10.24 | 2515 | 9.49 | 7.72 | 62.73 |
| Lugo | 1.56 | 1.37 | 1 | 31 | 23.711 | 378658 | 18616.1 | 0 | 0.92 | 0.75 | 7.80 | 5.04 | 2362 | 6.73 | 20.97 | 3.73 |
| Navarra | -0.07 | -0.51 | 0 | 35.6 | 16.092 | 585513 | 26947.3 | 1 | 0.99 | 0.80 | 9.01 | 13.06 | 2485 | 5.28 | 8.92 | 38.34 |
| Ourense | 0.66 | 0.20 | 1 | 36.6 | 23.985 | 357842 | 17318.8 | 0 | 0.94 | 0.77 | 7.14 | 7.58 | 2056 | 5.21 | 30.43 | 3.35 |
| Palencia | -0.07 | -0.35 | 0 | | 19.525 | 182273 | 22070.3 | 0 | 0.96 | 0.80 | 2.39 | 1.73 | 2306 | 7.13 | 11.77 | 182.48 |
| Pontevedra | 0.01 | -0.09 | 0 | 32 | 15.834 | 943735 | 18442.1 | 0 | 0.94 | 0.81 | 4.35 | 4.69 | 2326 | 3.87 | 9.16 | 2.21 |
| Rioja, La | 0.00 | -0.41 | 0 | 36.4 | 17.111 | 294031 | 23628.7 | 1 | 0.94 | 0.79 | 3.39 | 8.95 | 2726 | 5.87 | 6.35 | 55.90 |
| Salamanca | 0.07 | -0.55 | 0 | 34.8 | 20.291 | 361774 | 17754.8 | 0 | 0.94 | 0.88 | 2.07 | 13.66 | 2298 | 5.49 | 10.38 | 119.10 |
| Segovia | 0.10 | -0.19 | 0 | 34.2 | 19.505 | 156989 | 20500.2 | 0 | 0.94 | 0.79 | 6.90 | 13.07 | 2409 | 7.78 | 10.06 | 179.74 |
| Soria | -0.09 | -0.37 | 0 | 34 | 22.545 | 96500 | 21705.8 | 0 | 0.95 | 0.84 | 5.11 | 21.96 | 2130 | 11.14 | 15.10 | 371.13 |
| Tarragona | 0.49 | 0.11 | 1 | 35.3 | 15.613 | 667588 | 26198.5 | 1 | 0.88 | 0.85 | 13.42 | 17.12 | 2155 | 8.06 | 6.94 | 21.70 |
| Teruel | 0.06 | -0.36 | 0 | 35.5 | 22.168 | 146201 | 22603.5 | 0 | 0.95 | 0.75 | 13.11 | 17.69 | 1940 | 15.87 | 19.79 | 187.33 |
| Toledo | 0.61 | 0.20 | 1 | 38.9 | 16.281 | 589771 | 16656.8 | 0 | 0.96 | 0.87 | 4.93 | 6.44 | 2885 | 6.66 | 7.00 | 28.60 |
| Valladolid | -0.80 | -0.98 | 0 | 35.9 | 15.635 | 521675 | 22126 | 1 | 0.97 | 0.87 | 2.48 | 6.84 | 2889 | 3.63 | 7.80 | 43.57 |
| Zamora | 0.05 | -0.44 | 0 | 35.6 | 23.908 | 208554 | 16869.2 | 0 | 0.95 | 0.82 | 4.18 | 10.36 | 1639 | 9.52 | 11.57 | 216.10 |

En segundo lugar, con las variables (tabla 4) seleccionadas de la forma descrita se generó un modelo ajustado por cada uno de los grupos (urbanos y no urbanos). En estos modelos, las variables fueron descartadas en función de su sentido biológico y por orden descendente de p-value hasta alcanzar la significación estadística ($p\text{-value} < 0.05$).

Para el modelo urbano se utilizaron las variables **INCOME**, **ECONOMIC RESOURCES**, **HOUSE_LESS_50** y **HEALTH_FACILITIES**. Mientras que para el modelo no urbano las seleccionadas fueron **POP_65**, **POPULATION**, **INCOME**, **ECONOMIC RESOURCES**, **GOOD_HOUSE**, **REHABILITATION_LICENSES**, **HEALTH_PROFESSIONALS** y **MEDICAL_FACILITIES**. Además, la variable

dependiente **MMT_VAR**, se incluyó la variable de control **T_95** por su importancia como variable de control climatológico para ambos grupos.

Para el análisis de los modelos se utilizó el programa estadístico STATA en su versión 15. Para el tratamiento de los datos se utilizó el software R en su versión 4.0.2. Para la representación espacial, se utilizó el programa de sistema de información geográfica QGIS en su versión 3.16.0.

4.3 Resultados

Según el criterio de clasificación empleado en el estudio, España a nivel de provincias es predominantemente no urbana 72% (n=36 provincias) frente al 28% (n=14) que son urbanas (figura 9). Con respecto a la adaptación según la tipología urbana-rural, se adaptaron el 79% (n=11) de las provincias urbanas (tabla 5) frente al 21% (n=3) que no se adaptaron. En cambio, de las provincias no urbanas (tabla 6) sólo se adaptaron el 44% (n=16) frente al 56% (n=20) que no lo hicieron. Ambas diferencias fueron estadísticamente significativas (p-value < 0.05) según la comprobación mediante test chi-cuadrado.

Para la elección de las variables candidatas (tabla 4), si bien no se encontraron asociación estadísticamente significativa entre las variables independientes con la variación de la TMM en las zonas urbanas. En cambio, en las zonas no urbanas, si se encontraron cinco variables significativas en lo contextos demográficos (POP_65 y POPULATION), económicos (INCOME), viviendas (REHABILITATION_LICENSES) y sanitarios (MEDICAL_FACILITIES).

Con respecto a la TMM (figure 2), podemos observar que tanto el primer y el segundo quintil se corresponden con valores bajos de TMM (-0.8 a 0.16) y se concentraron en provincias inadaptadas. En cambio, a partir del tercer cuartil (0.16 a 1.82), exceptuando tres provincias (León, Cáceres y Granada que no se adaptaron), todas las demás provincias se adaptaron (tabla 5 y tabla 6).

En relación con los recursos económicos (tabla 5 y tabla 6) en España, predominan las provincias desfavorecidas 68% (34) frente al 32% (16) de zonas más favorecidas. Las zonas privilegiadas se concentran principalmente en la zona norte del país (figure 3). Si bien, en las zonas desfavorecidas del todo territorio español la adaptación no es un factor diferenciador, pues el 50% (17) de estas poblaciones no se adaptaron y la otra mitad (17) si se adaptaron (tabla 5 y tabla 6). En cambio, en las

zonas más favorecidas si sobresalen las provincias que mostraron adaptación fue el 63% (10) frente al 37% (6) que no se adaptaron.

En cuanto a los resultados de la relación de la TMM con los factores locales de a través modelos (tabla 4), podemos observar que, en las zonas urbanas, las dos variables que se relacionaron de forma estadísticamente significativa (p -valor < 0.05) fueron ECONOMIC RESOURCES y T_95. En el primer caso, el ritmo de variación es menor en las poblaciones más desfavorecidas. En el segundo observamos que la MMT_VAR tiende a crecer con la exposición al calor extremo.

Con respecto a las zonas no urbanas, las dos variables que se relacionaron con la TMM de forma estadísticamente significativa (p -value < 0.05) fueron REHABILITATION_LICENSES y HEALTH_PROFESSIONALS. En este caso, a mayor porcentaje de licencias de rehabilitación para edificios y mayor porcentaje de profesionales sanitarios, mostraron una mayor variación del ritmo de adaptación de la población.

4.4 Discusión

El objetivo de este estudio fue conocer los factores sociales, climáticos y de recursos locales que se relacionaron con la evolución de las temperaturas mínimas de mortalidad (TMM) en España durante el período 1983-2018. Esta evolución puede interpretarse como una tendencia adaptativa entre la población. Este estudio proporcionó dos hallazgos principales. Primero, nuestros resultados muestran que la tendencia adaptativa fue diferente según la región. Las poblaciones urbanas se adaptaron más que las poblaciones no urbanas. Esto concuerda con otros estudios que han encontrado diferencias en el comportamiento del calor, en el que las zonas no urbanas son más vulnerables que las urbanas (K. Chen et al., 2017; Hu, Guo, Hochrainer-Stigler, et al., 2019). Este resultado contrasta con otros estudios que han encontrado que las áreas urbanas son más vulnerables al calor que las áreas rurales (Gabriel & Endlicher, 2011; C. Wang et al., 2018). En parte, el mayor porcentaje de adaptación observado en las zonas urbanas puede guardar relación con una mejor situación económica.

En este trabajo se ha entendido que se adaptan aquellas provincias cuya TMM crece a mayor ritmo que las temperaturas máximas diarias. Sin embargo, esto no implica la desaparición de los riesgos en salud asociados con el calor extremo. Es decir, la adaptación de una provincia vulnerable no implica que esta deje de ser vulnerable.

Más bien, significa que esta no será vulnerable en mayor grado en el futuro de lo que es ahora. Por tanto, este concepto de adaptación no es comparable a otros basados en riesgos y percentiles encontrados en la bibliografía (Azhar et al., 2017; K. Chen et al., 2016; Follos et al., 2020, 2021; López-Bueno, Navas-Martín, Díaz, et al., 2021b; López-Bueno, Navas-Martín, Linares, et al., 2021; Nayak et al., 2018; Reid et al., 2009; Wolf & McGregor, 2013).

Con respecto a la relación entre los factores locales y la TMM, por un lado, destaca que sólo se encontraron en la preselección cinco variables significativas (p -valor <0.05) de todas las variables candidatas del estudio en las zonas no urbanas. Esto nos puede indicar que al igual que en otros estudios, los factores demográficos (Miron et al., 2008), socioeconómicos (Chung et al., 2018) y de infraestructuras de salud pública están relacionados con la TMM (Cao et al., 2021) al menos con las regiones no urbanas.

Por otro lado, con respecto al modelo final de las zonas urbanas, los resultados se relacionaron con los recursos económicos y con las temperaturas situadas en el percentil 95. Esto supone que, a mayor número de provincias más favorecidas, y con temperaturas más altas, mayor es el incremento de la TMM.

Las personas con menos recursos tienen más dificultades para poder aclimatar su vivienda a través de equipos de refrigeración, o bien aun disponiendo de ellos, no tienen ingresos suficientes para afrontar el pago del consumo energético (Bakhsh et al., 2018a). El nivel privación determina la vulnerabilidad frente al calor, siendo además un factor de riesgo de sufrir aumentos de mortalidad específicamente asociados con temperaturas extremas (López-Bueno, Navas-Martín, Linares, et al., 2021). Asimismo, un estudio prospectivo relacionó los cambios en la vulnerabilidad al calor con diferentes escenarios socioeconómicos europeos. Según los autores, las condiciones socioeconómicas determinarán el nivel de adaptación de cada población (Rohat et al., 2019).

En cuanto a la asociación encontrada para el percentil 95, esta coincide con lo reportado en la bibliografía. Así, trabajos anteriores han encontrado que una mayor exposición tiende a estar relacionada con menores riesgos y vulnerabilidad asociados a las olas de calor (Curriero et al., 2002). Es decir, los riesgos son mayores en las zonas más frescas y, por tanto, menos habituadas al calor.

Teniendo en cuenta que la TMM es una medida de adaptación al calor (Follos et al., 2020), debe ser considerada en relación con el incremento de las temperaturas ambientales. Si la tasa de evolución de la TMM es superior con el incremento del promedio de las temperaturas máximas diarias en un mismo periodo de tiempo, se estaría adaptando la población. Las zonas con una tendencia al alza de TMM tienen más posibilidades de adaptarse. Esto supone que las consecuencias del impacto del calor en salud asociados con el calor extremo suelen ser menores (Follos et al., 2021). Entre los diferentes elementos que pueden explicar el proceso de adaptación de la población de áreas con temperaturas más cálidas, destaca el conjunto de factores que se conoce como “cultura al calor” (Bobb et al., 2014)

Con respecto al modelo final de las zonas no urbanas, se relacionaron con la calidad de las viviendas y los recursos humanos sanitarios. A mayor número de viviendas rehabilitadas y una mayor proporción de profesionales sanitarios en atención primaria, mejor adaptación al calor.

Los profesionales sanitarios en este estudio se componen de médicos de familia y de enfermeras en Atención Primaria. En el contexto sanitario, las enfermeras en Atención Primaria contribuyen a reducir la mortalidad en ciertos grupos de pacientes (Laurant et al., 2018) o contribuyen a disminuir las desigualdades sociales en salud (Poghosyan & Carthon, 2017). Asimismo, los médicos de familia permiten reducir el uso de los servicios hospitalarios (Fung et al., 2015) y facilitan una mejor salud de sus pacientes (Bataineh et al., 2019). En consecuencia, el aumento de la ratio de profesionales sanitario es un factor protector.

Son diversos los estudios que resaltan la importancia de la vivienda como elemento protector frente a la mortalidad asociada al calor extremo (López-Bueno et al., 2019b; López-Bueno, Navas-Martín, Linares, et al., 2021; Taylor et al., 2015). Sus características, como la edad de la vivienda (López-Bueno et al., 2019b), la falta de aislamiento, el número de ventanas o la cantidad de horas solar recibida, entre otras determinan su capacidad de mitigación (Zuo et al., 2015). En España más de la mitad del parque de vivienda son anteriores a los años 80, siendo viviendas antiguas y mal aisladas (Cuerdo-Vilches & Navas-Martín, 2021). El diseño de edificios eficientes y la rehabilitación de las viviendas pueden reducir los efectos del calor (Ramakrishnan et al., 2017b). Por ello, son diversas las recomendaciones destinadas en la mejora de los edificios, desde el cambio de las cubiertas a techos fríos (Mahadevia et al., 2020),

el pintado de las paredes usando colores claros para la protección solar o la mejora del aislamiento de las paredes externas (S. Porritt et al., 2011; S. M. Porritt et al., 2012). Sin embargo, estas limitaciones son comunes en todos los estudios de este tipo.

El estudio presenta varias limitaciones, por un lado, es un estudio ecológico, y por tanto las conclusiones son válidas solo a nivel de población (Neuman, 2014). Tampoco se han considerado los datos de contaminación atmosférica, al no disponer de datos de suficiente calidad a nivel provincial para incluirla en el estudio.

Otra limitación es el concepto de ruralidad, pues no existe un consenso de una definición única. Existen diferentes criterios de clasificación en base al territorio, desde de las dimensiones demográficas, de servicios o de infraestructuras (López-Bueno, Navas-Martín, Linares, et al., 2021).

Los datos han sido agregados y analizados a nivel intermedio (provincias). Sin embargo, estos no son grupos de población homogéneos en cuanto a estatus socioeconómico, tipos de población y estilos de vida. En consecuencia, se debe tener presente que los resultados obtenidos pueden enmascarar el comportamiento que manifiestan las distintas subpoblaciones que conviven dentro de una provincia, por lo que hace recomendable el desarrollo de estudios específicos de población que ayuden a determinar parches homogéneos de población en función del ambiente, el clima y la meteorología, así como en función de la estructura social - económica, cultural y demográficas- y urbanística de la población. Estudios de población basados en unidades muestrales no administrativas así descritas darían lugar a resultados de gran consistencia.

Si bien estos resultados son una interesante aproximación exploratoria, el desarrollo de medidas concretas y recomendaciones específicas en salud públicas exige el desarrollo de estudios a nivel inferior a la provincia. Esto permitirá disponer de resultados más detallados y en base a unidades de población más homogénea.

4.5 Conclusiones

Teniendo en cuenta la tipología urbana-rural, las provincias urbanas españolas se han adaptado mejor que las no urbanas. Asimismo, las áreas urbanas el incremento de la TMM fue condicionado por vivir en zonas más favorecidas con mayores recursos económicos y tener temperaturas situadas en el percentil 95. Mientras que las áreas rurales, estuvo condicionada por disponer de un mayor número de profesionales

sanitarios y de viviendas rehabilitadas. Por lo tanto, los factores socioeconómicos y climatológicos, unidos a las políticas públicas en salud, condicionan la adaptación, pues a mayor incremento de la TMM mayor probabilidades de adaptación, ya que la subida de la temperatura es prácticamente general en España (Aemet, 2020).

Por ello, es necesario realizar estudios que permitan identificar qué factores son los más relevantes e influyentes en la adaptación de la población con respecto a la TMM (Folkerts et al., 2020a), teniendo en cuenta la heterogeneidad de cada zona. Esto permitirá abordar los planes de prevención frente al calor al nivel local como sugieren varios autores (Bakhsh et al., 2018a; Follos et al., 2021; Oudin Åström et al., 2020; Rodrigues et al., 2021; Sánchez Martínez et al., 2011).

Capítulo 5. Género

Gender Differences in Adaptation to Heat in Spain (1983-2018)

Navas-Martín MÁ^{1,2}, López-Bueno JA¹, Ascaso-Sánchez¹ MS; Sarmiento-Suárez R³; Follos F⁴, Vellón JM⁴; Mirón IJ⁵; Luna MY⁶; Sánchez-Martínez G⁷; Culqui D¹; Linares C¹; Díaz J¹.

¹National School of Public Health, Carlos III Institute of Health, Madrid, Spain

²Doctorate program in Biomedical Sciences and Public Health, National University of Distance Education, Madrid, Spain

³Medicine School, University of Applied and Environmental Sciences. Bogotá, Colombia.

⁴Tdot Soluciones Sostenibles, SL. Ferrol. A Coruña, Spain

⁵Regional Health Authority of Castile La Mancha, Toledo, Spain

⁶State Meteorological Agency, Madrid, Spain

⁷The UNEP DTU Partnership, Copenhagen, Denmark

| | |
|------------------------------|------------------------------|
| Revista: | Environmental Research |
| Factor de impacto (JCR): | 8.3 |
| Percentil de la publicación: | Decil 1 |
| Fecha de la publicación: | Diciembre 2022 |
| DOI: | 10.1016/j.envres.2022.113986 |
| PMID: | 36058271 |

5 Género

5.1 Introducción

En España la temperatura media ha aumentado 1,7°C desde la época preindustrial. Este aumento se ha manifestado con mayor intensidad durante la última década (Gobierno de España, 2020). Las temperaturas máximas han aumentado entre 1983 y 2018 en 0,34°C /década, afectando a la salud de los grupos de población más vulnerables (Follos et al., 2021; Gobierno de España, 2020; Watts et al., 2018).

Algunos de los efectos directos del cambio climático sobre la salud de la población están relacionados con la mortalidad por temperaturas extremas, especialmente por olas de calor (Watts et al., 2018). Se sabe que las olas de calor no afectan de la misma manera a toda la población. Diferentes estudios concluyen que existe una gran variabilidad geográfica en los efectos del calor sobre la mortalidad diaria (Follos et al., 2021; M. Á. Navas-Martín, López-Bueno, Díaz, et al., 2022; Zhao et al., 2021). Estas diferencias geográficas en la vulnerabilidad de la población al calor podrían estar relacionadas con factores sociales, ambientales y de comportamiento, así como con diferencias en la adaptación a las altas temperaturas (Barrett, 2015; Gasparri et al., 2016).

Otros factores que pueden influir son, la posible existencia de planes de Acción de Salud por el calor en las diferentes zonas, la mayor disponibilidad de aire acondicionado, mejores servicios de salud, aislamiento de viviendas y antigüedad de edificios (López-Bueno et al., 2020). Factores climáticos como la humedad relativa baja afectan mejorando los efectos de la alta temperatura (Díaz, Carmona, Mirón, Ortiz, León, et al., 2015b). También debemos tener en cuenta, el porcentaje de personas susceptibles en la zona, como mayores de 65 años y enfermos crónicos, así como el nivel de renta y tasas de empleo, o el carácter rural o urbano predominante en cada provincia (Huertas et al., 2021; López-Bueno et al., 2020).

Hay evidencias de una mayor susceptibilidad al calor extremo de las mujeres respecto a los hombres (Follos et al., 2020), incluso se ha estimado el efecto 20 veces mayor en mujeres (W. Yu et al., 2010), principalmente en personas de edad avanzada (Folkerts et al., 2021) y por causa circulatoria (Díaz, Carmona, Mirón, Ortiz, León, et al., 2015b). Esta mayor susceptibilidad al calor de las mujeres respecto a los

hombres puede deberse a causas fisiológicas y biológicas o por diferencias de género. Entre las causas biológicas y fisiológicas, señalar que las mujeres disipan menos calor al sudar (Kaciuba-Uscilko & Grucza, 2001), tienen grasa subcutánea más espesa que evita que eliminen el calor, reaccionan a las altas temperaturas aumentando la producción de sustancias vasoactivas y la viscosidad de la sangre, lo que puede alterar el flujo sanguíneo y la presión arterial (Charkoudian et al., 2017; Sorensen et al., 2018). Las hormonas femeninas influyen en la regulación de la temperatura corporal (Barry et al., 2020; Charkoudian & Stachenfeld, 2014). Tanto el ciclo menstrual como la menopausia son procesos biológicos que alteran la temperatura corporal de las mujeres (Charkoudian et al., 2017; Charkoudian & Stachenfeld, 2016; Kaciuba-Uscilko & Grucza, 2001; Monteleone et al., 2018). Así, cuando el trabajo se desarrolla en condiciones de calor extremo, afecta de manera diferente a hombres y mujeres: mientras que los hombres, sufren mayores tasas de insolación, las mujeres padecen tasas superiores de otras enfermedades (Kazman et al., 2015).

En cuanto a las diferencias entre hombres y mujeres debidas a razones de género, pueden ser debidas a los diferentes roles desarrollados (Kabeer, 2008), las diferentes posibilidades de acceso a recursos o las desigualdades de poder y de participación en la toma de decisiones (Gobierno de España, 2020).

Una forma de cuantificar la adaptación al calor es evaluando la temperatura mínima de mortalidad (TMM) (Folkerts et al., 2020b; Yin et al., 2019). La TMM puede entenderse como la temperatura a la que se minimiza la mortalidad en la curva de asociación temperatura/mortalidad estimada (Lee et al., 2017). Esta TMM coincide con el vértice de la tradicional forma en V de la relación temperatura/mortalidad (Folkerts et al., 2020b; Follos et al., 2020).

Estudios realizados en España muestran que, en promedio, la TMM ha aumentado a un ritmo de 0,57 °C/década, mientras que las temperaturas máximas estivales han aumentado a un ritmo menor, como se ha descrito anteriormente, lo que indica una adaptación al calor incluso mayor que el aumento de la temperatura máxima experimentado (Follos et al., 2021). Cabe destacar que existe una importante heterogeneidad geográfica (Navas-Martín, López-Bueno, Díaz, et al., 2022), probablemente debida a factores sociodemográficos y económicos (López-Bueno, Navas-Martín, Díaz, et al., 2021a) y a las condiciones ecológicas y culturales de las diferentes localidades (Susan Solomon et al., 2021).

Aunque se han realizado estudios sobre las diferencias en la TMM en diferentes zonas geográficas (Åström et al., 2016; Chung et al., 2018; Folkerts et al., 2020b; M. Navas-Martín et al., 2022), y a pesar de las importantes evidencias sobre el impacto de los diferentes mecanismos de respuesta fisiológica de hombres y mujeres a las altas temperaturas (Barry et al., 2020; Charkoudian & Stachenfeld, 2014), prácticamente no existen estudios que aporten resultados sobre el diferente comportamiento y la evolución de la TMM en hombres y mujeres (Follos et al., 2020). Es necesaria información que aporte conocimiento sobre el comportamiento del TMM a nivel geográfico.

El objetivo de este estudio fue analizar los valores de TMM en hombres y mujeres y su evolución a lo largo del periodo 1983-2018 en todas las provincias de España.

5.2 Material y método

5.2.1 Variables de estudio

Se realizó un estudio de series temporales ecológicas para los años 1983-2018 en 50 provincias que representan las divisiones administrativas de España. Se utilizaron las variables de código de provincia, año y sexo (correspondiente a hombres y mujeres) para la clasificación y agrupación de los datos (tabla 7).

Tabla 7. Valores de TMM a nivel provincial para hombres y mujeres (°C); Media de la temperatura máxima diaria (°C); Ritmo de variación de la temperatura máxima diaria (°C/decada); ritmo de variación de la TMM para hombres y mujeres: Adaptación para hombres y mujeres (°c/decada). Periodo 1982-2018. *p<0.05.

| Province | | MMT (°C) | | TMAX (°C) | | MMT Variation (°C/decade) | | Adaptation level (MMT Variation-TMAX rise) (°C/decade) | |
|----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|------------------|---------------------------|--------|--|-------|
| Cod | Name | Men | Women | Mean (°C) | Rise (°C/decade) | Men | Women | Men | Women |
| 1 | Araba | 29.6 | 27.6 | 17.4 | 0.46 | -0.64 | -1.20 | -1.10 | -1.66 |
| 2 | Albacete | 29.4 | 30.3 | 21 | 0.51 | -0.85 | 0.19 | -1.36 | -0.32 |
| 3 | Alicante | 29.7 | 29.5 | 23.5 | 0.19 | 0.27 | 0.82* | 0.08 | 0.63 |
| 4 | Almería | 31.3 | 30.6 | 23.4 | -0.07 | 0.61 | 1.24 | 0.68 | 1.31 |
| 5 | Ávila | 26.2 | 26.7 | 17.2 | 0.39 | 0.55 | 1.55 | 0.16 | 1.16 |
| 6 | Badajoz | 32.6 | 31.6 | 24 | 0.29 | 0.56 | 1.01* | 0.28 | 0.72 |
| 7 | Balears, Illes | 28.9 | 27.8 | 22 | 0.33 | 0.72 | 0.68 | 0.39 | 0.35 |
| 8 | Barcelona | 27.0 | 26 | 20.6 | 0.41 | 0.57* | 0.31 | 0.16 | -0.10 |
| 9 | Burgos | 27.7 | 28.6 | 16.8 | 0.37 | 0.81 | -0.13 | 0.44 | -0.50 |
| 10 | Cáceres | 32 | 30.1 | 22.1 | 0.34 | 0.86 | 1.34* | 0.52 | 1.01 |
| 11 | Cádiz | 28 | 28 | 21.7 | 0.29 | 0.29 | 0.49 | 0.00 | 0.20 |
| 12 | Castellón | 29.5 | 28.8 | 22.5 | 0.37 | 0.42 | 1.20 | 0.04 | 0.83 |
| 13 | Ciudad Real | 31.3 | 28.7 | 22 | 0.27 | 0.40 | 1.00 | 0.14 | 0.73 |
| 14 | Córdoba | 34.7 | 33.4 | 25.4 | 0.33 | 1.53* | 2.29* | 1.20 | 1.96 |
| 15 | Coruña, A | 24.3 | 23.5 | 18 | 0.35 | 0.33 | 0.78* | -0.02 | 0.43 |
| 16 | Cuenca | 29.4 | 27.2 | 19.6 | 0.62 | 0.29 | 0.58 | -0.33 | -0.03 |
| 17 | Girona | 29.1 | 28.6 | 21.1 | 0.66 | 0.81 | 1.23* | 0.16 | 0.57 |
| 18 | Granada | 31.2 | 31 | 22.6 | 0.42 | 0.12 | 0.83 | -0.30 | 0.41 |
| 19 | Guadalajara | 31.2 | 29.3 | 20 | 0.37 | -1.05 | 0.94 | -1.42 | 0.57 |
| 20 | Gipuzkoa | 27.2 | 26.6 | 16.6 | 0.24 | 0.86 | 0.20 | 0.62 | -0.05 |
| 21 | Huelva | 31.2 | 30.3 | 24.1 | 0.32 | 2.73* | 1.58* | 2.41 | 1.26 |
| 22 | Huesca | 30.6 | 29.5 | 19.8 | 0.49 | 0.58 | -1.18 | 0.09 | -1.67 |
| 23 | Jaén | 31.9 | 30.1 | 21.8 | 0.52 | 0.64 | 1.37* | 0.13 | 0.86 |
| 24 | León | 27.5 | 27.8 | 16.9 | 0.24 | -0.66 | 0.35 | -0.91 | 0.10 |
| 25 | Lleida | 31.6 | 29.9 | 21.7 | 0.26 | 1.15 | 0.40 | 0.89 | 0.14 |
| 26 | Rioja, La | 28.5 | 27.9 | 19.8 | 0.42 | 0.32 | 1.77 | -0.09 | 1.35 |
| 27 | Lugo | 28.2 | 27.6 | 17.8 | 0.19 | 0.07 | 1.99 | -0.12 | 1.80 |
| 28 | Madrid | 30.6 | 28.3 | 20.2 | 0.39 | 0.64 | 0.56 | 0.24 | 0.17 |
| 29 | Málaga | 30.3 | 31.1 | 23.5 | 0.32 | 1.08* | -0.19 | 0.76 | -0.51 |
| 30 | Murcia | 29.3 | 29.2 | 22.4 | 0.17 | 1.18* | 0.27 | 1.01 | 0.09 |
| 31 | Navarra | 29.7 | 28.1 | 18.6 | 0.44 | -0.56 | -0.16 | -1.00 | -0.60 |
| 32 | Ourense | 30.7 | 30.5 | 21.6 | 0.46 | -0.43 | 0.94 | -0.89 | 0.49 |
| 33 | Asturias | 25 | 24.5 | 17.5 | 0.18 | 0.59 | 0.36 | 0.40 | 0.17 |
| 34 | Palencia | 28.9 | 25.3 | 16.8 | 0.29 | -0.66 | 0.08 | -0.95 | -0.21 |
| 35 | Palmas, Las | 30.4 | 30.3 | 24.3 | 0.13 | -0.30 | 0.20 | -0.43 | 0.07 |
| 36 | Pontevedra | 25.5 | 25.5 | 19.1 | 0.10 | -0.30 | 0.73 | -0.40 | 0.63 |
| 37 | Salamanca | 27.8 | 27.1 | 19 | 0.61 | 0.49 | 0.86 | -0.13 | 0.24 |
| 38 | S.C. Tenerife | 31.3 | 30.5 | 24.7 | 0.23 | -0.45 | -1.26* | -0.68 | -1.48 |
| 39 | Cantabria | 27.5 | 26.3 | 18.7 | 0.28 | -0.61 | 0.34 | -0.88 | 0.06 |
| 40 | Segovia | 29.2 | 27 | 18.1 | 0.30 | -0.12 | -0.35 | -0.42 | -0.65 |
| 41 | Sevilla | 34.8 | 33 | 25.6 | 0.31 | 0.96* | 0.90* | 0.65 | 0.59 |
| 42 | Soria | 23 | 23.7 | 17.3 | 0.28 | 1.43 | 0.63 | 1.15 | 0.35 |
| 43 | Tarragona | 29.1 | 27.4 | 21.3 | 0.38 | 0.50 | 0.15 | 0.12 | -0.23 |
| 44 | Teruel | 30.1 | 29.4 | 19.9 | 0.42 | 0.64 | 0.88 | 0.22 | 0.46 |
| 45 | Toledo | 31.2 | 30.6 | 22.4 | 0.41 | 0.02 | 1.59* | -0.39 | 1.17 |
| 46 | Valencia | 30.1 | 29.5 | 22.9 | 0.31 | 0.14 | 0.77* | -0.17 | 0.46 |
| 47 | Valladolid | 27.8 | 26.4 | 17.8 | 0.19 | -0.10 | 0.84 | -0.29 | 0.65 |
| 48 | Bizkaia | 28.6 | 29.4 | 19.7 | 0.06 | -0.38 | -0.65 | -0.44 | -0.71 |
| 49 | Zamora | 28.7 | 28.0 | 19.2 | 0.49 | -0.36 | -0.19 | -0.85 | -0.68 |
| 50 | Zaragoza | 31.5 | 29.5 | 21.3 | 0.47 | 0.28 | 0.22 | -0.20 | -0.26 |
| (Spain) | | 29.4 | 28.7 | 20.6 | 0.34 | | | | |

5.2.2 Cálculo de la TMM

Se utilizaron datos de mortalidad diaria codificados por todas las causas de muerte (CIE X: A00-R99) y según el sexo ocurridas en cada provincia durante el periodo considerado. A partir de los datos diarios de mortalidad y población se calcularon las correspondientes tasas por 100.000 habitantes. Estos datos fueron facilitados por el Instituto Nacional de Estadística (INE) a través del convenio firmado para la cesión de microdatos.

En cuanto a los datos meteorológicos correspondientes a las temperaturas máximas diarias, se han utilizado los datos registrados de temperatura máxima diaria correspondientes a los observatorios de referencia de cada provincia. Estos datos fueron suministrados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

Se eliminaron los registros nulos de mortalidad y temperatura, así como las series anuales con no más de un 10% de registros válidos.

Para cada provincia y para cada año se elaboró un diagrama X_Y en el que el eje X corresponde a la temperatura máxima diaria distribuida en intervalos de 1 °C y el eje Y corresponde a la mortalidad diaria ocurrida en ese intervalo de temperatura. A continuación, se realizó un ajuste cuadrático o cúbico. El mínimo de estas funciones corresponde a la denominada TMM de ese año.

Este procedimiento se realizó para cada provincia y para hombres y mujeres. En cada caso, se ajustaron ambas curvas para establecer la regresión más adecuada y estadísticamente significativa (p-valor <0,05) (Follos et al., 2020).

5.2.2.1 Estimación de valores ausentes de TMM

En ausencia de un ajuste cuadrático o cúbico significativo, la TMM se estimó del siguiente modo. Se determinaron los días en los que la tasa de mortalidad diaria estaba por debajo del percentil 5 de la serie de tasas de mortalidad diaria ocurridas ese año. Se determinaron las temperaturas máximas diarias de los días a los que correspondían estas tasas. La media de estas temperaturas da el valor TMM de ese año.

La calidad de los valores de la TMM estimados mediante esta aproximación se agrupó en tres niveles. En primer lugar, se calcularon sólo para las provincias cuyos registros de TMAX estaban completos al menos en un 90%. En segundo lugar, se analizó la concordancia de los nuevos valores de las TMM con los calculados

numéricamente. Por último, se descartaron los que no eran biológicamente plausibles.

Tras validar los resultados, la metodología de imputación de los valores perdidos permitió aumentar en un 30% las observaciones válidas.

5.2.3 Determinación del nivel de adaptación en función de la pendiente de la línea que representa la evolución temporal del TMM

A partir de los valores anuales de TMM para cada provincia y para hombres y mujeres se realizó un ajuste lineal. La pendiente de esta línea representa el cambio anual en TMM. Multiplicando esta pendiente por diez se obtiene la variación de la TMM en °C/década. Utilizando el mismo procedimiento para TMAX se calculó su variación decenal. El resultado se expresó en grados/década (aumento de TMAX). El nivel de adaptación se obtuvo de la diferencia entre la variación de la TMM y el aumento de TMAX. La adaptación existe cuando la variación de la TMM es mayor que el aumento de TMAX, es decir, valores positivos del nivel de adaptación.

Los valores anuales de la TMM se calcularon para hombres y mujeres en cada provincia (Tabla 8) de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

Siguiendo la metodología descrita, se calcularon las TMM anuales de hombres y de mujeres en cada provincia (tabla 8). Luego se determinaron las diferencias estadísticas (valor de $p < 0,05$) utilizando un modelo bivariado.

Tabla 8. Regresión lineal multinivel de adaptación por provincias en función del sexo.

| MMT | Coef. | Std. Err. | z | P>z | [95% conf. interval] |
|------|--------|-----------|------|-------|----------------------|
| Year | 0.047 | 0.007 | 6.35 | 0.000 | 0.033 0.062 |
| Sex | -0.784 | 0.155 | 5.06 | 0.000 | -1.088 -0.481 |

En este modelo, la variable dependiente fue la TMM y las variables independientes fueron año y sexo. Además, se utilizó el modo de regresión lineal multinivel (tabla 9) con el nivel de adaptación como variable dependiente y el sexo como variable independiente.

Tabla 9. Regresión lineal multinivel de adaptación por provincias en función del sexo.

| ADAPTATION Level | Coef. | Std. Err. | z | P>z | [95% conf. interval] |
|------------------|-------|-----------|------|-------|----------------------|
| Sex | 0.047 | 0.007 | 6.35 | 0.000 | 0.0328 0.062 |

Para el tratamiento y análisis de los datos se utilizaron el software R versión 4.0.2, STATA BE-Basic Edition versión 17, IBM SPSS Statistics versión 27 y Excel (con el editor Power Query) correspondiente al Microsoft Office Profesional Plus 2019.

5.3 Resultados

Debido a desfases en la serie de mortalidad diaria o T_{max} de los 3.600 valores posibles de TMM, se calculó un total de 2.662 TMM, de los cuales 1.650 (62,0%) corresponden a un ajuste cúbico; 860 (32,3%) a estimación y 152 (5,7%) a ajuste cuadrático.

En la tabla 7 se muestran los valores de las TMM a nivel provincial para hombres y mujeres durante el período 1983-2018 (°C), la temperatura máxima diaria promedio (TMAX) (°C), la tasa de variación de la temperatura máxima diaria (°C /década) y la tasa de variación de las TMM para hombres y mujeres. La última columna muestra el nivel de adaptación a altas temperaturas para hombres y mujeres (°C/década), considerando que valores positivos indican que las TMM han aumentado más rápidamente que el TMAX, es decir, ha habido adaptación. Los valores negativos significan que las TMM han aumentado menos que la TMAX, por lo que no ha habido adaptación. La última fila de la tabla muestra los valores medios para toda España. La temperatura máxima media diaria en España fue de 20,6 °C, con una tendencia creciente a lo largo del tiempo de 0,34 (°C/década).

A nivel provincial los valores de las TMM fueron mayores para los hombres en el 86 por ciento de las provincias, con un valor promedio para todo el país de 29,4 °C en el caso de los hombres y 28,7 °C en el caso de las mujeres. Sin embargo, las tasas de variación de las TMM fueron mayores en el caso de las mujeres que en el de los hombres, ya que en el 62 por ciento de las provincias españolas esta tasa fue mayor en las mujeres. Para conocer si estas diferencias eran estadísticamente significativas se desarrollaron modelos bivariados para las TMM, incluyendo las variables año y sexo, como se muestra en la tabla 8. Los resultados indican que la variación anual de las TMM fue significativa al igual que las diferencias encontradas por sexo.

La figura 12 muestra las líneas de regresión de las TMM para el conjunto de España. Se puede observar que la tasa de crecimiento de la TMM para los hombres fue de 0,39 °C/década, mientras que para las mujeres fue de 0,53 °C/década. Según la Tabla 1, la TMAX ha crecido durante el período estudiado a un ritmo de 0,34 °C/década. Así, se puede decir que ambos sexos se han adaptado a las altas temperaturas, y que esta adaptación ha sido mucho más clara en el caso de las mujeres.

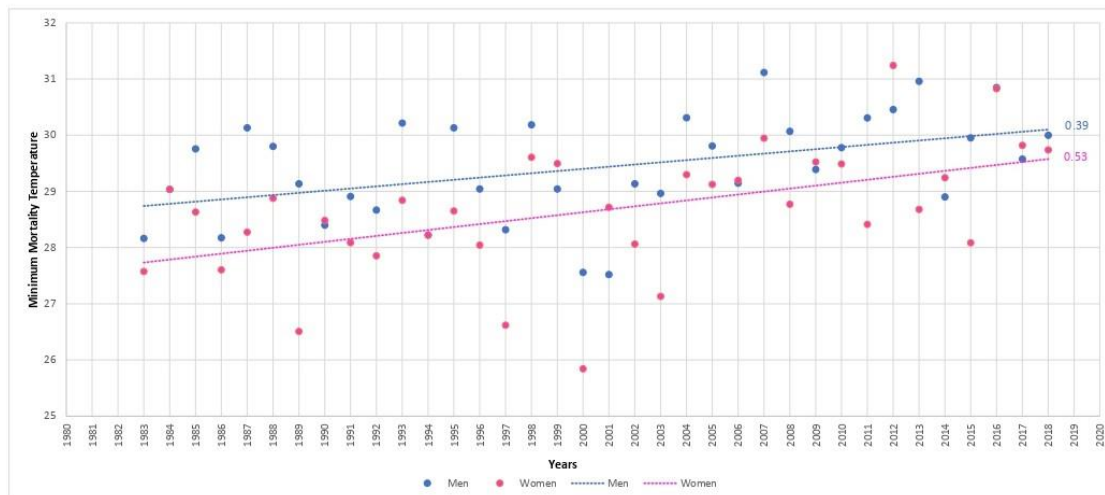


Figura 12. Evolución de la temperatura mínima de mortalidad (TMM) por años de hombres y mujeres en España (1983-2018).

A nivel provincial, la tabla 7 muestra que el 68 por ciento de las provincias evidencia adaptación entre las mujeres, en comparación con el 52 por ciento entre los hombres. En el 40 por ciento de las provincias ha habido adaptación tanto entre hombres como entre mujeres. Los valores de la variable adaptación por sexo muestran diferencias estadísticamente significativas, como se puede comprobar en los resultados de la regresión lineal multinivel que aparecen en la tabla 9.

La figura 13 muestra varios ejemplos de las líneas de regresión y la tasa de crecimiento del TMM a lo largo del período 1983-2018 en las provincias de Córdoba, Barcelona y A Coruña.

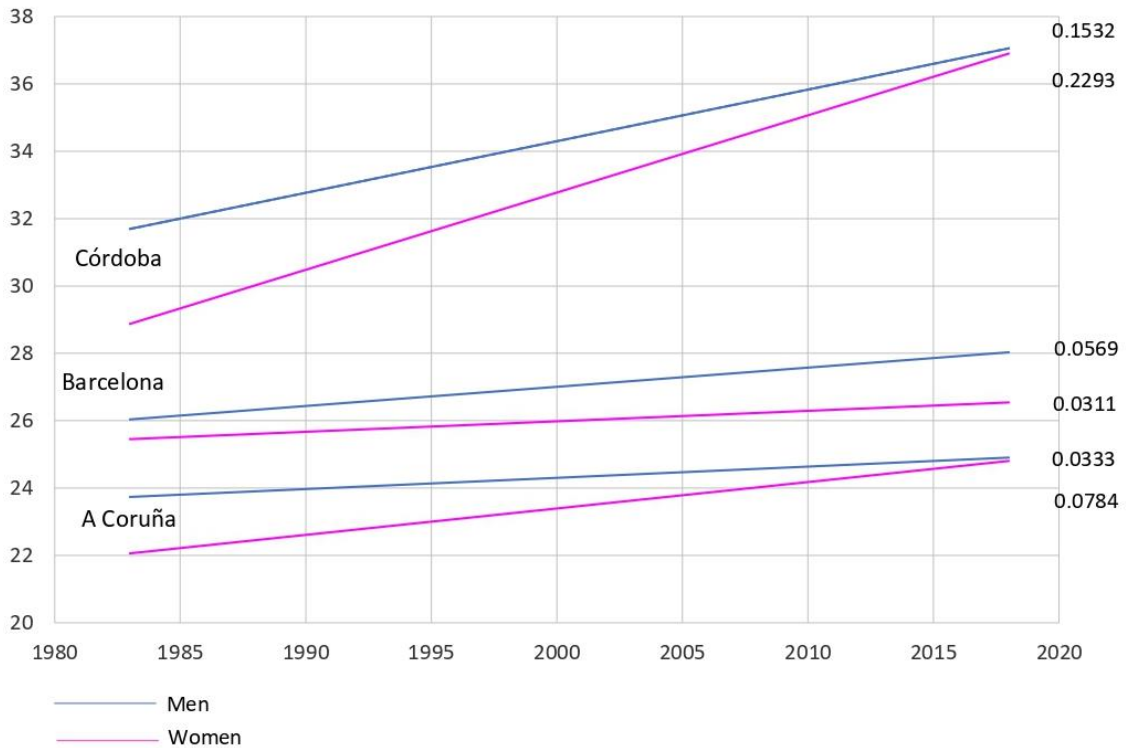


Figura 13. Tendencia de la temperatura de mínima mortalidad (TMM) de las provincias de A Coruña, Barcelona y Córdoba de hombres y mujeres en promedio móvil (1983-2018).

Las figuras 14 y 15 muestran un diagrama de dispersión en el que el eje x muestra la tasa de variación de la temperatura máxima diaria y el eje y muestra la tasa de aumento de las TMM. La zona sombreada muestra aquellos valores para los cuales la tasa de variación de las TMM supera el aumento observado en TMAX; tales valores significan adaptación. La figura 14 representa a hombres y la figura 15 representa a mujeres. Se puede observar en ambos gráficos que existe una gran heterogeneidad geográfica a nivel provincial, y un mayor número de provincias

evidencian adaptación de las mujeres, en comparación con los hombres.

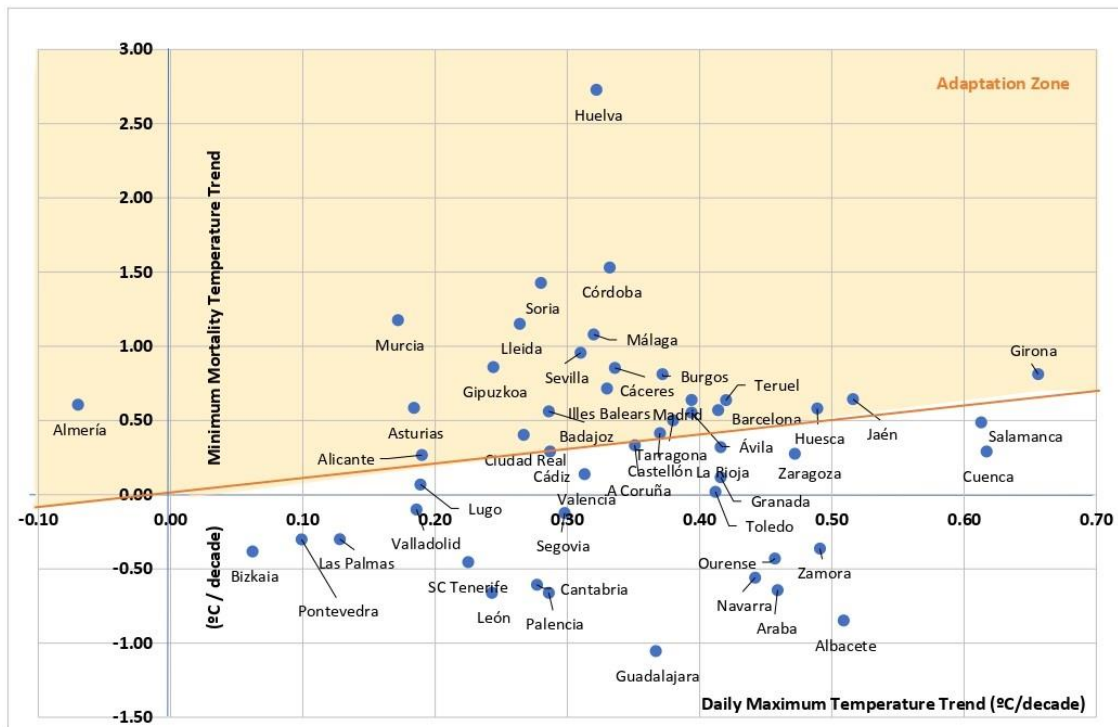


Figura 14. Diagrama de dispersión de la Temperatura Mínima de Mortalidad (TMM) con respecto a las variaciones de la temperatura máxima diaria de hombres en España (1983-2018).

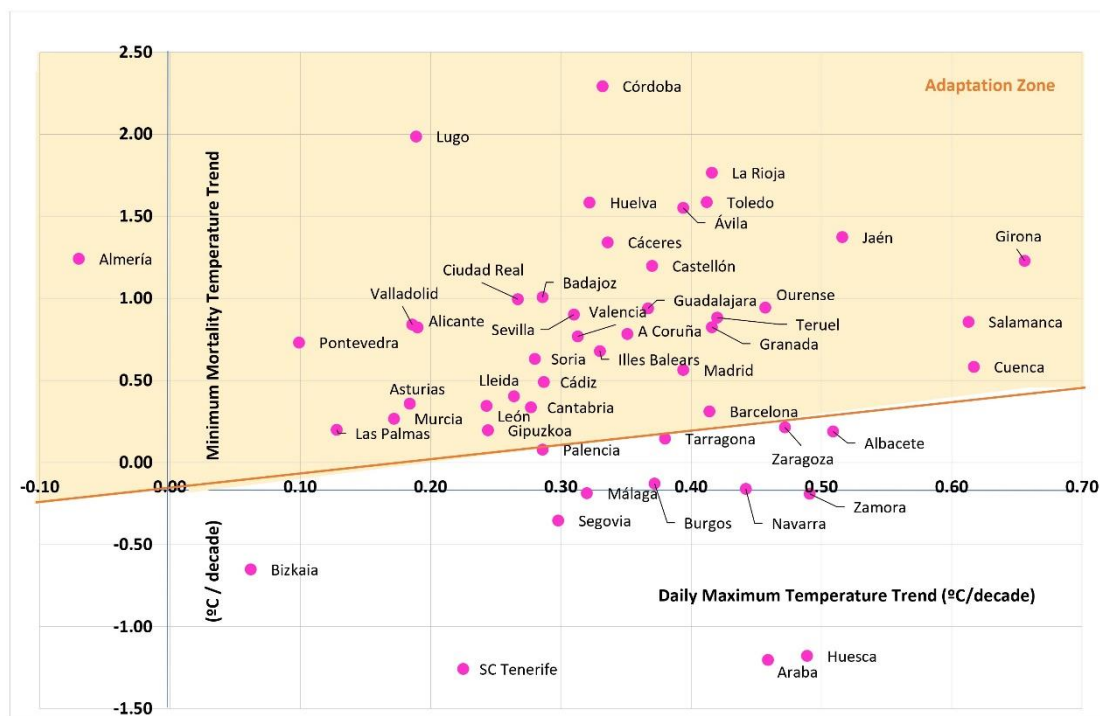


Figura 15. Diagrama de dispersión de la Temperatura Mínima de Mortalidad (TMM) con respecto a las variaciones de la temperatura máxima diaria de mujeres en España (1983-2018).

5.4 Discusión

En esta investigación hemos estudiado la evolución de las TMM entre 1983 y 2018 y el nivel de adaptación según el género de la población en cada una de las provincias en España. Estudios previos han analizado la adaptación a las TMM en las diferentes provincias de España, sin ahondar en diferencias de género u otras variables socioeconómicas (Follos et al., 2021). En el presente estudio, se incluyó un mayor número de valores de las TMM que en el caso de Follos et al. para la población general. Esta inclusión de más valores de las TMM es la razón por la que las tasas de cambio de las TMM aquí obtenidas -tanto en el caso de hombres (0,39 °C/década) como de mujeres (0,53 °C/década)- son ligeramente diferentes a las obtenidas para la población general, que estableció este valor en 0,64 °C/década. Por otro lado, existen pocos estudios a nivel mundial que evalúen la vulnerabilidad al cambio climático en función del género (McCall et al., 2018). Los resultados de nuestro estudio muestran información relevante relacionada con la adaptación de la población española al aumento de temperatura ocurrido en los últimos 30 años. Por ello, se destacan los siguientes hallazgos:

5.4.1 Las mujeres son más vulnerables al calor

Como se ha mostrado anteriormente, el promedio de las TMM en el conjunto de España fue mayor entre los hombres que entre las mujeres (hombres: 29,4 °C; mujeres: 28,7 °C), y esto ocurrió en el 86 por ciento de las provincias.

Este hallazgo es consistente con varios estudios previos realizados a nivel regional y nacional.

Por ejemplo, varios estudios realizados en España encontraron mayores valores de las TMM en hombres al analizar la mortalidad cardiovascular (Achebak et al., 2019) y la mortalidad por causas circulatorias y respiratorias (Achebak et al., 2018). Por otro lado, algunos estudios realizados en Madrid han demostrado que las mujeres presentan mayor riesgo, tanto de muerte como de ingresos hospitalarios por causas naturales durante una ola de calor (Díaz, López, et al., 2018; García-Herrera et al., 2005). Además, en Barcelona las mujeres presentaban un mayor riesgo relativo de mortalidad en comparación con los hombres con temperaturas extremas en verano

(Ingole et al., 2020). Otros dos estudios regionales realizados en Cantabria y Galicia (norte de España) encontraron una mayor sensibilidad a las altas temperaturas entre las mujeres (DeCastro et al., 2011; Inés et al., 2011). Estudios de investigación realizados fuera de España también han informado de una mayor mortalidad relacionada con el calor entre las mujeres que entre los hombres (Folkerts et al., 2021; Kuchcik, 2021; Son et al., 2011; Stafoggia et al., 2006).

Existen diversos mecanismos fisiológicos que podrían explicar esta mayor vulnerabilidad a las altas temperaturas entre las mujeres, entre ellos una menor evaporación del calor a través del sudor, una mayor presencia de tejido adiposo (grasa corporal) y una disminución de la perfusión sanguínea periférica (Gagnon & Kenny, 2012; Kaciuba-Uscilko & Grucza, 2001). Esta vulnerabilidad aumenta después de la menopausia, ya que la falta de producción de estrógenos dificulta la adaptación a aumentos bruscos de temperatura (Charkoudian et al., 2017), dado que los estrógenos podrían favorecer la activación de centros termorreguladores que contribuyen a la disipación del calor (Székely & Garai, 2018). Además, para que las mujeres alcancen la misma adaptación fisiológica al calor que los hombres, requieren mayor intensidad, frecuencia y duración de la exposición al calor (Wickham et al., 2020).

También es importante señalar que otras investigaciones no han encontrado diferencias significativas que identifiquen qué sexo sería más vulnerable. Este es el caso de una revisión sistemática y metaanálisis que evaluó la vulnerabilidad de las mujeres al calor y cuyos autores observaron un menor riesgo entre los hombres. Sin embargo, estos resultados no fueron significativos (Benmarhnia et al., 2015a).

5.4.2 Hay mayor adaptación al calor entre las mujeres que entre los hombres

Según nuestros resultados, durante el período de estudio, las TMM entre las mujeres creció a un ritmo más rápido que entre los hombres (0,53 °C/década frente a 0,39 °C/década). Este resultado fue similar en el 66 por ciento de las provincias.

Aunque existen pocos estudios relacionados con la adaptación al calor por sexo, existen algunos estudios que coinciden con los resultados aquí encontrados.

Similares hallazgos se han encontrado previamente en España en las provincias de Sevilla y Madrid (Follos et al., 2020). Por otro lado, un estudio realizado en Kuwait sugirió que los hombres son más vulnerables durante una ola de calor y tienen peor

adaptación a las variaciones de temperatura que las mujeres (Alahmad et al., 2020). Otros estudios indican que los factores locales pueden desempeñar un papel a la hora de explicar los diferentes niveles de adaptación de los sexos (Bell et al., 2008).

5.4.3 Hay otros factores importantes, como la gran variabilidad geográfica

Los resultados mostrados en la figura 14, figura 15 y Tabla 7 indican que existe una gran heterogeneidad geográfica en la adaptación de los sexos, como se ha demostrado a nivel de toda la población (Follos et al., 2021). En términos generales, buena parte de las provincias situadas en el Sur y Este de la Península Mediterránea (zona mediterránea) muestran una mayor adaptación que las situadas en el centro del país, el Norte y Canarias. Es decir, aquellas provincias que tienden a experimentar temperaturas más altas muestran una mayor adaptación. Este patrón podría estar relacionado con los hallazgos de estudios de fisiología humana que se centran en la aclimatación al calor (Tyler et al., 2016). También podría explicarse por la adaptación tecnológica, principalmente siendo mayor la prevalencia de equipos de aire acondicionado en las regiones del sur de España que tienen más aire acondicionado que en el norte (Instituto Nacional de Estadística, 2008). Las provincias con menor nivel de adaptación en España son Guadalajara, Araba y Albacete para los hombres y Tenerife, Araba y Huesca para las mujeres.

Los estudios futuros deberían investigar las cuestiones sociodemográficas que podrían implicar una mayor vulnerabilidad al cambio climático y al calentamiento global como la migración, la disrupción urbano-rural, el nivel socioeconómico (Gouveia et al., 2003) y la edad (Benmarhnia et al., 2015a; van Steen et al., 2019). Esto podría aportar claridad a algunos de los hallazgos observados en este estudio, donde se demostró que en algunas provincias existe un mayor nivel de adaptación entre los hombres, a pesar de que en términos generales las mujeres parecen adaptarse mucho mejor al aumento de las temperaturas globales.

Asimismo, se deben abordar estudios que incluyan la perspectiva de género que promueva la igualdad de género y el empoderamiento de las mujeres, dado que Naciones Unidas promueve tanto los Objetivos de Desarrollo Sostenible como la acción climática (United Nations, 2020; Desai & Zhang, 2021). En términos de calentamiento global, los seres humanos utilizan diferentes mecanismos de adaptación para abordar los aumentos de temperatura. Estos mecanismos se pueden agrupar según el sexo y el género. El sexo se relaciona con las características biológicas y fisiológicas de los seres humanos, mientras que el género se relaciona

con características sociales constructivas, como roles, comportamientos, atributos y actividades que se consideran relacionados con ser hombre o mujer. Esta es una diferencia importante, porque el sexo está determinado por diferencias biológicas, mientras que el género está determinado por la sociedad (Charkoudian & Stachenfeld, 2014). Sin embargo, las diferencias en mortalidad y enfermedad pueden deberse en parte a diferencias biológicas de sexo. Por el contrario, las explicaciones de las diferencias biológicas son limitadas a la hora de explicar los diferentes resultados de salud por sexo. Estos podrían explicarse por el fenómeno social del género (Manandhar et al., 2018). Por tanto, esto nos permite establecer dos grandes grupos de mecanismos de adaptación: los que están determinados por el sexo (adaptación fisiológica) y los que están determinados por el género (características conductuales, culturales y constructivas).

La adaptación fisiológica o aclimatación se refiere a mecanismos relacionados con el cuerpo humano, por ejemplo, la producción de sudor (Mcgregor et al., 2019). La adaptación conductual está determinada por la forma en que nos comportamos, por ejemplo, la forma en que nos vestimos (Nakagawa & Nakaya, 2021; Weitensfelder & Moshhammer, 2020) o la forma en que comemos. También existe una adaptación cultural, por ejemplo, la forma en que organizamos el trabajo o el descanso. Finalmente, la adaptación constructiva se refiere a aspectos como la vivienda como medio de protección (Weitensfelder & Moshhammer, 2020). La adaptación ambiental y conductual en los edificios, por ejemplo, los lugares de trabajo difieren según el peso, la edad y el sexo de los ocupantes (Indraganti et al., 2015). En general, las mujeres prefieren una temperatura ambiente más alta en casa y en el lugar de trabajo que los hombres. Esta diferencia en aceptabilidad térmica y confort térmico podría explicarse porque las regulaciones climáticas interiores se basan en valores estándar en hombres sin tener en cuenta a las mujeres en el diseño de modelos teóricos (Kingma & van Marken Lichtenbelt, 2015).

Los resultados aquí encontrados relacionados con la adaptación al calor relacionados con el género pueden estar modulados principalmente por mecanismos sociales que generan diferencias entre hombres y mujeres, como las diferencias socioeconómicas, el acceso a los recursos productivos (Chanana-Nag & Aggarwal, 2020) y el acceso a la tecnología e información. Por ejemplo, en Pakistán las mujeres pobres no tienen acceso a la televisión ni a la radio y dependen de los hombres para estar informadas sobre los anuncios de servicios públicos (Susan Solomon et al., 2021).

5.4.4 Limitaciones del estudio

Este estudio presenta algunas limitaciones. En primer lugar, las fuentes de datos primarios utilizadas no fueron completamente representativas de todos los años y provincias, ya que había escasa información disponible para determinadas provincias. Aunque no fue posible analizar el número total de registros por razones metodológicas mencionadas anteriormente, el uso de una metodología combinada en el cálculo de las TMM resultó en un aumento de datos válidos y una mayor representatividad de los resultados en comparación con estudios anteriores (Follos et al., 2021). La ausencia del 26 por ciento de los registros influyó, en algunos casos, en la evolución de las TMM, y concretamente en que no mostró diferencias significativas en un mayor número de provincias.

En segundo lugar, dado que se trata de un estudio de series temporales ecológicas, los resultados no pueden extrapolarse a nivel individual (Morgenstern, 1995). Además, dado que utilizamos datos a nivel provincial, no pudimos conocer el impacto potencial de las TMM relacionado con el gradiente urbano-rural, que varía según las diferencias demográficas, sociales y culturales en cada provincia. Por lo tanto, se deben explorar con mayor profundidad las características a nivel local para identificar las estrategias de adaptación más adecuadas (Park et al., 2019), teniendo en cuenta la gran heterogeneidad encontrada en estudios previos sobre el impacto del calor en las poblaciones a nivel nacional (Follos et al., 2021; Navas-Martín, López-Bueno, Díaz, et al., 2022) e incluso a nivel municipal (López-Bueno et al., 2020).

Finalmente, no existe una metodología universal para relacionar la mortalidad atribuible a la temperatura. Muchos estudios han abordado la sensibilidad climática de la salud y su impacto potencial en diferentes partes del mundo y con diferentes métodos (Baccini et al., 2011; Błażejczyk et al., 2017; Hayhoe et al., 2010; Honda et al., 2014; Laschewski & Jendritzky, 2002). Aunque los resultados encontrados respecto a la vulnerabilidad de las mujeres al calor son consistentes con otros estudios realizados en España y otros países. A pesar de estas diferencias metodológicas al relacionar la mortalidad con la temperatura, se recomienda el uso de la TMM como indicador para determinar el nivel de adaptación de una población determinada.

5.5 Conclusiones

Los valores de las TMM fueron mayores en hombres que en mujeres, lo que indica una mayor vulnerabilidad de las mujeres a las altas temperaturas. Aunque las TMM

aumentó en ambos sexos con el tiempo, la tasa de aumento de la TMM fue mayor en las mujeres que en los hombres. Por tanto, podemos decir que las mujeres de las provincias españolas se han adaptado mejor al calor que los hombres. Las diferencias encontradas fueron estadísticamente significativas.

Por otro lado, la estimación de los valores faltantes para las TMM permitió una mayor representatividad en el análisis, utilizando indicadores más precisos.

Finalmente, debido a las diferencias encontradas en los niveles de adaptación en las distintas provincias, se necesitan estudios a nivel local para conocer qué factores son claves para reducir las desigualdades sociales en salud, y que por tanto pueden permitir la aplicación de medidas de adaptación que incluyan una perspectiva de género.

Capítulo 6. Edad

Heat Adaptation among the Elderly in Spain (1983–2018)

Miguel Ángel Navas-Martín^{1,2}, José Antonio López-Bueno¹, María Soledad Ascaso-Sánchez¹, Fernando Follos³, José Manuel Vellón³, Isidro Juan Mirón⁴, María Yolanda Luna⁵, Gerardo Sánchez-Martínez⁶, Cristina Linares¹ and Julio Díaz¹

¹National School of Public Health, Carlos III Institute of Health, Madrid, Spain

²Doctorate program in Biomedical Sciences and Public Health, National University of Distance Education, Madrid, Spain

³Tdot Soluciones Sostenibles, SL. Ferrol. A Coruña, Spain

⁴Regional Health Authority of Castile La Mancha, Toledo, Spain

⁵State Meteorological Agency, Madrid, Spain

⁶The UNEP DTU Partnership, Copenhagen, Denmark

| | |
|------------------------------|---|
| Revista: | International Journal of Environmental Research and Public Health |
| Facto de impacto (JCR): | 4.614 |
| Percentil de la publicación: | Cuartil 1 |
| Fecha de la publicación: | Enero 2023 |
| DOI: | 10.3390/ijerph20021314 |
| PMID: | 36674069 |

6 Edad

6.1 Introducción

Según el informe del IPCC se prevé que se producirá un incremento del calentamiento global de 1,5°C si sigue la tendencia actual de las actividades humanas (IPCC, 2022b). Además, de los riesgos de mortalidad y morbilidad asociado al aumento de las temperaturas, se prevé que aumentará a medida que avanza el cambio climático (Ebi et al., 2021). También, conllevará que la mayoría de las necesidades de adaptación no alcanzaran el ritmo de crecimiento que se estima, siendo por tanto la capacidad de adaptación limitada (IPCC, 2022b).

Las poblaciones con alta vulnerabilidad y exposición al calor, en particular las personas mayores de 65 años, los pacientes crónicos y los niños (Benmarhnia et al., 2015b; Ebi et al., 2021; J. Yang et al., 2021b), deben de priorizar las medidas de adaptación (Estoque et al., 2020). Si bien, existe poca información de cómo se está produciendo la adaptación al cambio climático por parte de la población (Folkerts et al., 2020b).

Un indicador que nos permite medir si la población se está adaptando al calor es la Temperatura Mínima de Mortalidad (TMM) a través de su evolución a lo largo del tiempo (Folkerts et al., 2020b; López-Bueno, Díaz, et al., 2021; Yin et al., 2019). La TMM se caracteriza por relacionar la temperatura con la mortalidad (Follos et al., 2020, 2021; López-Bueno, Díaz, et al., 2021; Navas-Martín, López-Bueno, Díaz, et al., 2022). Suele ser representada de forma gráfica en forma de U, V o J (Arbuthnott et al., 2018; Pascal et al., 2018; Pyrgou & Santamouris, 2020; Rai et al., 2019; Song et al., 2020; Yin et al., 2019).

Para reducir el impacto del calor, algunos gobiernos han implantados planes de acción para la salud relacionados con el calor (The Lancet, 2021). Los planes de acción incluyen sistemas de alerta para reducir la vulnerabilidad al calor (Ebi et al., 2021). En España, en 2004 se creó el Plan Nacional de Actuaciones Preventivas de los Efectos del Exceso de Temperaturas Sobre la Salud como instrumento para prevención de los efectos de las altas temperaturas en la salud (Gobierno de España, 2021).

La mejor forma para saber si los planes de acción están funcionando, es conocer si la mortalidad por los efectos del calor está disminuyendo. Pero la forma de evaluar la mortalidad difiere de los lugares y del tipo de población, unido además el uso de diferentes métodos, lo que dificulta la comparación e interpretación de los resultados (Follos et al., 2020; Hanna & Tait, 2015). Por ello, el uso de la evolución temporal de las TMM es clave para evaluar la efectividad de estos planes (Follos et al., 2020).

Son poco los estudios que analizan el impacto de la adaptación con el cambio climático en la población (Turek-Hankins et al., 2021). También, se desconoce la capacidad de adaptación a la exposición al calor a largo plazo del ser humano (Folkerts et al., 2020b). Además, entre los grupos más vulnerables a los efectos al calor, sobresalen las personas ancianas (Benmarhnia et al., 2015b). Teniendo en cuenta que las TMM podrían verse alterado por el envejecimiento de la población humana (Åström et al., 2016).

El envejecimiento afecta a la respuesta térmica de las personas, pues pierden la capacidad de termorregulación, de sudoración y sensación de sed. Conforme avanza el envejecimiento, aumenta el riesgo de vulnerabilidad siendo mayor a partir de los 65 años (Folkerts et al., 2020b; WHO Regional Office for Europe, 2021).

Se propone a través de este estudio, conocer la adaptación de las personas ancianas (≥ 65 años) entre 1983 a 2018 mediante el análisis de las TMM. Además de conocer las diferencias con respecto con la población total. Para tal propósito, se realizó un estudio ecológico longitudinal retrospectivo de series temporales, utilizando los datos de mortalidad diaria y temperatura máxima diaria en el mismo periodo del estudio.

6.2. Material y método

Se realizó un estudio ecológico longitudinal retrospectivo de series temporales de 1983 a 2018 de la población ≥ 65 años de las provincias españolas.

Para el cálculo de los datos de mortalidad diaria, se utilizaron los microdatos proporcionados por el INE a través de un acuerdo institucional. Se utilizaron los datos de mortalidad diaria codificadas por todas las causas de mortalidad de municipios mayores de 10.000 habitantes por provincias por personas mayores del periodo de estudio.

Para el cálculo de los datos de temperatura, se utilizaron los datos registrados en los observatorios de referencia de cada provincia proporcionados por la AEMET del periodo de estudio.

Se descartaron los registros que tuvieran ausencia de datos, tanto en mortalidad cómo en temperatura. Asimismo, se eliminaron los años de las series temporales de las provincias que le faltaran más del 10% de registros de cada año.

6.2.1 Cálculo de las TMM

Para el cálculo de las TMM se utilizó la metodología determinista utilizada en (Follos et al., 2020, 2021; Navas-Martín, López-Bueno, Ascaso-Sánchez, Sarmiento-Suárez, Follos, Vellón, Luna Rico, et al., 2022; Navas-Martín, López-Bueno, Díaz, et al., 2022). Para ello, se calculó en primer lugar el promedio de mortalidad agrupados en

intervalos entre dos grados en dos grados para cada provincia por cada año de la serie de la población de personas ancianas. A continuación, se realizó un ajuste cúbico o cuadrático a través de una regresión de la mortalidad agregada con la temperatura, seleccionando aquellas TMM que fueran significativas (p -valor <0.05). En los casos de que no fueran significativas, se calcularon la estimación de TMM para complementar los cálculos según la metodología (M. Á. Navas-Martín, López-Bueno, Ascaso-Sánchez, Sarmiento-Suárez, Follos, Vellón, Luna Rico, et al., 2022). A través de esta nueva metodología permitió complementar el cálculo de las TMM utilizando el cálculo del promedio de la temperatura máxima diaria observada bajo el percentil 5 de mortalidad. Finalmente, en caso de que no se obtuvieron las TMM por estimación, se desestimaron. Se calcularon las TMM de cada año y cada provincia.

Para conocer la evolución de la TMM a lo largo del tiempo de la población anciana con respecto a la población total (Follos et al., 2021), se calcularon regresiones lineales de la TMM para todo los años (Figura 16), el periodo entre 1983-2003 (Figura 17) que se corresponden a los años del estudio que no existía plan de prevención de salud pública y el periodo de tiempo 2004-2018 (Figura 18) que es cuando se instaura el primer plan de prevención de salud pública del calor en España de actuaciones preventivas de los efectos del exceso de temperaturas sobre la salud.

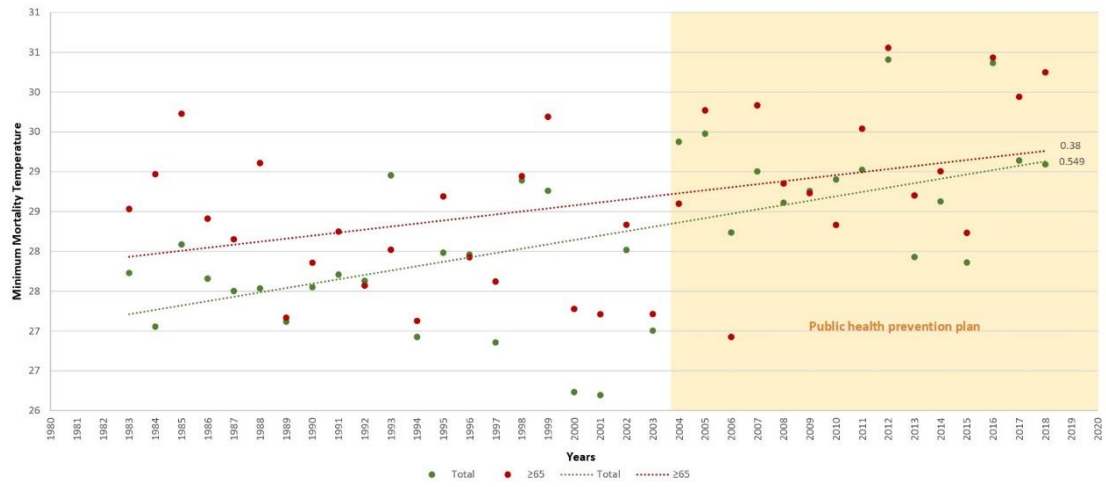


Figura 16. Tendencia de la temperatura mínima de mortalidad (TMM) por año para los grupos de edad ≥ 65 años y la población total en España (1983-2018).

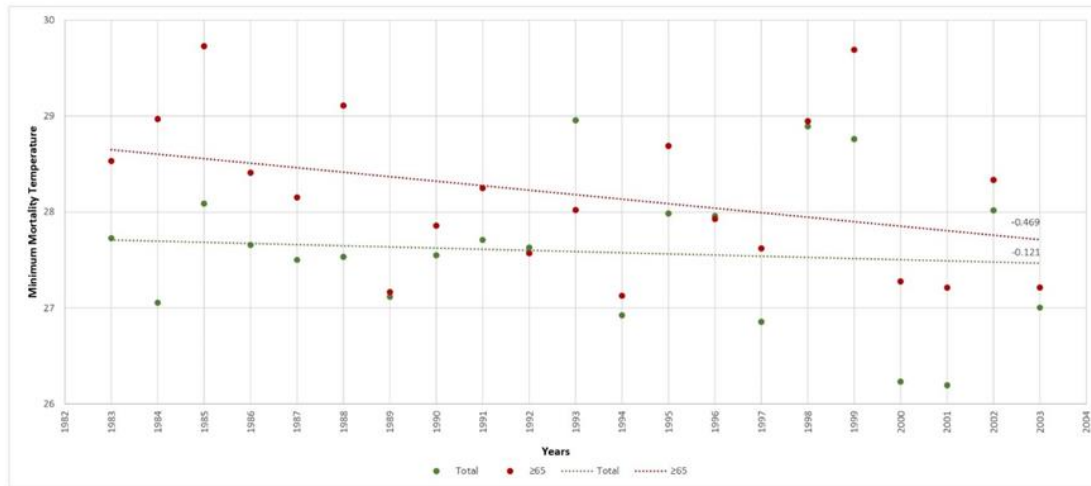


Figura 17. Evolución de la temperatura mínima de mortalidad (TMM) por año para los grupos de edad ≥ 65 años y la población total en España (1983-2003).

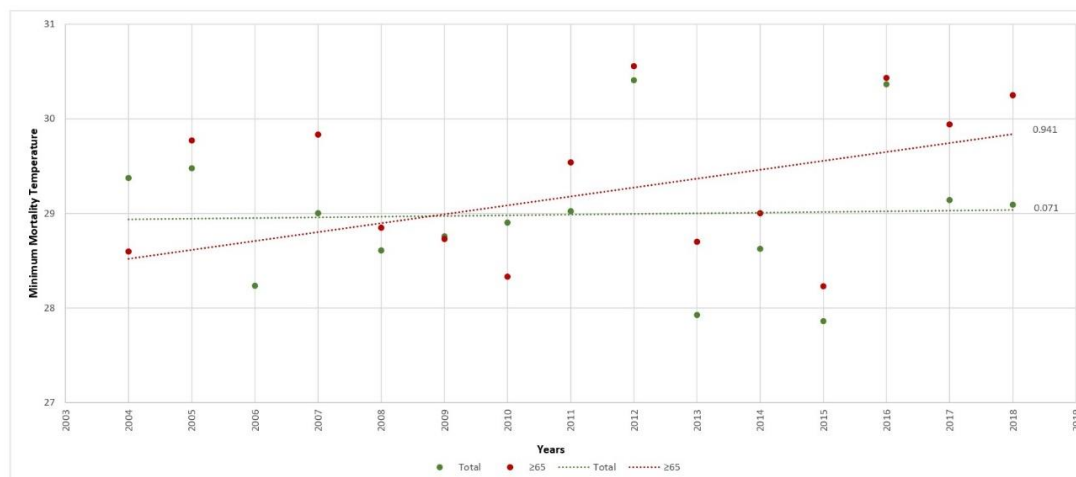


Figura 18. Tendencia de la temperatura mínima de mortalidad (TMM) por año para los grupos de edad ≥ 65 años y la población total en España (2004-2018).

6.2.2 Determinación del nivel de adaptación

Para determinar el nivel de adaptación de la población anciana, se calcularon las variaciones de la temperatura máxima diaria (TMAX Rise) y de las variaciones de las TMM (MMT Variation) expresadas en $^{\circ}\text{C}/\text{década}$ mediante regresiones de ajuste lineal.

A continuación, se estableció el nivel de adaptación (Adaptation level) cómo la diferencia entre MMT Variation y TMAX Rise.

Esto permitió obtener (Tabla 10) las variaciones de la temperatura máxima diaria, la TMM y los niveles de adaptación del grupo de edad de población anciana.

Tabla 10. Relación de variables, por provincia, entre temperatura mínima de mortalidad (TMM) en personas de 65 años y más, temperatura máxima diaria (TMAX), TMAX media, incremento por década de la TMAX, variaciones en la TMM y niveles de adaptación. *valor $p < 0,05$.

| Code | Name | MMT | Mean (°C) | TMAX Rise (°C/decade) | MMT Variation (°C/decade) | Adaptation level (MMT Variation-Tmax rise) |
|------|----------------|------|-----------|-----------------------|---------------------------|--|
| 1 | Araba | 28.2 | 17.4 | 0.459 | -0.299 | -0.758 |
| 2 | Albacete | 30.4 | 21 | 0.509 | 0.337 | -0.172 |
| 3 | Alicante | 30.2 | 23.5 | 0.190 | 0.817 | 0.627* |
| 4 | Almería | 31.3 | 23.4 | -0.070 | 0.531 | 0.601 |
| 5 | Avila | 23.1 | 17.2 | 0.394 | -0.737 | -1.131 |
| 6 | Badajoz | 32.8 | 24 | 0.286 | 0.490 | 0.204 |
| 7 | Balearic Isles | 28.6 | 22 | 0.330 | 1.449 | 1.119* |
| 8 | Barcelona | 26.9 | 20.6 | 0.414 | 0.483 | 0.069* |
| 9 | Burgos | 27.4 | 16.8 | 0.372 | 1.611 | 1.239 |
| 10 | Cáceres | 29.7 | 22.1 | 0.336 | 0.623 | 0.287 |
| 11 | Cadiz | 28.2 | 21.7 | 0.287 | -0.230 | -0.517 |
| 12 | Castellón | 29.9 | 22.5 | 0.370 | 0.757 | 0.387 |
| 13 | Ciudad Real | 29.5 | 22 | 0.267 | 0.341 | 0.074 |
| 14 | Cordoba | 34.3 | 25.4 | 0.332 | 1.887 | 1.555* |
| 15 | Corunna | 24.7 | 18 | 0.351 | 0.832 | 0.481 |
| 16 | Cuenca | 26.1 | 19.6 | 0.617 | -0.245 | -0.862 |
| 17 | Girona | 29.5 | 21.1 | 0.656 | 0.980 | 0.324 |
| 18 | Granada | 31.7 | 22.6 | 0.416 | 1.018 | 0.602* |
| 19 | Guadalajara | 26.4 | 20.5 | 0.367 | -1.054 | -1.421 |
| 20 | Gipuzkoa | 26.3 | 16.6 | 0.244 | 0.328 | 0.084 |
| 21 | Huelva | 30.4 | 24.1 | 0.322 | 0.916 | 0.594 |
| 22 | Huesca | 27.8 | 19.8 | 0.489 | 0.442 | -0.047 |
| 23 | Jaén | 30.2 | 21.8 | 0.516 | 1.299 | 0.783* |
| 24 | León | 26.4 | 16.9 | 0.243 | 0.516 | 0.273 |
| 25 | Lleida | 30.3 | 21.7 | 0.264 | 0.499 | 0.235 |
| 26 | Rioja, La | 27.5 | 19.8 | 0.416 | 0.091 | -0.325 |
| 27 | Lugo | 27.9 | 17.8 | 0.189 | 1.060 | 0.871 |

| | | | | | | |
|---------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 28 | Madrid | 29.2 | 20.2 | 0.394 | 0.816 | 0.422* |
| 29 | Malaga | 31.5 | 23.5 | 0.320 | 0.327 | 0.007 |
| 30 | Murcia | 30.3 | 22.4 | 0.172 | 1.510 | 1.338* |
| 31 | Navarre | 27.2 | 18.6 | 0.442 | -0.344 | -0.786 |
| 32 | Ourense | 31.4 | 21.6 | 0.457 | 0.973 | 0.516 |
| 33 | Asturias | 25.3 | 17.5 | 0.184 | -0.047 | -0.231 |
| 34 | Palencia | 24.0 | 16.8 | 0.286 | 1.953 | 1.667 |
| 35 | Palmas, Las | 29.4 | 24.3 | 0.128 | -0.495 | -0.623 |
| 36 | Pontevedra | 26.4 | 19.1 | 0.099 | 0.455 | 0.356 |
| 37 | Salamanca | 27.4 | 19 | 0.613 | -0.442 | -1.055 |
| 38 | S.C. Tenerife | 30.1 | 24.7 | 0.225 | -0.342 | -0.567 |
| 39 | Cantabria | 26.6 | 18.7 | 0.277 | -0.175 | -0.452 |
| 40 | Segovia | 23.8 | 18.1 | 0.298 | -0.450 | -0.748 |
| 41 | Seville | 34.0 | 25.6 | 0.310 | 1.425 | 1.115* |
| 42 | Soria | 24.3 | 17.3 | 0.280 | 0.035 | -0.245 |
| 43 | Tarragona | 28.8 | 21.3 | 0.380 | 0.484 | 0.104 |
| 44 | Teruel | 23.8 | 19.9 | 0.420 | -0.122* | -0.542 |
| 45 | Toledo | 30.2 | 22.4 | 0.412 | 1.197 | 0.785* |
| 46 | Valencia | 31.0 | 22.9 | 0.313 | 0.359 | 0.046 |
| 47 | Valladolid | 26.5 | 17.8 | 0.186 | 0.225* | 0.039 |
| 48 | Bizkaia | 29.1 | 19.7 | 0.062 | 0.210 | 0.148 |
| 49 | Zamora | 25.9 | 19.2 | 0.491 | -0.194 | -0.685 |
| 50 | Zaragoza | 30.0 | 21.3 | 0.472 | 0.377 | -0.095 |
| <hr/> (Spain) | | 28.4 | 20.6 | 0.34 | 0.45 | 0.11 |

6.2.3 Análisis de datos

Para el tratamiento de los datos se utilizaron los programas informáticos el software R versión 4.0.2, IBM SPSS Statistics versión 28, STATA BE-Basic Edition versión 17 y Excel 2019 (con el complemento Power Query).

6.3. Resultados

Se obtuvieron un total del 92.4% (n=1596) de las TMM y sólo fueron desestimadas el 7.6% (n=132) TMM. Del total de las TMM calculadas se corresponden el 8,6% (n=149) con ajuste cuadrático, 12,6% (n=218) por ajuste por estimación y 71,1% (n=1229) por ajuste cúbico.

En relación con la evolución de la TMM a lo largo del tiempo de la población ≥ 65 años y la población total, fue superior el grupo de personas ancianas en todos los periodos. Durante todos los años (Figura 16), los ancianos tuvieron un valor medio de 28.6°C (IC95% 28.3-28.9) y la población total con 28.2°C (IC95% 27.83-28.51), si bien esta diferencia encontrada no fue estadísticamente significativa. Durante los años que no existían planes de prevención (Figura 17), las personas ancianas tuvieron un valor medio de 28.2°C (IC95% 27.8-28.5) con respecto a la población total con un valor de medio de 27.6°C (IC95% 27.2-27.9). En los años que ya se instauraron los planes (Figura 18), la población anciana tuvo un valor medio de 29.2°C (IC95% 28.6-29.7) con respecto a la población total con 29°C (IC95% 28.6-29.4). Las diferencias encontradas tampoco fueron estadísticamente significativas.

En relación con la tendencia de las TMM por años, la tendencia fue mayor en la población total con 0.55 (°C/década) que en el grupo de población anciana con 0.38 (°C/década). Durante el periodo de tiempo que no había planes de prevención, si bien la tendencia fue descendente en ambos grupos, fue también mayor la tendencia en la población total con -0.12 (°C/década) con respecto a la población anciana con -0.47 (°C/década). En cambio, esta tendencia cambió durante el periodo que ya existía en España los planes de prevención con 0.94 (°C/década) en ancianos con respecto a 0.07 (°C/década) en la población total.

Con respecto a las TMM (Figura 19) por provincias, el valor medio (Tabla 10) de población anciana fue de 28.4°C (IC95% 27.7-29.2) para toda España siendo Ávila la

provincia que presentó el registro más bajo (23.1°C) y Córdoba el más alto (34.3°C). El nivel promedio de todas las provincias de variación de las MMT fue de 0.45 (°C/década).

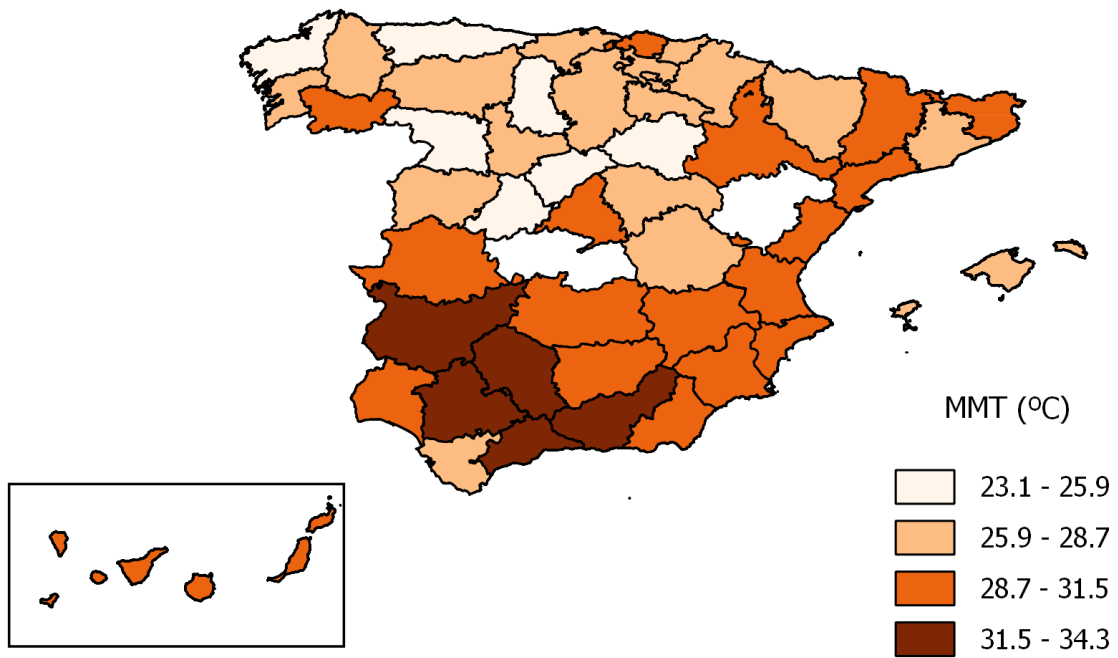


Figura 19. TMM por provincia para grupos de edad ≥ 65 años en España (1983-2018).

En lo concerniente al nivel de adaptación de la población anciana por provincias (Figura 20), el 62% de las provincias (n=31) se adaptaron frente al 38% (n=19) que no. El promedio del nivel de adaptación fue 0.11 (°C/década).

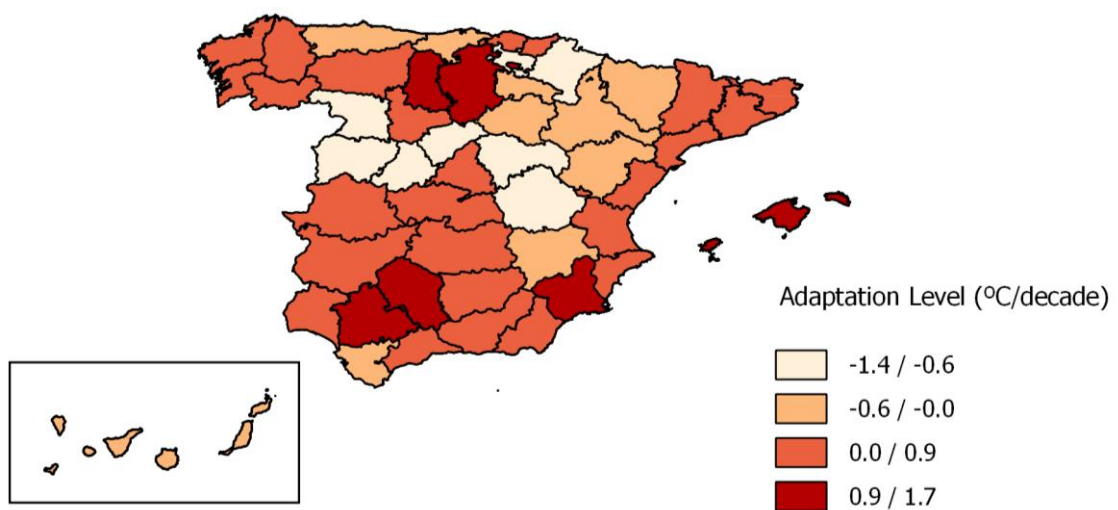


Figura 20. Nivel de adaptación por provincia para grupos de edad ≥ 65 años en España (1983-2018).

6.4 Discusión

Hay poca evidencia sobre cómo se adaptará o se están adaptando la población al calor por el cambio climático (Folkerts et al., 2020b; Turek-Hankins et al., 2021). Unido a que la vulnerabilidad al cambio climático se produce de forma diferente, provocando diferentes respuestas en la adaptación en la población (Jonsson & Lundgren, 2015).

A través de este estudio, se analizó la adaptación a través de las TMM de la población de ≥ 65 años en España durante los años 1983-2018. Es entendible, que la mejor forma de conocer cómo afectará la adaptación de una determinada población al calor en el futuro, es estudiando sus efectos en el pasado.

Se observó que el valor promedio de las TMM en la población anciana fue ligeramente más alta con respecto al promedio de las TMM de la población total con una diferencia 0.4°C . Si utilizamos las TMM como indicador de vulnerabilidad al calor, la población ≥ 65 años fue menos vulnerable al calor con respecto a la población total. Si bien, no se encontró diferencia estadísticamente significativa. Esto concuerda con un estudio previo que el grupo de edad entre los 18-44 años había aumentado el porcentaje de riesgo de mortalidad relacionado con el calor con respecto a los demás grupos de edad y, además, este incremento había aumentado en el tiempo (Díaz, Carmona, Mirón, Ortiz, & Linares, 2015b). También concuerda con otro estudio de varias ciudades españolas, que la mortalidad en personas ≥ 70 años fueron similares a la mortalidad de población total (Iñiguez et al., 2010).

Si bien, las personas ancianas son más susceptibles a las temperaturas no óptimas frente a la población de jóvenes y adultos (Huang et al., 2022), son diversos los factores que podrían explicar que la población anciana hay reducido su vulnerabilidad al calor. Las mejoras de las viviendas, de infraestructura, el uso de equipamiento de aire acondicionados, una mayor sensibilidad sobre las campañas preventivas (Folkerts et al., 2020b; Petkova et al., 2014) o cambios conductuales, como por ejemplo abrir o cerrar ventanas para mejorar el flujo de aire y cambiar la

temperatura interior (Jiao et al., 2017), han hecho que las personas mayores sean más resistentes al calor.

Además, se ha notado que, en los años sin la implementación de planes, la diferencia en las TMM entre la población anciana y la población total era de 0.6°C. Sin embargo, en los años en que se introdujeron dichos planes, las diferencias se asemejaron, llegando a ser tan solo de 0.2°C también durante el mismo periodo. Esto puede deberse a que los planes han sido efectivo para toda la población, pero además con el paso de los años, la población envejecida ha ido interiorizando más la cultura al calor por las campañas previas.

A nivel de provincias, el promedio de variación de las TMM de la población anciana fue de 0.45 (°C/década), siendo similar al obtenido a la población en general con 0.41 (°C/década) según en un estudio previo (Follos et al., 2021). Teniendo en cuenta que en España el promedio de la proporción de personas ≥ 65 años durante el periodo de estudio fue de 40% de la población española, siendo 28,89% en 1983 y 53,43% en 2018 (Instituto Nacional de Estadística, 2021). Unido, que la tasa de mortalidad ha sido 27 veces más alta en la población anciana con respecto a la población de jóvenes y adultos. Hace que la población de ≥ 65 años estén sobrerrepresentada en la mortalidad (Pérez Díaz et al., 2020) y, por tanto, en su relación con la temperatura.

Con respecto a la tendencia de las TMM a lo largo del tiempo entre las personas ≥ 65 años y la población total, fue mayor en el grupo de población total con respecto a la población anciana. Si bien, durante el periodo que no existían planes de prevención la tendencia fue descendente en grupo de población de mayores. Esto concuerda con otros estudios en diversos países, que los planes de prevención contribuyen a la disminución de la mortalidad por el impacto de calor (Benmarhnia et al., 2016b;

Boeckmann & Rohn, 2014b; Schifano, Leone, de Sario, et al., 2012) y también con un estudio realizado en España (Martínez-Solanas & Basagaña, 2019).

A nivel de adaptación en la población anciana, la mayoría de las provincias mostraron adaptación y en general, la población anciana española se adaptó. Esto concuerda con la tendencia de otros países próximos a España, como Francia que con el paso del tiempo la población en general mostró adaptación al calor por calentamiento global (Barrett, 2015). Los efectos del calor han ido disminuyendo con el paso del tiempo (Díaz, Carmona, et al., 2018a), en especial en el grupo de ≥ 65 años (Petkova et al., 2014).

Si bien la población anciana es más vulnerable al calor, tienen una menor respuesta de sudoración y de necesidad de hidratación, además de estar más mermados físicamente, en cambio tienen mayor capacidad de aclimatación al calor. Esto podría explicarse por una mejora en las condiciones de vida, como la mejora en los servicios de salud, factores socioeconómicos, viviendas adaptadas, uso de equipos de aire acondicionado, una mayor concienciación de los riesgos y una mayor capacidad receptiva de las campañas preventivas sobre el calor (Díaz, Carmona, et al., 2018a; Folkerts et al., 2020b; Li et al., 2016; Petkova et al., 2014).

Esto pone de manifiesto, la necesidad de estudios que relacionen el calentamiento global y el envejecimiento de la población para mejorar las políticas de salud pública y en la planificación de estrategias de adaptación centradas en poblaciones de personas ancianas (Li et al., 2016).

Asimismo, son necesarios más estudios que relacionen la mortalidad y temperatura en áreas localizadas (Botzen et al., 2020; Estoque et al., 2020; Navas-Martín, López-Bueno, Díaz, et al., 2022) y permitan realizar estudios con mayor detalle para su aplicación en planes preventivos de salud pública.

Este estudio presentó varias limitaciones. En primer lugar, por el tipo de estudio ecológico, en que los resultados no se pueden interpretar a nivel individual (Morgenstern, 1995). En segundo lugar, la falta de calidad de algunos datos de algunas provincias o ausencia de algunos datos, cómo los datos de contaminación atmosférica no se pudieron incluir en el estudio.

Por último, no hay una metodología universal para el cálculo de las TMM. Si bien hay una relación clara entre las asociaciones de temperatura con mortalidad, siendo representada de forma gráfica en forma de U, V o J (Arbuthnott et al., 2018; Pascal et al., 2018; Pyrgou & Santamouris, 2020; Rai et al., 2019; Song et al., 2020; Yin et al., 2019). En cambio, existen diferencias en su análisis, algunos investigadores utilizan el valor absoluto de la TMM o el relativo, o ambos (Åström et al., 2016).

Son muchos los estudios que utilizan modelo no lineal de retardo distribuido (DLNM) (Luo et al., 2019), pero su uso no está exento de sesgo (Aboubakri et al., 2019). Asimismo, existen diferencias de criterios para la obtención de las TMM. Algunos estudios para el cálculo del riesgo utilizan valores de percentiles por encima de percentil 50 (Lo et al., 2022), del 84 (Honda & Onozuka, 2020) del 95 (Åström et al., 2019; Masselot et al., 2022) o el de 99 (Aboubakri et al., 2019; Péres et al., 2020). Otros estudios no incluyen días de retrasos (Todd & Valleron, 2015a), o bien incluyeron dos días (Hajat et al., 2006) o veintiún días (Huang et al., 2022) en sus estudios.

6.5 Conclusiones

La población ≥ 65 años en las provincias españolas mostraron adaptación al calor. Si bien, se encontraron heterogeneidades entre las diferentes provincias, lo que pone de manifiesto que en un mismo país la vulnerabilidad a la temperatura ambiente es diversa, y por tanto su relación con el proceso de adaptación está condicionada por las características geográficas, climáticas y socioeconómicas de cada zona.

Es necesario realizar estudios personalizados que identifiquen las necesidades de cada población para la implementación de planes de prevención y de adaptación al calor.

Capítulo 7. Edad-Territorio

Territory Differences in Adaptation to Heat among Persons Aged 65 Years and Over in Spain (1983–2018)

Miguel Ángel Navas-Martín^{1,2}, José Antonio López-Bueno¹, María Soledad Ascaso-Sánchez¹, Fernando Follos³, José Manuel Vellón³, Isidro Juan Mirón⁴, María Yolanda Luna⁵, Gerardo Sánchez-Martínez⁶, Julio Díaz¹ and Cristina Linares¹

¹National School of Public Health, Carlos III Institute of Health, Madrid, Spain

²Doctorate program in Biomedical Sciences and Public Health, National University of Distance Education, Madrid, Spain

³Tdot Soluciones Sostenibles, SL. Ferrol. A Coruña, Spain

⁴Regional Health Authority of Castile La Mancha, Toledo, Spain

⁵State Meteorological Agency, Madrid, Spain

⁶The UNEP DTU Partnership, Copenhagen, Denmark

| | |
|------------------------------|---|
| Revista: | International Journal of Environmental Research and Public Health |
| Facto de impacto (JCR): | 4.614 |
| Percentil de la publicación: | Cuartil 1 |
| Fecha de la publicación: | Febrero 2023 |
| DOI: | 10.3390/ijerph20054168 |
| PMID: | 36901177 |

7 Edad-Territorio

7.1 Introducción

El cambio climático continúa causando estragos en muchas regiones del mundo y actualmente se considera la mayor amenaza global para la salud humana (Iyakaremye et al., 2021; Yin et al., 2019). El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) estima que las temperaturas globales aumentarán 1,5°C por encima de los niveles preindustriales durante la próxima década. Uno de los muchos efectos del cambio climático es el aumento de las temperaturas medias y las olas de calor, que son más intensas, más frecuentes y largas (Meehl & Tebaldi, 2004; WHO Regional Office for Europe, 2021). Por tanto, la actividad humana ha provocado cambios en el clima provocando graves daños a la naturaleza y a las personas, especialmente en los grupos más vulnerables (IPCC, 2022b).

El aumento de las temperaturas ha provocado una creciente preocupación por la asociación entre temperatura, morbilidad y mortalidad. Las altas temperaturas aumentan los riesgos cardiovasculares, respiratorios, golpes de calor, agravación de patologías nefrológicas, neurodegenerativas e incluso la muerte (Bongioanni et al., 2021; Clemens et al., 2021; Oudin Åström et al., 2011), variando el riesgo según la edad, sexo, nivel socioeconómico y tipo de territorio. Varios estudios en diferentes continentes han demostrado una mayor vulnerabilidad al calor en mujeres y personas mayores (Navas-Martín, López-Bueno, Díaz, et al., 2022; W. Yu et al., 2010) considerándose que las personas mayores son el principal grupo susceptible afectado por una temperatura no óptima y por ello deberían prestar más atención al clima con temperatura alta, incluso con temperaturas moderadas (Huang et al., 2022).

En Europa, el 74% de la población vive en zonas urbanas, donde los efectos del calor sobre la salud de las personas se ven agudizado debido a las características de los edificios e infraestructuras, los efectos de las islas de calor y la contaminación atmosférica (Estrada et al., 2017; IPCC, 2022b; Rohat et al., 2019; Smid et al., 2019) siendo estas zonas más calurosas que las zonas rurales (Clemens et al., 2021; Oke, 1982; Song et al., 2020). En un mundo cada vez más urbanizado, se espera que, en el futuro, el número de personas residentes en entornos afectados por islas de calor urbano aumente (Oke, 1982; UN-HABITAT, 2010). En gran parte de las ciudades, centros sanitarios como hospitales y residencias de mayores o viviendas sociales están ubicados en las zonas que sufren el efecto de isla de calor urbano, aumentando así la exposición

de los grupos vulnerables (Clemens et al., 2021; Kazmierczak et al., 2020). Además, las desigualdades entre poblaciones urbanas y rurales en cuanto a estatus socioeconómico, de estilo de vida o acceso a atención médica pueden influir en la diferente vulnerabilidad al estrés ambiental (S. Chen et al., 2016).

En cierta medida, las poblaciones están aclimatadas, suelen adaptarse técnica y conductualmente a su clima local. Sin embargo, se sigue produciendo mortalidad a causa del calor pues esta adaptación no es completa, produciéndose además diferencias entre regiones (Krummenauer et al., 2019) unido además a la falta de información sobre la velocidad a la que se está produciendo esta adaptación al aumento de temperaturas causadas por el cambio climático (Evangelopoulos et al., 2021; Honda & Onozuka, 2020).

Un buen indicador para medir la vulnerabilidad y la capacidad de adaptación al calor de una determinada población es la Temperatura de Mínima Mortalidad (TMM). La relación temperatura-mortalidad se representa con una curva en forma de U donde el mínimo coincide con la temperatura en la que el riesgo de mortalidad es más bajo, reflejando la temperatura óptima y más cómoda para el ser humano (Yin et al., 2019). La TMM está influenciada por numerosos factores (Krummenauer et al., 2019), entre ellos se encuentra el grupo de edad (Díaz et al., 2002b) y el tipo de territorio (Navas-Martín, López-Bueno, Díaz, et al., 2022).

La vulnerabilidad es el riesgo al que es vulnerable un sistema ante las consecuencias negativas del cambio climático, incluida la imprevisibilidad y los extremos del clima (Sharma & Ravindranath, 2019). La vulnerabilidad al calor está determinada tanto por factores ambientales (como la frecuencia de las olas de calor) como individuales. Factores como la edad, enfermedades preexistentes, el nivel de hidratación o las condiciones de vivienda, entre otros (Koppe et al., 2004). Por el contrario, la adaptación son los procesos de ajuste de los sistemas humanos a los efectos del clima actual o previsto para minimizar el daño o aprovechar oportunidades ventajosas (IPCC, 2022a). A través de una variedad de medidas dirigidas, la adaptación intenta principalmente moderar las consecuencias negativas del inevitable cambio climático (Füssel & Klein, 2006).

Existen numerosos estudios que investigan la relación entre la mortalidad y la temperatura y el riesgo de vulnerabilidad en las personas mayores (Oudin Åström et al., 2011) y vulnerabilidad al calor entre poblaciones rurales y urbanas (López-Bueno, Navas-Martín, Díaz, et al., 2021a; López-Bueno, Navas-Martín, Linares, et al., 2021). En cambio, son menos los estudios que hay sobre la adaptación al calor de las personas

mayores o de las poblaciones rurales o urbanas, siendo aún más escasos los estudios que cuantifican la adaptación en función de la edad y el territorio de forma simultánea.

El objetivo de este estudio es conocer las diferencias en la adaptación al calor de la población de personas mayores españolas según el territorio mediante la evolución temporal de las TMM. Para ello, se realizó un estudio ecológico longitudinal retrospectivo de series temporales, utilizando las tasas de mortalidad de la población ≥ 65 años y temperatura máxima diaria entre 1983-2018.

7.2 Material y método

Para la realización de este trabajo se realizó un estudio ecológico longitudinal retrospectivo entre los años 1983-2018 en España. Para el análisis comparativo según el territorio, se partió de la clasificación propuesta por Eurostat en 2015 para definir las tipologías urbanas (predominantes urbanas) y no urbanas que se corresponden a regiones intermedias y predominantemente rurales (Eurostat, 2015; Navas-Martín, López-Bueno, Díaz, et al., 2022) (Figura 21).

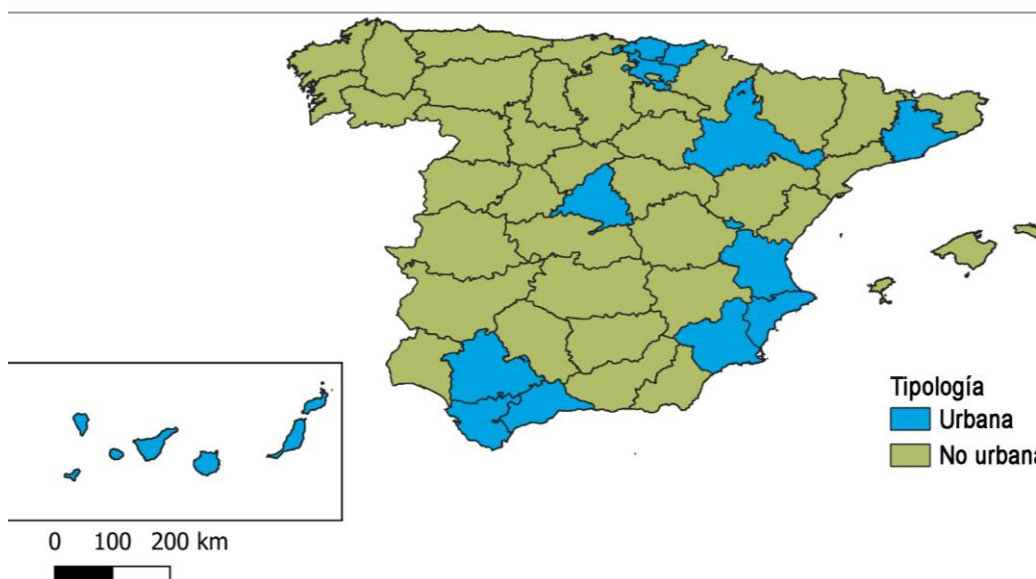


Figura 21. Mapa de provincias urbanas y no urbanas (intermedias y rurales) de España, 2015.

Se utilizaron los datos de mortalidad diaria codificadas por todas las causas de muerte (CIE 10: A00-R99) del grupo de edad ≥ 65 años agregados por municipios. Estos datos de mortalidad corresponden a los de los municipios de más de 10.000 habitantes. A partir de los datos de mortalidad diaria y de población se calcularon las correspondientes tasas

por 100.000 habitantes estos datos. Fueron facilitados por el Instituto Nacional de Estadística (INE) a través del acuerdo suscrito para la cesión de microdatos.

Con respecto a los datos meteorológicos correspondientes a las temperaturas máximas diarias se utilizaron los datos registrados en los observatorios de referencia de cada provincia. Estos datos fueron suministrados a través de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

Se eliminaron los registros nulos de mortalidad y de temperatura, además de las series anuales que no tuvieran más de un 10% de registros válidos.

7.2.1 Cálculo de las TMM

Las TMM fueron calculadas mediante un método determinista según la metodología descrita previamente en (Follos et al., 2020, 2021; M. Á. Navas-Martín, López-Bueno, Díaz, et al., 2022). Se calcularon las TMM para cada año de cada provincia a través de la mortalidad diaria y la temperatura máxima diaria agrupadas en intervalos de 2 en 2 grados. Después se realizó un ajuste cúbico o cuadrático mediante un modelo de regresión de la mortalidad con la temperatura. A continuación, se seleccionaron las MMT que fueron significativamente estadísticas (p -valor <0.05). En el caso que no fueran significativas, se utilizó la estimación de TMM para calcular las TMM restantes. El cálculo de la TMM por estimación se realiza utilizando el promedio de la temperatura máxima diaria que se encuentra bajo el percentil 5 de mortalidad. Es una metodología que se ha utilizado en estudios previos para complementar la falta de las TMM por ajustes cúbico o cuadrático. En el caso no se obtuviera las TMM por estimación, se descartan las TMM correspondiente a ese año y se consideran nulos.

7.2.2 Determinación del nivel de adaptación

A partir de las TMM anuales, para cada provincia, se calculó la recta de ajuste de esas TMM a lo largo del tiempo. Su pendiente determina el ritmo de variación temporal de las TMM en °C/década (MMT Variation).

Por otro lado, se hizo lo mismo con la media anual de la temperatura máxima diaria obteniéndose el ritmo de variación de la Tmax en °C/década (TMAXRise)

El nivel de adaptación (Adaptation Level) se obtiene a través de la diferencia entre las variaciones de (TMAX Rise) con las variaciones de las TMM en °C/década (MMT Variation). Es decir:

Adaptation level = MMT Variation – Tmax rise.

Si Adpatation Level es > 0 indica que la TMM ha ascendido más rápido que la Tmax y se podrá considerar un proceso de adaptación al calor.

Una vez calculada las TMM por cada provincia, se agruparon las provincias según la definición del territorio: urbano (tabla 11) y no urbano (tabla 12).

Tabla 11. Relación de variables, por provincia urbana, entre temperatura mínima de mortalidad (TMM) en personas de 65 años y más, media TMM, media de la temperatura máxima diaria (TMAX), TMAX media, tendencia por década de la TMAX, variaciones de la TMM y niveles de adaptación. *valor p <0,05.

| Province | MMT mean | TMAX Mean (°C) | TMAX Rise (°C/decade) | MMT Variation (°C/decade) | Adaptation level (MMT Variation-Tax rise) |
|------------------|-------------|----------------|-----------------------|---------------------------|---|
| Arabia | 28.2 | 17.4 | 0.459 | -0.299 | -0.758 |
| Alicante | 30.2 | 23.5 | 0.190 | 0.817 | 0.627* |
| Barcelona | 26.9 | 20.6 | 0.414 | 0.483 | 0.069* |
| Cadiz | 28.2 | 21.7 | 0.287 | -0.230 | -0.517 |
| Gipuzkoa | 26.3 | 16.6 | 0.244 | 0.328 | 0.084 |
| Madrid | 29.2 | 20.2 | 0.394 | 0.816 | 0.422* |
| Malaga | 31.5 | 23.5 | 0.320 | 0.327 | 0.007 |
| Murcia | 30.3 | 22.4 | 0.172 | 1.510 | 1.338* |
| Palmas, Las | 29.4 | 24.3 | 0.128 | -0.495 | -0.623 |
| S.C. Tenerife | 30.1 | 24.7 | 0.225 | -0.342 | -0.567 |
| Seville | 34.0 | 25.6 | 0.310 | 1.425 | 1.115* |
| Valencia | 31.0 | 22.9 | 0.313 | 0.359 | 0.046 |
| Bizkaia (Biscay) | 29.1 | 19.7 | 0.062 | 0.210 | 0.148 |
| Zaragoza | 30.0 | 21.3 | 0.472 | 0.377 | -0.095 |
| (Spain) | 29.6 | 21.74 | 0.29 | 0.38 | 0.09 |

Tabla 12. Relación de variables, por provincia no urbana, entre temperatura mínima de mortalidad (TMM) en personas de 65 años y más, temperatura máxima diaria (TMAX), TMAX media, tendencia por década de la TMAX, variaciones de la TMM y niveles de adaptación. *valor p <0,05.

| Province | MMT | Mean (°C) | TMAX Rise (°C/decade) | MMT Variation (°C/decade) | Adaptation level (MMT Variation-Tmax rise) |
|----------------|------|-----------|-----------------------|---------------------------|--|
| Albacete | 30.4 | 21 | 0.509 | 0.337 | -0.172 |
| Almería | 31.3 | 23.4 | -0.070 | 0.531 | 0.601 |
| Avila | 23.1 | 17.2 | 0.394 | -0.737 | -1.131 |
| Badajoz | 32.8 | 24 | 0.286 | 0.490 | 0.204 |
| Balearic Isles | 28.6 | 22 | 0.330 | 1.449 | 1.119* |
| Burgos | 27.4 | 16.8 | 0.372 | 1.611 | 1.239 |
| Cáceres | 29.7 | 22.1 | 0.336 | 0.623 | 0.287 |
| Castellón | 29.9 | 22.5 | 0.370 | 0.757 | 0.387 |
| Ciudad Real | 29.5 | 22 | 0.267 | 0.341 | 0.074 |
| Cordoba | 34.3 | 25.4 | 0.332 | 1.887 | 1.555* |
| Corunna | 24.7 | 18 | 0.351 | 0.832 | 0.481 |
| Cuenca | 26.1 | 19.6 | 0.617 | -0.245 | -0.862 |
| Girona | 29.5 | 21.1 | 0.656 | 0.980 | 0.324 |
| Granada | 31.7 | 22.6 | 0.416 | 1.018 | 0.602* |
| Guadalajara | 26.4 | 20.5 | 0.367 | -1.054 | -1.421 |
| Huelva | 30.4 | 24.1 | 0.322 | 0.916 | 0.594 |
| Huesca | 27.8 | 19.8 | 0.489 | 0.442 | -0.047 |
| Jaén | 30.2 | 21.8 | 0.516 | 1.299 | 0.783* |
| León | 26.4 | 16.9 | 0.243 | 0.516 | 0.273 |
| Lleida | 30.3 | 21.7 | 0.264 | 0.499 | 0.235 |
| Rioja, La | 27.5 | 19.8 | 0.416 | 0.091 | -0.325 |
| Lugo | 27.9 | 17.8 | 0.189 | 1.060 | 0.871 |
| Navarre | 27.2 | 18.6 | 0.442 | -0.344 | -0.786 |
| Ourense | 31.4 | 21.6 | 0.457 | 0.973 | 0.516 |
| Asturias | 25.3 | 17.5 | 0.184 | -0.047 | -0.231 |
| Palencia | 24.0 | 16.8 | 0.286 | 1.953 | 1.667 |
| Pontevedra | 26.4 | 19.1 | 0.099 | 0.455 | 0.356 |
| Salamanca | 27.4 | 19 | 0.613 | -0.442 | -1.055 |
| Cantabria | 26.6 | 18.7 | 0.277 | -0.175 | -0.452 |
| Segovia | 23.8 | 18.1 | 0.298 | -0.450 | -0.748 |
| Soria | 24.3 | 17.3 | 0.280 | 0.035 | -0.245 |
| Tarragona | 28.8 | 21.3 | 0.380 | 0.484 | 0.104 |

| | | | | | |
|----------------|-----------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| Teruel | 23.8 | 19.9 | 0.420 | -0.122* | -0.542 |
| Toledo | 30.2 | 22.4 | 0.412 | 1.197 | 0.785* |
| Valladolid | 26.5 | 17.8 | 0.186 | 0.225* | 0.039 |
| Zamora | 25.9 | 19.2 | 0.491 | -0.194 | -0.685 |
| (Spain) | 28 | 20.21 | 0.36 | 0.48 | 0.12 |

7.2.3 Análisis de datos

Para conocer la tendencia de la TMM en el periodo de estudio, se calculó un modelo de regresión lineal para la TMM por años en función del territorio (Figura 22).

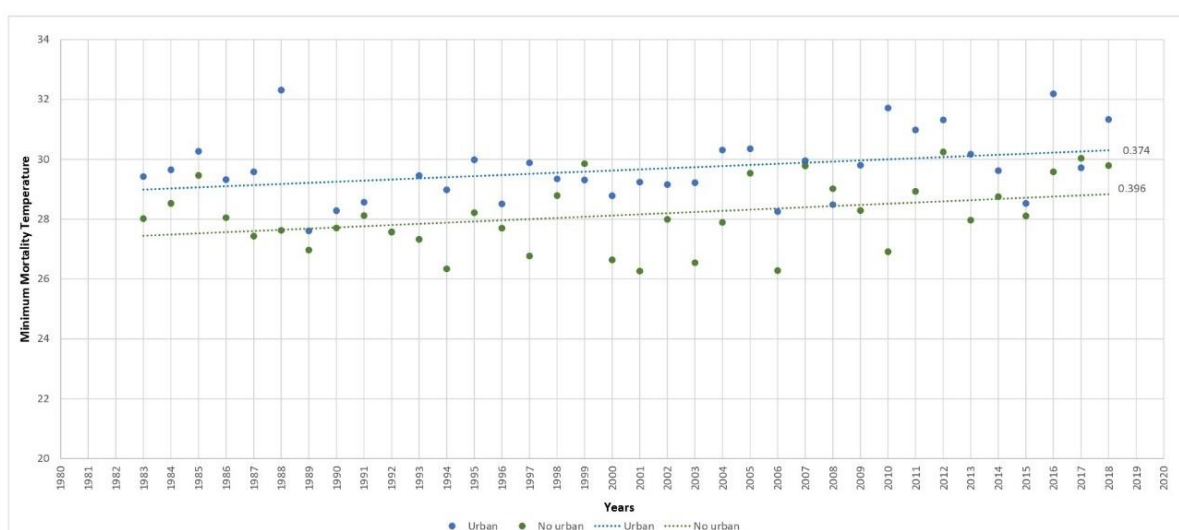


Figura 22. Evolución de la temperatura mínima de mortalidad (TMM) por año y tipo de territorio en España (1983-2018).

Para representar las provincias en función del territorio que tuvieron adaptación o no al calor, se realizó un diagrama de dispersión de las TMM con respecto a las TMAX, mostrándose el área de la zona de adaptación (Figura 23).

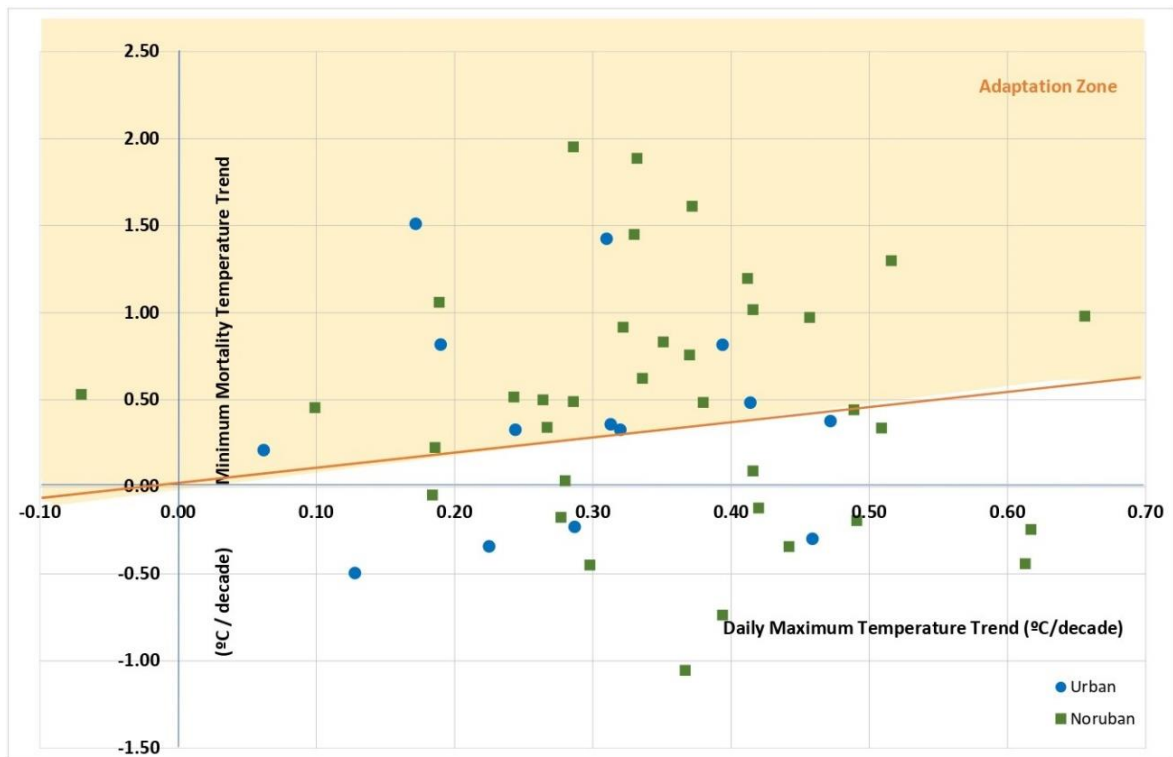


Figura 23. Diagrama de dispersión de la temperatura mínima de mortalidad con respecto a las variaciones de las temperaturas máximas diarias, por territorio en España (1983-2018). El área sombreada indica provincias que muestran adaptación al calor.

Para el tratamiento de los datos se utilizaron los programas estadísticos de IBM SPSS Statistics versión 28, R versión 4.0.2 y STATA BE-Basic Edition versión 17, además del programa ofimático Excel 2019 (con el editor Power Query).

7.3 Resultados

Se obtuvieron un total de 92,4% (n=1596) TMM, siendo 71,1% (n=1229) con ajuste cúbico, 12,6% (n=218) por estimación, 8,6% (n=149) con ajuste cuadrático y 7,6% (n=132) nulos.

Las TMM en el periodo de estudio fueron más altas para el grupo de mayores de ≥ 65 años en las provincias urbanas (tabla 11) con un valor medio 29,6°C (IC95% 29,2-30,0) frente a las provincias no urbanas (tabla 12) 28,1°C (IC95% 27,7-28.5). Esta diferencia fue estadísticamente significativa (p-valor <0.05).

Con respecto a la evolución de las TMM a lo largo del tiempo de la población ≥ 65 años en función del territorio (Figura 22), la tendencia fue mayor en las zonas no urbanas con 0,40 (°C/década) que en zonas las urbanas con 0,37 (°C/década).

El ritmo de variación de las TMM (°C/década) de la población de mayores de zonas no urbanas (tabla 12) tuvo un valor promedio de ritmo de variación más alto con 0,48°C/década (IC95% 0,2-0,7) que las zonas urbanas (tabla 11) con 0,38 °C/década (IC95% 0,0-0,7). Si bien, esta diferencia no fue estadísticamente significativa.

En relación con el nivel de adaptación, se obtuvo un valor promedio más alto en las zonas no urbanas (tabla 12) con 0,12 (IC95% -0,13–0,37) que las zonas urbanas (tabla 11) con 0,09 (IC95% -0,27–0,45). Esta diferencia no fue estadísticamente significativa.

Por último, según el diagrama de dispersión de las variaciones de las TMM con respecto a las variaciones de las TMAX (figura 23), tanto las provincias urbanas (9 de 14) cómo las provincias no urbanas (22 de 36) se encontraron más representadas en la zona de adaptación. Si bien, la diferencia territorial fue sólo de 3,2 puntos porcentuales mayor en las zonas urbanas que no urbanas.

7.4 Discusión

La vulnerabilidad al cambio climático es diferente según las diferencias poblacionales produciéndose diferentes respuestas adaptativas entre los distintos grupos sociales y demográficos (Jonsson & Lundgren, 2015), aun así, son pocos los estudios que analizan actualmente el proceso de adaptación poblacional a los impactos del cambio climático (Turek-Hankins et al., 2021). Este estudio, permite conocer el nivel de adaptación según el tipo de territorio a través de la evolución de las TMM en la población de ≥ 65 años durante el periodo 1983-2018.

Según los resultados obtenidos, se observó que el valor promedio de las TMM fue mayor en las provincias urbanas (29.6°C) con respecto a las no urbanas (28°C). Considerando la TMM un indicador de la vulnerabilidad al calor, la población ≥ 65 años de las provincias no urbanas es más vulnerable que las urbanas. A este respecto, un estudio realizado en China sobre las desigualdades urbana-rural, las personas ≥ 65 años mostraron un mayor riesgo relativo para el calor en las zonas rurales frente a las urbanas (Hu, Guo, Hochrainer-Stigler, et al., 2019).

Si bien en estudios previos realizados en España sobre la población en general de las regiones no urbanas son menos vulnerables al calor (López-Bueno, Navas-Martín, Díaz, et al., 2021a). Los diferentes factores como el nivel socioeconómico, el acceso a servicios sanitarios, entre otros generan desigualdades urbanas-rural en la población, hace que se generen diferentes patrones de vulnerabilidad al impacto del calor (Hu, Guo, Yang, et al., 2019).

La tendencia a lo largo del tiempo la evolución de los ritmos de variación de las TMM de las provincias de las poblaciones ≥ 65 años fue ascendente para todo el territorio y fueron más alta que la variación del incremento de la temperatura máxima diaria. Por lo tanto, los niveles de adaptación fueron positivos y por ello, mostraron adaptación al calor. Si bien, fue ligeramente superior en las zonas no urbanas.

Tanto a lo largo del tiempo, como a nivel de provincias, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas (p -valor $< 0,05$) según el territorio. En general, se está produciendo una adaptación al calor de la población anciana, tanto en zonas urbanas como en zonas no urbanas, pues se ha comprobado que los cambios ascendentes en el valor de la TMM desplazan la totalidad de la curva de temperatura-mortalidad (Follos et al., 2020; Krummenauer et al., 2021).

El nivel de adaptación al calor fue mayor en las zonas rurales (0,12) con respecto a las urbanas (0,09), esta fue mínima con 0,03 puntos de diferencia ($^{\circ}\text{C}/\text{década}$) y además no fue estadísticamente significativa. Estas diferencias están relacionadas con la forma en que la temperatura se relaciona con la mortalidad puede variar por regiones (Demoury et al., 2022) y que la capacidad de aclimatación de y de adaptación de la población en general son heterogéneas en diferentes regiones (Cheng et al., 2019). En el caso de las personas mayores de las provincias españolas mostraron niveles similares de adaptación.

Se conocen poco sobre los patrones (Barcelo et al., 2022) y el ritmo de la adaptación (Honda & Onozuka, 2020). Si bien está claro que cuando el ritmo de variación de las TMM es mayor que el ritmo de la variación de la temperatura máxima diaria, la población muestra adaptación (Navas-Martín, López-Bueno, Díaz, et al., 2022). La adaptación puede atribuirse a varios factores, desde la adaptación fisiológica (Folkerts et al., 2020b) hasta otros factores del tipo social, cultural, salud, económicos y de infraestructuras (Follos et al., 2020). Son muchos los determinantes relacionados con la adaptación al calor, desde disponer recursos económicos, asesoramiento, electricidad, la edad, la ocupación, disponer sistemas de alertas, entre otros (Bakhsh et al., 2018b).

Las condiciones socioeconómicas, culturales, generales y ambientales condicionan los determinantes sociales asociados a la mortalidad de las personas ancianas. La vivienda, el estrés, la situación económica determinada por el nivel de ingreso, la educación, la etnia o el territorio (rural-urbano) entre otros factores, determinan estas desigualdades sociales en salud siendo claves en la mortalidad (Silva et al., 2014). Por ello, sería necesario conocer que factores propios de las personas mayores pueden incidir en la

adaptación al calor. Sería necesario realizar estudios más detallados para poder identificar algunos de estos factores como son las características de las viviendas, el acceso a los servicios sanitarios, entre otros.

Este estudio tuvo varias limitaciones. En primer lugar, por la propia naturaleza, pues se trata de un estudio ecológico y por ello, los resultados no se pueden extrapolar a nivel individual (Morgenstern, 1995).

En segundo lugar, la limitación del concepto de ruralidad, pues no existen una definición universal (López-Bueno, Navas-Martín, Linares, et al., 2021). Por ello, se optó por una clasificación que permitiera su agrupación y poder comparar en función del territorio. Asimismo, los datos tuvieron que agregarse para poder llevar a cabo el análisis, teniendo en cuenta que los grupos de población no son homogéneos, debemos tener presente que existen diferencias subpoblacionales.

Por último, la propia limitación de la metodología para el cálculo de las TMM, pues existen diferentes enfoques (Madrigano et al., 2015) y limita las comparaciones con otros estudios (Krummenauer et al., 2019). No existe una metodología universal. Además, de las características geográficas, climáticas y socioeconómicas de cada región que condicionan la heterogeneidad de los resultados (Pyrgou & Santamouris, 2020). Si bien, el estudio utiliza la misma metodología con respecto a trabajos previos realizados en el mismo ámbito estudio.

También existe una disparidad geográfica (Barcelo et al., 2022; Oudin Åström et al., 2018) lo que hace difícil la comparación entre regiones teniendo en cuenta las diferencias por factores geográficos, climáticos y socioeconómicos (Pyrgou & Santamouris, 2020). Partiendo de la base que no hay evidencia suficiente para conocer cómo afectan los factores que influyen en la adaptación, es recomendable realizar estudios más concretos e individualizados que permitan identificar estos factores con mayor detalle (Barcelo et al., 2022; Navas-Martín, López-Bueno, Díaz, et al., 2022).

A pesar de estas limitaciones, el estudio se ha aplicado la misma metodología para el cálculo de cada una de las provincias. Asimismo, este estudio permitirá la comparación con otros estudios realizados en el pasado y también permitirá su comparación con estudios futuros con el mismo ámbito geográfico.

7.5 Conclusiones

Las TMM fueron mayores en la población ≥ 65 años de las provincias urbanas frente a las no urbanas. Sin embargo, la evolución del ritmo de variación y el nivel de adaptación fue mayor en las zonas no urbanas. Por lo tanto, podemos decir que las zonas no urbanas mostraron mejor adaptación que las zonas urbanas, si bien estas diferencias encontradas no fueron estadísticamente significativas.

Estos hallazgos pueden contribuir a entender las diferencias de adaptación al calor según la zona geográfica de la población ≥ 65 años. Por último, pone de manifiesto la necesidad de realizar estudios de epidemiología observacional para planificar acciones personalizadas de prevención en salud pública, además de tener en cuenta los diferentes ejes diferenciales como la edad y el territorio que intervienen en los procesos de adaptación al calor.

8 Conclusiones

8.1 Alcance de la tesis doctoral

La hipótesis general ha sido confirmada, demostrando que los factores sociales, determinados por los ejes de desigualdad, juegan un papel crucial en el proceso de adaptación al calor.

Se ha logrado el objetivo general, ya que a través de los estudios ecológicos se han evaluado el nivel de adaptación de la población española al calor según los factores sociales como el territorio, el género y la edad.

Los objetivos específicos también se han cumplido, permitiendo la creación de un marco conceptual a través de los dominios de adaptación al calor. También se observa una escasez de estudios sobre la adaptación al calor de la población humana, así como una falta de investigación en este campo a nivel mundial, a pesar de ser un problema global. En cuanto a los determinantes sociales de la salud, se encontraron diferencias significativas entre áreas urbanas y rurales. Se encontraron también diferencias entre hombres y mujeres, siendo las mujeres las que mostraron más capacidad de adaptación al calor. También se identificaron diferencias tanto entre la población total y la de 65 años o más, como entre las poblaciones urbanas y rurales de personas de 65 años o más. En el sentido de que la población mayor de 65 años mostró una mayor adaptación al calor en áreas urbanas especialmente.

8.1.1 Conclusiones alineadas con los objetivos específicos

A continuación, se enumeran las conclusiones alineadas con los objetivos específicos:

1. **Los ámbitos de la adaptación al calor abarcan la adaptación fisiológica, cultural y política.** La vulnerabilidad de la población, exacerbada por el cambio climático, está aumentando los riesgos para la salud debido al incremento en la mortalidad y morbilidad causados por eventos de calor cada vez más frecuentes, largos e intensos. Estos riesgos, a su vez, se ven influenciados por los ejes de desigualdad, lo que afecta tanto a los mecanismos adaptativos a nivel individual como social, y se ven agravados por las condiciones personales y comunitarias previas.
2. **Existe una brecha de conocimiento en la investigación sobre la adaptación al calor.** Se han identificado un número limitado de estudios (n=23) centrados

específicamente en la adaptación al calor en la población humana. A pesar de que el desafío de la adaptación al calor es global, son pocos los países que están llevando a cabo investigaciones al respecto.

3. **Existe diferencia de adaptación al calor por territorio.** Si bien las poblaciones de provincias urbanas son más vulnerables al calor que las no urbanas, se observó que las provincias urbanas estaban mejor adaptadas al calor que las provincias no urbanas. Se ha demostrado que el nivel de ingresos y la habituación al calor están relacionados con la adaptación en áreas urbanas. Mientras, las licencias de rehabilitación de viviendas y la disponibilidad de profesionales sanitarios son más relevantes en áreas no urbanas (áreas rurales e intermedias).
4. **Existe diferencia de adaptación al calor por género.** Si bien las mujeres son más vulnerables que los hombres al calor, en cambio se observó que las mujeres mostraron más capacidad de adaptación al calor en comparación con los hombres.
5. **Existe diferencia de adaptación entre poblaciones al calor en el grupo de edad de mayores o igual a 65 años.** Se observó diferencias de adaptación entre provincias con poblaciones de mayores o igual de 65 años.
6. **Existe diferencia de adaptación al calor por edad-territorio.** Se observó que las poblaciones de mayores de 65 años en las provincias no urbanas mostraron una mejor adaptación al calor que las poblaciones en las zonas urbanas.

8.1.2. Alineación de la tesis doctoral con el Desarrollo Sostenible y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son un conjunto de 17 metas globales adoptadas por los Estados miembros de las Naciones Unidas en 2015 como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Esta tesis doctoral se alinea específicamente con los ODS 3, 5, 11 y 13.

A nivel de territorio, la publicación identifica las repercusiones en la salud al relacionar los factores sociales que inciden en la adaptación al calor en España. Este estudio se alinea con el **ODS 3: Salud y Bienestar**, al centrarse en los efectos directos del cambio climático en la salud de la población, especialmente en lo que respecta al aumento de las temperaturas y sus consecuencias en la mortalidad. Comprender estos factores y la reducción de los riesgos asociados contribuyen a promover la salud y el bienestar de las comunidades. Además, se vincula con el **ODS 13: Acción por el**

Clima, al proporcionar información relevante para comprender cómo las comunidades pueden adaptarse a los impactos del cambio climático, específicamente a las temperaturas extremas. La identificación de estos factores sociales es fundamental para impulsar acciones que fomenten la adaptación al calor.

A nivel de género, la publicación analiza el impacto del aumento de la temperatura y sus diferencias entre hombres y mujeres. Destaca que el género también juega un papel en estos impactos y en las desigualdades sociales en salud, identificando diferencias de género en la susceptibilidad al calor extremo. Resalta la importancia de incorporar una perspectiva de género en las medidas de adaptación al cambio climático, lo cual se alinea tanto al **ODS 3** de Salud y bienestar como al **ODS 5** de Igualdad de género de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas. Además, examina cómo el aumento de las temperaturas afecta la salud de la población y destaca la necesidad de implementar medidas de adaptación al calor. Proporciona información sobre la evolución temporal de las TMM y sugiere que las mujeres muestran una mayor adaptación al calor en comparación con los hombres, lo cual también contribuye al **ODS 13** de Acción por el clima.

A nivel de edad, la publicación analiza la capacidad de adaptación al calor entre personas mayores de 65 años. Se observó que los adultos mayores mostraron una capacidad de adaptación al calor. Este análisis se relaciona con el **ODS 3** de Salud y Bienestar, así como con el **ODS 13** de Acción por el Clima. Esto se debe a que trata directamente el tema del cambio climático y su impacto en la salud de la población, además de resaltar la necesidad de adaptarse a las condiciones climáticas cambiantes para proteger la salud y el bienestar de las personas.

A nivel de territorio-edad, la publicación identifica las diferencias en la vulnerabilidad y el proceso de adaptación al calor en la población de mayores diferenciadas por territorio. Se encontró una mayor capacidad de adaptación en las áreas no urbanas en comparación con las áreas urbanas. Este estudio se alinea principalmente con el **ODS 3**: Salud y Bienestar, al abordar directamente el impacto del cambio climático en la salud humana. Además, se relaciona con el **ODS 11**: Ciudades y Comunidades Sostenibles, ya que examina las disparidades en la adaptación al calor entre áreas urbanas y rurales.

8.2. Otros méritos

En cuanto al impacto científico, el desarrollo de esta tesis y sus publicaciones surgen de la financiación proporcionada por el Instituto de Salud Carlos III (ISCIII), a través de los proyectos ENPY 304/20, ENPY 470/19, ENPY 376/18 y ENPY 107/18. Además, contó con el respaldo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. La mayoría de las publicaciones fueron financiadas para su publicación en acceso abierto mediante los fondos CRUE por la UNED. Además, este trabajo se llevó a cabo en el marco de un contrato predoctoral F19III/0003 también financiado por el ISCIII por concurrencia competitiva.

Por último, es importante destacar que todas las publicaciones están disponibles en acceso abierto y se encuentran accesibles en el repositorio institucional Repisalud del Instituto de Salud Carlos III (ISCIII). Además, también pueden ser encontradas algunas de ellas, como en la National Library of Medicine (NLM), en el Archivo Climatológico y Meteorológico Institucional (ARCIMIS) de la AEMET, en el Astrophysics Data System (NASA), en Europa PubMed Central, en la DTU Library de Copenhague (Dinamarca), en el Repositorio de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA) de Bogotá (Colombia), en la CABI Digital Library, en IDEAS/RePEc, en la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) y en ResearchGate.

8.2.1 Comunicaciones científicas

Comunicación oral:

- Miguel Ángel Navas Martín, Teresa Cuerdo Vilches, José Antonio López Bueno, Julio Díaz, Cristina Linares, Gerardo Sánchez Martínez. (2024). Time trends in human adaptation to heat in the context of Climate Change: A conceptual framework. 36th Annual Conference of the International Society for Environmental Epidemiology. Santiago de Chile. (Chile).
- Navas Martín, Miguel Ángel; López Bueno, José Antonio; Díaz, Julio; Follos, Fernando; Vellón, José Manuel; Mirón, Isidro Juan; Luna, María Yolanda; Sánchez Martínez, Gerardo; Culqui, Dante; Linares, Cristina. (2022). Efectos de los factores locales en la adaptación al calor en España (1983-2018) en España ¿Qué factores pueden explicar su comportamiento geográfico? 12 Congreso Internacional AEC. Santiago de Compostela.

Póster:

- Navas Martín, Miguel Ángel; López Bueno, José Antonio; Follos, Fernando; Vellón, José Manuel; Mirón, Isidro Juan; Luna, María Yolanda; Sánchez Martínez, Gerardo; Linares, Cristina; Díaz, Julio. (2023). Heat adaptation among the elderly in Spain (1983-2018). XLI Reunión Anual de la Sociedad Española de Epidemiología (SEE) y XVIII Congresso da Associação Portuguesa de Epidemiologia (APE). Lisboa (Portugal).

8.2.2 Ponente invitado

- Miguel Ángel Navas Martín y Jose Antonio Lopez Bueno. (2024). El sobrecalentamiento del entorno construido, un problema de salud pública. Resiliencia de viviendas frente al cambio climático. *Resiliencia de viviendas frente al cambio climático*. Universidad del Bío-Bío. Concepción (Chile).
- Miguel Ángel Navas Martín. (2024). Adaptación al Cambio Climático y su impacto en Salud y Bienestar. Universidad del Bío-Bío. Concepción (Chile).
- Teresa Cuervo Vilches y Miguel Angel Navas Martín. (2024). Diseño del entorno construido ante eventos de calor extremo aplicando Design Thinking e Inteligencia Artificial Generativa. Universidad del Bío-Bío. Concepción (Chile).
- Miguel Ángel Navas Martín. (2024). La arquitectura hostil climática en el ambiente construido, una mirada cualitativa desde la adolescencia a través del fotovoz. *Seguridad hídrica, bienestar humano y medioambiente*. Universidad Técnica Federico Santa María. Valparaíso (Chile).
- Miguel Ángel Navas Martín. (2023). Cambio Climático y Salud: Retos de adaptación al aumento de temperaturas. Universidad Autónoma Metropolitana. Ciudad de México (México).
- Miguel Ángel Navas Martín. (2023). Los retos del espacio doméstico en el S. XXI. 1er Coloquio Internacional de Entornos Sostenibles. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México (México).
- Navas Martín, Miguel Á. (2023). Retos sociales y ambientales del entorno urbano en la actualidad. Casa de la Ciencia de Sevilla del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Sevilla.
- Navas Martín, Miguel Á. (2022). Diferencias según territorio rural/urbano en la adaptación al calor en mayores o igual de 65 años en España (1983-2018).

Seminario académico. Envejecimiento, Salud y Cambio Climático. Fundación Mapfre. Madrid.

8.2.3 Otras publicaciones y méritos

Capítulos de libros:

- Navas Martín, Miguel Ángel; López Bueno, José Antonio; Linares, Cristina; Mirón, Isidro Juan; Luna, María Yolanda; Sánchez Martínez, Gerardo; Culqui, Dante; Díaz, Julio. (2022). Efectos de factores locales en la evolución de las temperaturas de mínima mortalidad en España (1983-2018) en *Retos del Cambio Climático: impactos, mitigación y adaptación* (vol. A-12 pp. 753-762). Asociación Española de Climatología.
- Navas Martín, Miguel Ángel; López Bueno, José Antonio; Ascaso, María Soledad; Díaz, Julio; Linares, Cristina; Follos, Fernando; Vellón, José Manuel; Mirón, Isidro Juan; Luna, María Yolanda; Sánchez Martínez, Gerardo (2022). Diferencias según territorio rural/urbano en la adaptación al calor en personas de 65 o más años en España (1983-2018) en *Envejecimiento, salud y cambio climático* (pp. 93-112). Fundación Mapfre.

Divulgación científica:

- Miguel Ángel Navas Martín. (2023). La adaptación de la población al calor vista a través de la relación temperatura-mortalidad, en el contexto del impacto del calentamiento global sobre la salud: Una revisión de alcance. Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía.
- Miguel Ángel Navas Martín. (2022). ¿Se está adaptando la población española al calor?. Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía.
- Navas Martín, Miguel Ángel. (2022). Desentrañando los efectos del calor en la salud humana en contextos desiguales en *Desigualdades climáticas: impactos y responsabilidades de los eventos meteorológicos extremos* (pp. 19-29). FUHEM.
- Miguel Angel Navas Martín, Cristina Linares y Julio Díaz. (2022). ¿Estamos cada vez más adaptados al calor? *The Conversation*.

Informe técnico:

- Navas Martín, Miguel Ángel; Fontan, Silvia; Antolini, Luciana; Pedraza, Sandra; Finkelstein, Juliana; Amable, Marcelo. (2022). Desigualdades sociales en salud ante el cambio climático en *Cambio climático y salud: Una visión iberoamericana*. (pp. 64-70). SESPAS y SIBSA.

Dirección de Trabajo Final de Máster:

- Botezat, Ekaterina. El impacto de los factores económicos en las políticas públicas en los procesos de adaptación al calor en España, periodo 2010-2018. (2023). Trabajo Final de Máster. Máster de Salud Pública. Escuela Nacional de Sanidad. Instituto de Salud Carlos III.

8.3 Investigaciones futuras

Los resultados de la tesis doctoral sugieren la continuación de esta línea de investigación mediante nuevos estudios que amplíen el conocimiento sobre la adaptación al calor de la población humana. Por un lado, comprender los mecanismos causales de la adaptación al calor. Por ello, sería recomendable realizar estudios a una escala geográfica inferior, como pueden ser a niveles de distritos o regiones isoclimática, lo que proporcionaría una mayor precisión en el desarrollo de estrategias y políticas encaminadas a la adaptación. Sería también interesante ampliar el análisis de los determinantes sociales en salud, incluyendo otros ejes de desigualdad como la etnia y clase social, y al mismo tiempo investigar si se producen desigualdades múltiples en la adaptación al calor. Por otro lado, sería relevante que se generalizase el análisis del ritmo de variación de la temperatura máxima diaria y el de variación de la TMM como indicadores de la efectividad del proceso de adaptación al calor de la población.

Bibliografía

- Aboubakri, O., Khanjani, N., Jahani, Y., & Bakhtiari, B. (2019). Attributable risk of mortality associated with heat and heat waves: A time-series study in Kerman, Iran during 2005–2017. *Journal of Thermal Biology*, *82*, 76–82. <https://doi.org/10.1016/J.JTHERBIO.2019.03.013>
- Achebak, H., Devolder, D., & Ballester, J. (2018). Heat-related mortality trends under recent climate warming in Spain: A 36-year observational study. *PLOS Medicine*, *15*(7), e1002617. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PMED.1002617>
- Achebak, H., Devolder, D., & Ballester, J. (2019). Trends in temperature-related age-specific and sex-specific mortality from cardiovascular diseases in Spain: a national time-series analysis. *The Lancet Planetary Health*, *3*(7), e297–e306. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(19\)30090-7](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30090-7)
- Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, *16*(3), 268–281. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2006.02.006>
- Adger, W. N., Barnett, J., Brown, K., Marshall, N., & O'Brien, K. (2012). Cultural dimensions of climate change impacts and adaptation. *Nature Climate Change* *2012 3:2*, *3*(2), 112–117. <https://doi.org/10.1038/nclimate1666>
- Alahmad, B., Shakarchi, A. F., Khraishah, H., Alseaidan, M., Gasana, J., Al-Hemoud, A., Koutrakis, P., & Fox, M. A. (2020). Extreme temperatures and mortality in Kuwait: Who is vulnerable? *Science of The Total Environment*, *732*, 139289. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.139289>
- Alessandrini, J. M., Ribéron, J., & Da Silva, D. (2019). Will naturally ventilated dwellings remain safe during heatwaves? *Energy and Buildings*, *183*, 408–417. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2018.10.033>
- Allen, M. R., Broome, J., Church, J. A., Clarke, L., Forster, P., Friedlingstein, P., Fuglestedt, J., Hegerl, G., Jiménez Cisneros, B., Kattsov, V., Kunreuther, H., Meyer, L., Minx, J., Mulugetta, Y., O'Brien, K., Oppenheimer, M., Plattner, G.-K., Reisinger, A., Scholes, R., ... van Vuuren, D. (2014). *Annex II: Glossary*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/01/SYRAR5-Glossary_en.pdf

- Alvarez, I., Quesada-Ganuza, L., Briz, E., & Garmendia, L. (2021). Urban Heat Islands and Thermal Comfort: A Case Study of Zorrotzaurre Island in Bilbao. *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 6106, 13(11), 6106. <https://doi.org/10.3390/SU13116106>
- Amblar Francés, P., Casado Calle, M. J., Pastor Saavedra, A., Ramos Calzado, P., & Rodríguez Camino, E. (2017). *Guías de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR5*. https://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/Guia_escenarios_AR5/Guia_escenarios_AR5.pdf
- Anderson, A. (2013). Climate Change Education for Mitigation and Adaptation. *Http://Dx.Doi.Org/10.1177/0973408212475199*, 6(2), 191–206. <https://doi.org/10.1177/0973408212475199>
- Araos, M., Ford, J., Berrang-Ford, L., Biesbroek, R., & Moser, S. (2016). Climate change adaptation planning for Global South megacities: the case of Dhaka. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 19(6), 682–696. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2016.1264873>
- Araos, M., Jagannathan, K., Shukla, R., Ajibade, I., Coughlan de Perez, E., Davis, K., Ford, J. D., Galappaththi, E. K., Grady, C., Hudson, A. J., Joe, E. T., Kirchhoff, C. J., Lesnikowski, A., Alverio, G. N., Nielsen, M., Orlove, B., Pentz, B., Reckien, D., Siders, A. R., ... Turek-Hankins, L. L. (2021). Equity in human adaptation-related responses: A systematic global review. *One Earth*, 4(10), 1454–1467. <https://doi.org/10.1016/J.ONEEAR.2021.09.001>
- Arbuthnott, K., Hajat, S., Heaviside, C., & Vardoulakis, S. (2016). Changes in population susceptibility to heat and cold over time: Assessing adaptation to climate change. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 15(1), 73–93. <https://doi.org/10.1186/S12940-016-0102-7>
- Arbuthnott, K., Hajat, S., Heaviside, C., & Vardoulakis, S. (2018). What is cold-related mortality? A multi-disciplinary perspective to inform climate change impact assessments. *Environment International*, 121, 119–129. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2018.08.053>
- Asghari, M., Nassiri, P., Monazzam, M., Golbabaie, F., Arabalibeik, H., & Shamsipour, A. (2017). The Development of an Empirical Model for Estimation

- of the Sensitivity to Heat Stress in the Outdoor Workers at Risk. *Annals of Medical and Health Sciences Research*, 7(2), 77–84. <https://www.ajol.info/index.php/amhsr/article/view/158638>
- Åström, D. O., Tornevi, A., Ebi, K. L., Rocklöv, J., & Forsberg, B. (2016). Evolution of Minimum Mortality Temperature in Stockholm, Sweden, 1901-2009. *Environmental Health Perspectives*, 124(6), 740–744. <https://doi.org/10.1289/ehp.1509692>
- Åström, D. O., Veber, T., Martinsone, Ž., Kalužnaja, D., Indermitte, E., Oudin, A., & Orru, H. (2019). Mortality Related to Cold Temperatures in Two Capitals of the Baltics: Tallinn and Riga. *Medicina 2019, Vol. 55, Page 429, 55(8)*, 429. <https://doi.org/10.3390/MEDICINA55080429>
- Atwoli, L., Baqui, A. H., Benfield, T., Bosurgi, R., Godlee, F., Hancocks, S., Horton, R., Laybourn-Langton, L., Monteiro, C. A., Norman, I., Patrick, K., Praities, N., Olde Rikkert, M. G. M., Rubin, E. J., Sahni, P., Smith, R., Talley, N. J., Turale, S., & Vázquez, D. (2021). Call for emergency action to limit global temperature increases, restore biodiversity, and protect health. *The Lancet*, 398(10304), 939–941. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01915-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01915-2)
- Austin, S. E., Ford, J. D., Berrang-Ford, L., Araos, M., Parker, S., & Fleury, M. D. (2015). Public Health Adaptation to Climate Change in Canadian Jurisdictions. *International Journal of Environmental Research and Public Health 2015, Vol. 12, Pages 623-651, 12(1)*, 623–651. <https://doi.org/10.3390/IJERPH120100623>
- Azhar, G., Saha, S., Ganguly, P., Mavalankar, D., & Madrigano, J. (2017). Heat Wave Vulnerability Mapping for India. *International Journal of Environmental Research and Public Health 2017, Vol. 14, Page 357, 14(4)*, 357. <https://doi.org/10.3390/IJERPH14040357>
- Baccini, M., Kosatsky, T., Analitis, A., Anderson, H. R., D'Ovidio, M., Menne, B., Michelozzi, P., Biggeri, A., Kirchmayer, U., de'Donato, F., D'Ovidio, M., D'Ippoliti, D., Marino, C., McGregor, G., Accetta, G., Katsouyanni, K., Kassomenos, P., Sunyer, J., Atkinson, R., ... Kalkstein, L. S. (2011). Impact of heat on mortality in 15 European cities: attributable deaths under different weather scenarios. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 65(1), 64–70. <https://doi.org/10.1136/JECH.2008.085639>

- Bakhsh, K., Rauf, S., & Zulfiqar, F. (2018a). Adaptation strategies for minimizing heat wave induced morbidity and its determinants. *Sustainable Cities and Society*, *41*, 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.05.021>
- Bakhsh, K., Rauf, S., & Zulfiqar, F. (2018b). Adaptation strategies for minimizing heat wave induced morbidity and its determinants. *Sustainable Cities and Society*, *41*, 95–103. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2018.05.021>
- Banta, D. (2009). What is technology assessment? *International Journal of Technology Assessment in Health Care*, *25*(S1), 7–9. <https://doi.org/10.1017/S0266462309090333>
- Barbosa, R., Vicente, R., & Santos, R. (2016). Comfort and buildings: climate change vulnerability and strategies. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, *8*(5), 670–688. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-05-2015-0058>
- Barcelo, A. R., Fecht, D., Pirani, M., Piel, F. B., C. Nardocci, A., & Vineis, P. (2022). The Effects of Temperature on Mortality: Trends Over 19-Years in São Paulo, Brazil. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/SSRN.4011892>
- Bardin, L. (2002). *El análisis de contenido* (Ediciones Akal).
- Baró, F., Camacho, D. A., Perez del Pulgar, C., Ruiz-Mallén, I., & García-Serrano, P. (2022). Nature-Based Climate Solutions in European Schools: A Pioneering Co-designed Strategy Towards Urban Resilience. *Urban Book Series*, 125–146. https://doi.org/10.1007/978-3-031-07301-4_6
- Barreca, A., Clay, K., Deschenes, O., Greenstone, M., & Shapiro, J. S. (2016). Adapting to climate change: The remarkable decline in the US temperature-mortality relationship over the Twentieth Century. *Journal of Political Economy*, *124*(1), 105–159. <https://doi.org/10.1086/684582>
- Barrett, J. R. (2015). Increased Minimum Mortality Temperature in France: Data Suggest Humans Are Adapting to Climate Change. *Environmental Health Perspectives*, *123*(7), A184. <https://doi.org/10.1289/ehp.123-A184>
- Barry, H., Chaseling, G. K., Moreault, S., Sauvageau, C., Behzadi, P., Gravel, H., Ravanelli, N., & Gagnon, D. (2020). Improved neural control of body

- temperature following heat acclimation in humans. *The Journal of Physiology*, *598*(6), 1223–1234. <https://doi.org/10.1113/JP279266>
- Bataineh, H., Devlin, R. A., & Barham, V. (2019). Social capital and having a regular family doctor: Evidence from longitudinal data. *Social Science and Medicine*, *220*, 421–429. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2018.12.003>
- Bell, M. L., O'Neill, M. S., Ranjit, N., Borja-Aburto, V. H., Cifuentes, L. A., & Gouveia, N. C. (2008). Vulnerability to heat-related mortality in Latin America: a case-crossover study in São Paulo, Brazil, Santiago, Chile and Mexico City, Mexico. *International Journal of Epidemiology*, *37*(4), 796. <https://doi.org/10.1093/IJE/DYN094>
- Bellamy, R. (2019). Social readiness of adaptation technologies. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, *10*(6), e623. <https://doi.org/10.1002/WCC.623>
- Benmarhnia, T., Bailey, Z., Kaiser, D., Auger, N., King, N., & Kaufman, J. S. (2016a). A Difference-in-Differences Approach to Assess the Effect of a Heat Action Plan on Heat-Related Mortality, and Differences in Effectiveness According to Sex, Age, and Socioeconomic Status (Montreal, Quebec). *Environmental Health Perspectives*, *124*(11), 1694–1699. <https://doi.org/10.1289/EHP203>
- Benmarhnia, T., Bailey, Z., Kaiser, D., Auger, N., King, N., & Kaufman, J. S. (2016b). A Difference-in-Differences Approach to Assess the Effect of a Heat Action Plan on Heat-Related Mortality, and Differences in Effectiveness According to Sex, Age, and Socioeconomic Status (Montreal, Quebec). *Environmental Health Perspectives*, *124*(11), 1694–1699. <https://doi.org/10.1289/EHP203>
- Benmarhnia, T., Deguen, S., Kaufman, J. S., & Smargiassi, A. (2015a). Review Article: Vulnerability to Heat-related Mortality: A Systematic Review, Meta-analysis, and Meta-regression Analysis. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, *26*(6), 781–793. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000375>
- Benmarhnia, T., Deguen, S., Kaufman, J. S., & Smargiassi, A. (2015b). Vulnerability to heat-related mortality: A systematic review, meta-analysis, and meta-regression analysis. *Epidemiology*, *26*(6), 781–793. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000375>

- Berisha, V., Hondula, D., Roach, M., White, J. R., McKinney, B., Bentz, D., Mohamed, A., Uebelherr, J., & Goodin, K. (2017). Assessing Adaptation Strategies for Extreme Heat: A Public Health Evaluation of Cooling Centers in Maricopa County, Arizona. *Weather, Climate, and Society*, *9*(1), 71–80. <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-16-0033.1>
- Bienvenido-Huertas, D., Sánchez-García, D., Marín-García, D., & Rubio-Bellido, C. (2023). Analysing energy poverty in warm climate zones in Spain through artificial intelligence. *Journal of Building Engineering*, *68*(February), 106116. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.106116>
- Biesbroek, R., Lesnikowski, A., Ford, J. D., Berrang-Ford, L., & Vink, M. (2018). Do Administrative Traditions Matter for Climate Change Adaptation Policy? A Comparative Analysis of 32 High-Income Countries. *Review of Policy Research*, *35*(6), 881–906. <https://doi.org/10.1111/ROPR.12309>
- Błażejczyk, A., Błażejczyk, K., Baranowski, J., & Kuchcik, M. (2017). Heat stress mortality and desired adaptation responses of healthcare system in Poland. *International Journal of Biometeorology 2017 62:3, 62*(3), 307–318. <https://doi.org/10.1007/S00484-017-1423-0>
- Bobb, J. F., Peng, R. D., Bell, M. L., & Dominici, F. (2014). Heat-related mortality and adaptation to heat in the United States. *Environmental Health Perspectives*, *122*(8), 811–816. <https://doi.org/10.1289/ehp.1307392>
- Boeckmann, M., & Rohn, I. (2014a). Is planned adaptation to heat reducing heat-related mortality and illness? A systematic review. In *BMC Public Health* (Vol. 14, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-1112>
- Boeckmann, M., & Rohn, I. (2014b). Is planned adaptation to heat reducing heat-related mortality and illness? A systematic review. *BMC Public Health*, *14*(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-1112>
- Boeckmann, M., & Zeeb, H. (2016). Justice and Equity Implications of Climate Change Adaptation: A Theoretical Evaluation Framework. *Healthcare*, *4*(3). <https://doi.org/10.3390/HEALTHCARE4030065>
- Bofferding, L., & Kloster, M. (2015). Middle and high school students' conceptions of climate change mitigation and adaptation strategies.

[Http://Dx.Doi.Org/10.1080/13504622.2014.888401](http://Dx.Doi.Org/10.1080/13504622.2014.888401), 21(2), 275–294.
<https://doi.org/10.1080/13504622.2014.888401>

Bongioanni, P., del Carratore, R., Corbianco, S., Diana, A., Cavallini, G., Masciandaro, S. M., Dini, M., & Buizza, R. (2021). Climate change and neurodegenerative diseases. *Environmental Research*, 201, 111511.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2021.111511>

Borrell, C., Malmusi, D., Artazcoz, L., Diez, E., Rodríguez-Sanz, I. P. y. M., Campos, P., Merino, B., Ramírez, R., Benach, J., Escolar, A., Esnaola, S., Gandarillas, A., Gómez, A., La Parra, D., Peiró, R., Segura, J., & Solanillas, J. R. (2012). Propuesta de políticas e intervenciones para reducir las desigualdades sociales en salud en España. *Gaceta Sanitaria*, 26(2), 182–189.
<https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2011.07.024>

Botzen, W. J. W., Martinius, M. L., Bröde, P., Folkerts, M. A., Ignjacevic, P., Estrada, F., Harmsen, C. N., & Daanen, H. A. M. (2020). Economic valuation of climate change–induced mortality: age dependent cold and heat mortality in the Netherlands. *Climatic Change*, 162(2), 545–562.
<https://doi.org/10.1007/S10584-020-02797-0>

Brager, G. S., & De Dear, R. J. (1998). Thermal adaptation in the built environment: a literature review. *Energy and Buildings*, 27(1), 83–96.
[https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00053-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00053-4)

Braveman, P., Egerter, S., & Williams, D. R. (2011). The social determinants of health: Coming of age. *Annual Review of Public Health*, 32(Volume 32, 2011), 381–398.
<https://doi.org/10.1146/ANNUREV-PUBLHEALTH-031210-101218/CITE/REFWORKS>

Brooks, N., Adger, W. N., & Kelly, P. M. (2005). The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change*, 15(2), 151–163.
<https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2004.12.006>

Bryman, A. (2012). *Social research methods* (4th ed.). Oxford university press.

Cao, R., Wang, Y., Huang, J., He, J., Ponsawansong, P., Jin, J., Xu, Z., Yang, T., Pan, X., Prapamontol, T., & Li, G. (2021). The mortality effect of apparent

- temperature: A multi-city study in Asia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(9).
<https://doi.org/10.3390/ijerph18094675>
- Carmona, R., Linares, C., Ortiz, C., Mirón, I. J., Luna, M. Y., & Díaz, J. (2017). Spatial variability in threshold temperatures of heat wave mortality: impact assessment on prevention plans. *International Journal of Environmental Health Research*, 27(6), 463–475.
<https://doi.org/10.1080/09603123.2017.1379056>
- Center for Open Science. (n.d.). *Open Science Framework*. Retrieved February 22, 2023, from <https://osf.io/>
- Chanana-Nag, N., & Aggarwal, P. K. (2020). Woman in agriculture, and climate risks: hotspots for development. *Climatic Change*, 158(1), 13–27.
<https://doi.org/10.1007/S10584-018-2233-Z>
- Charkoudian, N. (2016). Human thermoregulation from the autonomic perspective. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*, 196, 1–2.
<https://doi.org/10.1016/j.autneu.2016.02.007>
- Charkoudian, N., Hart, E. C. J., Barnes, J. N., & Joyner, M. J. (2017). Autonomic control of body temperature and blood pressure: influences of female sex hormones. *Clinical Autonomic Research* 2017 27:3, 27(3), 149–155.
<https://doi.org/10.1007/S10286-017-0420-Z>
- Charkoudian, N., & Stachenfeld, N. (2016). Sex hormone effects on autonomic mechanisms of thermoregulation in humans. *Autonomic Neuroscience*, 196, 75–80. <https://doi.org/10.1016/J.AUTNEU.2015.11.004>
- Charkoudian, N., & Stachenfeld, N. S. (2014). Reproductive hormone influences on thermoregulation in women. *Comprehensive Physiology*, 4(2), 793–804.
<https://doi.org/10.1002/cphy.c130029>
- Chen, C., Doherty, M., Coffee, J., Wong, T., & Hellmann, J. (2016). Measuring the adaptation gap: A framework for evaluating climate hazards and opportunities in urban areas. *Environmental Science & Policy*, 66, 403–419.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVSCI.2016.05.007>

- Chen, K., Horton, R. M., Bader, D. A., Lesk, C., Jiang, L., Jones, B., Zhou, L., Chen, X., Bi, J., & Kinney, P. L. (2017). Impact of climate change on heat-related mortality in Jiangsu Province, China. *Environmental Pollution*, *224*, 317–325. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.02.011>
- Chen, K., Zhou, L., Chen, X., Ma, Z., Liu, Y., Huang, L., Bi, J., & Kinney, P. L. (2016). Urbanization level and vulnerability to heat-related mortality in Jiangsu Province, China. *Environmental Health Perspectives*, *124*(12), 1863–1869. <https://doi.org/10.1289/EHP204>
- Chen, S., Chen, X., & Xu, J. (2016). Impacts of climate change on agriculture: Evidence from China. *Journal of Environmental Economics and Management*, *76*, 105–124. <https://doi.org/10.1016/J.JEEM.2015.01.005>
- Cheng, J., Xu, Z., Bambrick, H., Su, H., Tong, S., & Hu, W. (2019). Impacts of heat, cold, and temperature variability on mortality in Australia, 2000–2009. *Science of The Total Environment*, *651*, 2558–2565. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.10.186>
- Choi, H. M., Chen, C., Son, J.-Y., & Bell, M. L. (2021). Temperature-mortality relationship in North Carolina, USA: Regional and urban-rural differences. *Science of The Total Environment*, *787*, 147672. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147672>
- Chun Tie, Y., Birks, M., & Francis, K. (2019). Grounded theory research: A design framework for novice researchers. *SAGE Open Medicine*, *7*. <https://doi.org/10.1177/2050312118822927>
- Chung, Y., Yang, D., Gasparrini, A., Vicedo-Cabrera, A. M., Ng, C. F. S., Kim, Y., Honda, Y., & Hashizume, M. (2018). Changing susceptibility to non-optimum temperatures in Japan, 1972-2012: The role of climate, demographic, and socioeconomic factors. *Environmental Health Perspectives*, *126*(5), 057002-1-057002–057008. <https://doi.org/10.1289/EHP2546>
- Clemens, K. K., Ouédraogo, A. M., Li, L., Voogt, J. A., Gilliland, J., Krayenhoff, E. S., Leroyer, S., & Shariff, S. Z. (2021). Evaluating the association between extreme heat and mortality in urban Southwestern Ontario using different temperature data sources. *Scientific Reports 2021 11:1*, *11*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87203-0>

- Comisión para Reducir las Desigualdades Sociales en Salud en España. (2015). *Avanzando hacia la equidad: propuesta de políticas e intervenciones para reducir las desigualdades sociales en salud en España*. https://www.sanidad.gob.es/areas/promocionPrevencion/promoSaludEquidad/equidadYDesigualdad/estrategia/docs/Propuesta_Politicar_Reducir_Desigualdades.pdf
- Cramer, W., Guiot, J., & Marini, K. (2020). *Resumen de MedECC 2020 para los responsables de la formulación de políticas. En: Cambio climático y ambiental en la cuenca mediterránea: situación actual y riesgos para el futuro. Primer informe de evaluación del Mediterráneo*.
- Crowe, S., Cresswell, K., Robertson, A., Huby, G., Avery, A., & Sheikh, A. (2011). The case study approach. *BMC Medical Research Methodology*, *11*(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/1471-2288-11-100>
- Cuerdo-Vilches, M. T., & Navas-Martín, M. A. (2021, January 15). *Filomena, covid-19 y pobreza energética: un triplete imbatible para los más vulnerables*. The Conversation. <https://theconversation.com/filomena-covid-19-y-pobreza-energetica-un-triplete-imbatible-para-los-mas-vulnerables-153272>
- Cuerdo-Vilches, T., Díaz, J., López-Bueno, J. A., Luna, M. Y., Navas, M. A., Mirón, I. J., & Linares, C. (2023). Impact of urban heat islands on morbidity and mortality in heat waves: Observational time series analysis of Spain's five cities. *Science of The Total Environment*, *890*, 164412. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.164412>
- Culqui, D. R., Linares, C., Ortiz, C., Carmona, R., & Díaz, J. (2017). Association between environmental factors and emergency hospital admissions due to Alzheimer's disease in Madrid. *Science of The Total Environment*, *592*, 451–457. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2017.03.089>
- Curriero, F. C., Heiner, K. S., Samet, J. M., Zeger, S. L., Strug, L., & Patz, J. A. (2002). Temperature and Mortality in 11 Cities of the Eastern United States. *American Journal of Epidemiology*, *155*(1), 80–87. <https://doi.org/10.1093/AJE/155.1.80>
- Daros, W. R. (2002). ¿Qué es un marco teórico? *Enfoques*, *14*(1), 73–112.

- Davis, R. E., Knappenberger, P. C., Michaels, P. J., & Novicoff, W. M. (2003). Changing heat-related mortality in the United States. *Environmental Health Perspectives*, *111*(14), 1712–1718. <https://doi.org/10.1289/EHP.6336>
- de' Donato, F. K., Leone, M., Scortichini, M., De Sario, M., Katsouyanni, K., Lanki, T., Basagaña, X., Ballester, F., Åström, C., Paldy, A., Pascal, M., Gasparrini, A., Menne, B., & Michelozzi, P. (2015). Changes in the effect of heat on mortality in the last 20 years in nine European cities. Results from the PHASE project. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *12*(12), 15567–15583. <https://doi.org/10.3390/ijerph121215006>
- DeCastro, M., Gomez-Gesteira, M., Ramos, A. M., Álvarez, I., & DeCastro, P. (2011). Effects of heat waves on human mortality, Galicia, Spain. *Climate Research*, *48*(2–3), 333–341. <https://doi.org/10.3354/CR00988>
- de' Donato, F., Scortichini, M., De Sario, M., de Martino, A., & Michelozzi, P. (2018). Temporal variation in the effect of heat and the role of the Italian heat prevention plan. *Public Health*, *161*, 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2018.03.030>
- Demoury, C., Aerts, R., Vandeninden, B., Schaeybroeck, B. van, & Clercq, E. M. de. (2022). Impact of Short-Term Exposure to Extreme Temperatures on Mortality: A Multi-City Study in Belgium. *International Journal of Environmental Research and Public Health* *2022*, Vol. *19*, Page *3763*, *19*(7), 3763. <https://doi.org/10.3390/IJERPH19073763>
- Denevan, W. M. (2010). Adaptation, variation, and cultural geography. [Http://Dx.Doi.Org/10.1111/j.0033-0124.1983.00399.x](http://Dx.Doi.Org/10.1111/j.0033-0124.1983.00399.x), *35*(4), 399–407. <https://doi.org/10.1111/J.0033-0124.1983.00399.X>
- Díaz, J., Arroyo, V., Ortiz, C., Carmona, R., & Linares, C. (2016). Effect of Environmental Factors on Low Weight in Non-Premature Births: A Time Series Analysis. *PLOS ONE*, *11*(10), e0164741. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0164741>
- Díaz, J., Carmona, R., Mirón, I. J., Luna, M. Y., & Linares, C. (2018a). Time trend in the impact of heat waves on daily mortality in Spain for a period of over thirty years (1983–2013). *Environment International*, *116*, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.04.001>

- Díaz, J., Carmona, R., Mirón, I. J., Luna, M. Y., & Linares, C. (2018b). Time trend in the impact of heat waves on daily mortality in Spain for a period of over thirty years (1983–2013). *Environment International*, *116*, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.04.001>
- Díaz, J., Carmona, R., Mirón, I. J., Luna, M. Y., & Linares, C. (2019). Time trends in the impact attributable to cold days in Spain: Incidence of local factors. *Science of The Total Environment*, *655*, 305–312. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.11.254>
- Díaz, J., Carmona, R., Mirón, I. J., Ortiz, C., León, I., & Linares, C. (2015a). Geographical variation in relative risks associated with heat: Update of Spain's Heat Wave Prevention Plan. *Environment International*, *85*, 273–283. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2015.09.022>
- Díaz, J., Carmona, R., Mirón, I. J., Ortiz, C., León, I., & Linares, C. (2015b). Geographical variation in relative risks associated with heat: Update of Spain's Heat Wave Prevention Plan. *Environment International*, *85*, 273–283. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.09.022>
- Díaz, J., Carmona, R., Mirón, I. J., Ortiz, C., & Linares, C. (2015a). 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*, *143*, 186–191. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2015.10.018>
- Díaz, J., Carmona, R., Mirón, I. J., Ortiz, C., & Linares, C. (2015b). 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*, *143*, 186–191. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2015.10.018>
- Díaz, J., Jordán, A., García, R., López, C., Alberdi, J. C., Hernández, E., & Otero, A. (2002a). Heat waves in Madrid 1986-1997: effects on the health of the elderly. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, *75*(3), 163–170. <https://doi.org/10.1007/s00420-001-0290-4>
- Díaz, J., Jordán, A., García, R., López, C., Alberdi, J. C., Hernández, E., & Otero, A. (2002b). Heat waves in Madrid 1986-1997: Effects on the health of the elderly. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, *75*(3), 163–170. <https://doi.org/10.1007/S00420-001-0290-4>

- Díaz, J., Linares, C., & Tobías, A. (2006). Impact of extreme temperatures on daily mortality in Madrid (Spain) among the 45-64 age-group. *International Journal of Biometeorology*, *50*(6), 342–348. <https://doi.org/10.1007/S00484-006-0033-Z>
- Díaz, J., López, I. A., Carmona, R., Mirón, I. J., Luna, M. Y., & Linares, C. (2018). Short-term effect of heat waves on hospital admissions in Madrid: Analysis by gender and comparison with previous findings. *Environmental Pollution*, *243*, 1648–1656. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2018.09.098>
- Dupuis, J., & Biesbroek, R. (2013). Comparing apples and oranges: The dependent variable problem in comparing and evaluating climate change adaptation policies. *Global Environmental Change*, *23*(6), 1476–1487. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2013.07.022>
- Duque, I., Domínguez-Berjón, M. F., Cebrecos, A., Prieto-Salceda, M. D., Esnaola, S., Calvo Sánchez, M., & Marí-Dell'Olmo, M. (2021). Deprivation index by enumeration district in Spain, 2011. *Gaceta Sanitaria*, *35*(2), 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2019.10.008>
- Ebi, K. L., Capon, A., Berry, P., Broderick, C., de Dear, R., Havenith, G., Honda, Y., Kovats, R. S., Ma, W., Malik, A., Morris, N. B., Nybo, L., Seneviratne, S. I., Vanos, J., & Jay, O. (2021). Hot weather and heat extremes: health risks. *The Lancet*, *398*(10301), 698–708. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01208-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01208-3)
- Ebneyamini, S., & Sadeghi Moghadam, M. R. (2018). Toward Developing a Framework for Conducting Case Study Research. *International Journal of Qualitative Methods*, *17*(1). <https://doi.org/10.1177/1609406918817954>
- Egea, A., Linares, C., Díaz, J., Gómez, L., Calle, A., Navas, M. A., Ruiz-Páez, R., Asensio, C., Padrón-Monedero, A., & López-Bueno, J. A. (2023). How heat waves, ozone and sunlight hours affect endocrine and metabolic diseases emergency admissions? A case study in the region of Madrid (Spain). *Environmental Research*, *229*, 116022. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2023.116022>
- Eisenack, K., & Stecker, R. (2012). A framework for analyzing climate change adaptations as actions. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, *17*(3), 243–260. <https://doi.org/10.1007/S11027-011-9323-9>

- Ekpo, C. G., & Olatunde-Aiyedun, T. G. (2019). *Environmental Education: A Tool for Creation of Awareness Onadaptation to Climate Change in Nigeria*. <https://papers.ssrn.com/abstract=3927807>
- Ellen, R. (2018). Cultural Adaptation. *The International Encyclopedia of Anthropology*, 1–7. <https://doi.org/10.1002/9781118924396.WBIEA1914>
- EPA. (2023, January 10). *Public Health Adaptation Strategies for Climate Change*. <https://www.epa.gov/arc-x/public-health-adaptation-strategies-climate-change#extreme>
- Estoque, R. C., Ooba, M., Seposo, X. T., Togawa, T., Hijioka, Y., Takahashi, K., & Nakamura, S. (2020). Heat health risk assessment in Philippine cities using remotely sensed data and social-ecological indicators. *Nature Communications* 2020 11:1, 11(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15218-8>
- Estrada, F., Botzen, W. J. W., & Tol, R. S. J. (2017). A global economic assessment of city policies to reduce climate change impacts. *Nature Climate Change* 2017 7:6, 7(6), 403–406. <https://doi.org/10.1038/nclimate3301>
- European Commission. (2021). *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the regions*. <https://ec.europa.eu/jrc/en/peseta-iv/economic-impacts>
- European Commission (EC). (2020). Adaptation to Health Effects of Climate Change in Europe. In *Group of Chief Scientific Advisors*.
- Eurostat. (2015). *Regional yearbook 2015*. <https://ec.europa.eu/eurostat/statistical-atlas/gis/viewer/?config=RYB-2015.json&mids=2,117,CNTOVL&o=1,1,0.7&ch=11,27,113,114¢er=40.52285,0.40096,4&lci=117&i=117,43.10,-8.35&>
- Eurostat. (2021a, February 8). *NUTS 3 region*. <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>
- Eurostat. (2021b, April 27). *Population on 1 January*. <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/TPS00001/bookmark/table?lang=en&bookmarkId=c0aa2b16-607c-4429-abb3-a4c8d74f7d1e>

- Evangelopoulos, D., Analitis, A., Giannakopoulos, C., & Katsouyanni, K. (2021). Does climatic zone of birth modify the temperature-mortality association of London inhabitants during the warm season? A time-series analysis for 2004–2013. *Environmental Research*, *193*, 110357. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2020.110357>
- Filho, W. L., Balogun, A. L., Olayide, O. E., Azeiteiro, U. M., Ayal, D. Y., Muñoz, P. D. C., Nagy, G. J., Bynoe, P., Oguge, O., Yannick Toamukum, N., Saroar, M., & Li, C. (2019). Assessing the impacts of climate change in cities and their adaptive capacity: Towards transformative approaches to climate change adaptation and poverty reduction in urban areas in a set of developing countries. *Science of The Total Environment*, *692*, 1175–1190. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.07.227>
- Folkerts, M. A., Bröde, P., Botzen, W. J. W., Martinius, M. L., Gerrett, N., Harmsen, C. N., & Daanen, H. A. M. (2020a). Long Term Adaptation to Heat Stress: Shifts in the Minimum Mortality Temperature in the Netherlands. *Frontiers in Physiology*, *11*. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00225>
- Folkerts, M. A., Bröde, P., Botzen, W. J. W., Martinius, M. L., Gerrett, N., Harmsen, C. N., & Daanen, H. A. M. (2020b). Long Term Adaptation to Heat Stress: Shifts in the Minimum Mortality Temperature in the Netherlands. *Frontiers in Physiology*, *11*, 225. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00225>
- Folkerts, M. A., Bröde, P., Botzen, W. J. W., Martinius, M. L., Gerrett, N., Harmsen, C. N., & Daanen, H. A. M. (2021). Sex differences in temperature-related all-cause mortality in the Netherlands. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 1–10. <https://doi.org/10.1007/S00420-021-01721-Y/FIGURES/2>
- Follos, F., Linares, C., López-Bueno, J. A., Navas, M. A., Culqui, D., Vellón, J. M., Luna, M. Y., Sánchez-Martínez, G., & Díaz, J. (2021). Evolution of the minimum mortality temperature (1983–2018): Is Spain adapting to heat? *Science of The Total Environment*, *784*, 147233. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147233>
- Follos, F., Linares, C., Vellón, J. M., López-Bueno, J. A., Luna, M. Y., Sánchez-Martínez, G., & Díaz, J. (2020). The evolution of minimum mortality

- temperatures as an indicator of heat adaptation: The cases of Madrid and Seville (Spain). *Science of the Total Environment*, 747, 141259. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141259>
- Fung, C. S. C., Wong, C. K. H., Fong, D. Y. T., Lee, A., & Lam, C. L. K. (2015). Having a family doctor was associated with lower utilization of hospital-based health services. *BMC Health Services Research*, 15(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s12913-015-0705-7>
- Füssel, H. M., & Klein, R. J. T. (2006). Climate change vulnerability assessments: An evolution of conceptual thinking. *Climatic Change*, 75(3), 301–329. <https://doi.org/10.1007/S10584-006-0329-3>
- Füssel, H.-M., & Klein, R. J. T. (2004). Conceptual frameworks of adaptation to climate change and their applicability to human health. In *PIK*. <https://www.pik-potsdam.de/de/produkte/publikationen/pik-reports/.files/pr91.pdf>
- Gabriel, K. M. A., & Endlicher, W. R. (2011). Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany. *Environmental Pollution*, 159(8–9), 2044–2050. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.016>
- Gagnon, D., & Kenny, G. P. (2012). Does sex have an independent effect on thermoeffector responses during exercise in the heat? *The Journal of Physiology*, 590(23), 5963–5973. <https://doi.org/10.1113/JPHYSIOL.2012.240739>
- García Sánchez, F., Solecki, W. D., & Ribalaygua Batalla, C. (2018). Climate change adaptation in Europe and the United States: A comparative approach to urban green spaces in Bilbao and New York City. *Land Use Policy*, 79, 164–173. <https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2018.08.010>
- García-Herrera, R., Díaz, J., Trigo, R. M., & Hernández, E. (2005). Extreme summer temperatures in Iberia: health impacts and associated synoptic conditions. *Annales Geophysicae*, 23(2), 239–251. <https://doi.org/10.5194/ANGEO-23-239-2005>
- Gasparrini, A., Guo, Y., Hashizume, M., Kinney, P. L., Petkova, E. P., Lavigne, E., Zanobetti, A., Schwartz, J. D., Tobias, A., Leone, M., Tong, S., Honda, Y., Kim,

- H., & Armstrong, B. G. (2015). Temporal variation in heat–mortality associations: A multicountry study. *Environmental Health Perspectives*, 123(11), 1200–1207. <https://doi.org/10.1289/ehp.1409070>
- Gasparri, A., Guo, Y., Hashizume, M., Lavigne, E., Tobias, A., Zanobetti, A., Schwartz, J. D., Leone, M., Michelozzi, P., Kan, H., Tong, S., Honda, Y., Kim, H., & Armstrong, B. G. (2016). Changes in Susceptibility to Heat During the Summer: A Multicountry Analysis. *American Journal of Epidemiology*, 183(11), 1027–1036. <https://doi.org/10.1093/AJE/KWV260>
- Gobierno de España. (n.d.-a). *CONPREL: Consulta Presupuestos y Liquidaciones de EELL*. Retrieved April 12, 2021, from <https://serviciostelematicosext.hacienda.gob.es/SGFAL/CONPREL>
- Gobierno de España. (n.d.-b). *Consulta Interactiva del SNS*. Retrieved April 9, 2021, from <https://pestadistico.inteligenciadegestion.mschs.es/publicoSNS/S>
- Gobierno de España. (n.d.-c). *Publicaciones de construcción de edificios (licencias municipales de obra)*. Retrieved April 8, 2021, from <https://www.mitma.gob.es/informacion-para-el-ciudadano/informacion-estadistica/construccion/construccion-de-edificios/publicaciones-de-construccion-de-edificios-licencias-municipales-de-obra>
- Gobierno de España. (2020). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030*. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/pnacc-2021-2030_tcm30-512163.pdf
- Gobierno de España. (2021). *Plan Nacional de actuaciones preventivas de los efectos del exceso de temperatura sobre la salud*. https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/planAltasTemp/2021/docs/Plan_Calor_2021.pdf
- Gouveia, N., Hajat, S., & Armstrong, B. (2003). Socioeconomic differentials in the temperature-mortality relationship in São Paulo, Brazil. *International Journal of Epidemiology*, 32(3), 390–397. <https://doi.org/10.1093/IJE/DYG077>
- Government of Canada. (2023, November 15). *Canada's National Adaptation Strategy: Building Resilient Communities and a Strong Economy*.

<https://www.canada.ca/en/services/environment/weather/climatechange/climate-plan/national-adaptation-strategy.html>

Government of United Kingdom. (2023, July 16). *Government sets out adaptation programme to tackle climate impact.*

<https://www.gov.uk/government/news/government-sets-out-adaptation-programme-to-tackle-climate-impact>

Graczyk, D., Pińskwar, I., & Choryński, A. (2022). Heat-Related Mortality in Two Regions of Poland: Focus on Urban and Rural Areas during the Most Severe and Long-Lasting Heatwaves. *Atmosphere*, *13*(3), 390. <https://doi.org/10.3390/ATMOS13030390/S1>

Granovetter, M. S. (1973). The Strength of Weak Ties. *American Journal of Sociology*, *78*(6), 1360–1380. <http://www.jstor.org/stable/2776392>

Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information & Libraries Journal*, *26*(2), 91–108. <https://doi.org/10.1111/J.1471-1842.2009.00848.X>

Guo, Y., Gasparrini, A., Li, S., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A. M., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Saldiva, P. H. N., Lavigne, E., Tawatsupa, B., Punnasiri, K., Overcenco, A., Correa, P. M., Ortega, N. V., Kan, H., Osorio, S., Jaakkola, J. J. K., Rytö, N. R. I., Goodman, P. G., Zeka, A., ... Tong, S. (2018). Quantifying excess deaths related to heatwaves under climate change scenarios: A multicountry time series modelling study. *PLOS Medicine*, *15*(7), e1002629. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PMED.1002629>

Gutierrez, K. S., & LePrevost, C. E. (2016). Climate Justice in Rural Southeastern United States: A Review of Climate Change Impacts and Effects on Human Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *13*(2). <https://doi.org/10.3390/IJERPH13020189>

Hajat, S., Armstrong, B., Baccini, M., Biggeri, A., Bisanti, L., Russo, A., Paldy, A., Menne, B., & Kosatsky, T. (2006). Impact of high temperatures on mortality: Is there an added heat wave effect? *Epidemiology*, *17*(6), 632–638. <https://doi.org/10.1097/01.EDE.0000239688.70829.63>

- Hanna, E. G., & Tait, P. W. (2015). Limitations to Thermoregulation and Acclimatization Challenge Human Adaptation to Global Warming. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2015, Vol. 12, Pages 8034-8074, 12(7), 8034–8074. <https://doi.org/10.3390/IJERPH120708034>
- Hardesty, D. L. (1942). *Ecological Anthropology*. John Wiley & Sons, Inc.
- Hayhoe, K., Sheridan, S., Kalkstein, L., & Greene, S. (2010). Climate change, heat waves, and mortality projections for Chicago. *Journal of Great Lakes Research*, 36(SUPPL. 2), 65–73. <https://doi.org/10.1016/J.JGLR.2009.12.009>
- Holmér, I. (1995). Protective clothing and heat stress. *Ergonomics*, 38(1), 166–182. <https://doi.org/10.1080/00140139508925093>
- Holton, J. A. (2008). Grounded Theory as a general research methodology. *Grounded Theory Review an International Journal*, 7. <https://groundedtheoryreview.com/2008/06/30/grounded-theory-as-a-general-research-methodology/>
- Honda, Y., Kondo, M., McGregor, G., Kim, H., Guo, Y. L., Hijioka, Y., Yoshikawa, M., Oka, K., Takano, S., Hales, S., & Kovats, R. S. (2014). Heat-related mortality risk model for climate change impact projection. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 19(1), 56–63. <https://doi.org/10.1007/S12199-013-0354-6>
- Honda, Y., & Onozuka, D. (2020). Heat-Related Mortality/Morbidity in East Asia. *Extreme Weather Events and Human Health: International Case Studies*, 131–144. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23773-8_10
- Hrdalo, I., Tomić, D., & Pereković, P. (2015). Implementation of Green Infrastructure Principles in Dubrovnik, Croatia to Minimize Climate Change Problems. *Urbani Izziv*, 26, S38–S49. <http://www.jstor.org/stable/24920946>
- Hu, K., Guo, Y., Hochrainer-Stigler, S., Liu, W., See, L., Yang, X., Zhong, J., Fei, F., Chen, F., Zhang, Y., Zhao, Q., Chen, G., Chen, Q., Zhang, Y., Ye, T., Ma, L., Li, S., & Qi, J. (2019). Evidence for urban–rural disparity in temperature–mortality relationships in Zhejiang Province, China. *Environmental Health Perspectives*, 127(3). <https://doi.org/10.1289/EHP3556>

- Hu, K., Guo, Y., Yang, X., Zhong, J., Fei, F., Chen, F., Zhao, Q., Zhang, Y., Chen, G., Chen, Q., Ye, T., Li, S., & Qi, J. (2019). Temperature variability and mortality in rural and urban areas in Zhejiang province, China: An application of a spatiotemporal index. *Science of the Total Environment*, *647*, 1044–1051. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.095>
- Huang, Y., Yang, J., Chen, J., Shi, H., & Lu, X. (2022). Association between ambient temperature and age-specific mortality from the elderly: Epidemiological evidence from the Chinese prefecture with most serious aging. *Environmental Research*, *211*, 113103. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2022.113103>
- Huertas, S., Rodrigo-Cano, D., de la Osa Tomás, J., & Alcañiz Roy, G. (2021). *Aclimatarnos. El cambio climático. Un problema de salud pública. Guía didáctica sobre adaptación al calor.* <https://www.isciii.es/Noticias/Noticias/Documents/GuiaAclimatarnos.pdf>
- Imenda, S. (2017). Is There a Conceptual Difference between Theoretical and Conceptual Frameworks? *Kamla Raj Enterprises*, *38(2)*, 185–195. <https://doi.org/10.1080/09718923.2014.11893249>
- Indraganti, M. (2010). Behavioural adaptation and the use of environmental controls in summer for thermal comfort in apartments in India. *Energy and Buildings*, *42(7)*, 1019–1025. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2010.01.014>
- Indraganti, M., Ooka, R., & Rijal, H. B. (2015). Thermal comfort in offices in India: Behavioral adaptation and the effect of age and gender. *Energy and Buildings*, *103*, 284–295. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2015.05.042>
- Inés, G. A., Llorca, J., Paz, R. C., & Trinidad, D. S. (2011). Extreme temperatures and mortality in the North of Spain. *International Journal of Public Health* *2011 57:2*, *57(2)*, 305–313. <https://doi.org/10.1007/S00038-010-0229-1>
- Ingole, V., Marí-Dell'Olmo, M., Deluca, A., Quijal, M., Borrell, C., Rodríguez-Sanz, M., Achebak, H., Lauwaet, D., Gilabert, J., Murage, P., Hajat, S., Basagaña, X., & Ballester, J. (2020). Spatial Variability of Heat-Related Mortality in Barcelona from 1992–2015: A Case Crossover Study Design. *International Journal of Environmental Research and Public Health* *2020*, *Vol. 17*, Page 2553, *17(7)*, 2553. <https://doi.org/10.3390/IJERPH17072553>

- Iñiguez, C., Ballester, F., Ferrandiz, J., Pérez-Hoyos, S., Sáez, M., López, A., Tempromecas, Ballester, F., Iñiguez, C., Rodríguez, P., Pérez-Hoyos, S., Tenías, J. M., Gómez, F., Molina, R., González-Aracil, J., Medina, S., Patiño, J. A., Bosch, J. L., Peiró, S., ... López, E. (2010). Relation between Temperature and Mortality in Thirteen Spanish Cities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7(8), 3196. <https://doi.org/10.3390/IJERPH7083196>
- Instituto Nacional de Estadística. (n.d.-a). *Censos de Población y Viviendas 2011. Edificios. Resultados Municipales*. Retrieved April 9, 2021, from <https://www.ine.es/dynt3/inebase/index.htm?type=pcaxis&path=/t20/e244/edificios/p04/&file=pcaxis&L=0>
- Instituto Nacional de Estadística. (n.d.-b). *Contabilidad regional de España*. Retrieved April 9, 2021, from https://www.ine.es/dynngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736167628&menu=resultados&idp=1254735576581
- Instituto Nacional de Estadística. (n.d.-c). *Principales series de población desde 1971*. Retrieved April 8, 2021, from <https://www.ine.es/dynt3/inebase/index.htm?padre=1949&capsel=1949>
- Instituto Nacional de Estadística. (2008). *Encuesta de Hogares y Medio Ambiente. Año 2008*. <https://www.ine.es/prensa/np547.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística. (2021). *Proporción de personas mayores de cierta edad por provincia*. <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=1488>
- IPCC. (2019). *Chapter 13: Europe*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FOD_Chapter13.pdf
- IPCC. (2022a). Annex I: Glossary. In *Global Warming of 1.5°C* (pp. 541–562). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.008>
- IPCC. (2022b). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability — IPCC*. https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_FullReport.pdf
- IPCC. (2023a). *AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023*. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>

- IPCC. (2023b). Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis*. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Iyakaremye, V., Zeng, G., Yang, X., Zhang, G., Ullah, I., Gahigi, A., Vuguziga, F., Asfaw, T. G., & Ayugi, B. (2021). Increased high-temperature extremes and associated population exposure in Africa by the mid-21st century. *Science of The Total Environment*, *790*, 148162. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.148162>
- Jay, O., Capon, A., Berry, P., Broderick, C., de Dear, R., Havenith, G., Honda, Y., Kovats, R. S., Ma, W., Malik, A., Morris, N. B., Nybo, L., Seneviratne, S. I., Vanos, J., & Ebi, K. L. (2021). Reducing the health effects of hot weather and heat extremes: from personal cooling strategies to green cities. *The Lancet*, *398*(10301), 709–724. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01209-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01209-5)
- Jiao, Y., Yu, H., Wang, T., An, Y., & Yu, Y. (2017). Thermal comfort and adaptation of the elderly in free-running environments in Shanghai, China. *Building and Environment*, *118*, 259–272. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2017.03.038>
- Jonsson, A. C., & Lundgren, L. (2015). Vulnerability and adaptation to heat in cities: perspectives and perceptions of local adaptation decision-makers in Sweden. *https://Doi.Org/10.1080/13549839.2014.896326*, *20*(4), 442–458. <https://doi.org/10.1080/13549839.2014.896326>
- Jopp, R., Delacy, T., & Mair, J. (2010). Developing a framework for regional destination adaptation to climate change. *Current Issues in Tourism*, *13*(6), 591–605. <https://doi.org/10.1080/13683501003653379>
- Kabeer, N. (2008). Mainstreaming Gender in Social Protection for the Informal Economy. In *Mainstreaming gender in social protection for the informal economy*. Commonwealth Secretariat.
- Kaciuba-Uscilko, H., & Grucza, R. (2001). Gender differences in thermoregulation. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, *4*(6), 533–536. <https://doi.org/10.1097/00075197-200111000-00012>

- Kang, C., Park, C., Lee, W., Pehlivan, N., Choi, M., Jang, J., & Kim, H. (2020). Heatwave-Related Mortality Risk and the Risk-Based Definition of Heat Wave in South Korea: A Nationwide Time-Series Study for 2011–2017. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020, Vol. 17, Page 5720, 17(16), 5720. <https://doi.org/10.3390/IJERPH17165720>
- Kazman, J. B., Purvis, D. L., Heled, Y., Lisman, P., Atias, D., van Arsdale, S., & Deuster, P. A. (2015). Women and exertional heat illness: identification of gender specific risk factors. *U.S. Army Medical Department Journal*, 58–66.
- Kazmierczak, A., Bittner, S., Breil, M., Coninx, I., Johnson, K., Kleinenkuhnen, L., Kochova, T., Lauwaet, D., Nielsen, H. O., Smith, H., & Zandersen, M. (2020). *Urban adaptation in Europe: how cities and towns respond to climate change*. European Environment Agency (EEA). <https://doi.org/10.2800/324620>
- Kearney, G. D., Hu, H., Xu, X., Hall, M. B., & Balanay, J. A. G. (2016). Estimating the Prevalence of Heat-Related Symptoms and Sun Safety-Related Behavior among Latino Farmworkers in Eastern North Carolina. *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/1059924X.2015.1106377*, 21(1), 15–23. <https://doi.org/10.1080/1059924X.2015.1106377>
- Kim, D., & Lim, U. (2016). Urban Resilience in Climate Change Adaptation: A Conceptual Framework. *Sustainability* 2016, Vol. 8, Page 405, 8(4), 405. <https://doi.org/10.3390/SU8040405>
- Kingma, B., & van Marken Lichtenbelt, W. (2015). Energy consumption in buildings and female thermal demand. *Nature Climate Change* 2015 5:12, 5(12), 1054–1056. <https://doi.org/10.1038/nclimate2741>
- Kinney, P. L., O'Neill, M. S., Bell, M. L., & Schwartz, J. (2008). Approaches for estimating effects of climate change on heat-related deaths: challenges and opportunities. *Environ. Sci. Policy*, 11((Schwartz J.) Department of Environmental Health, Harvard School of Public Health, Channing Laboratory, Boston, MA, United States), 87–96–87–96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2007.08.001>
- Kivunja, C. (2018). Distinguishing between theory, theoretical framework, and conceptual framework: A systematic review of lessons from the field. *International Journal of Higher Education*, 7(6), 44–53.

- Kopp, O. (n.d.). *JabRef*. Retrieved May 17, 2023, from <https://www.jabref.org/>
- Koppe, C., Kovats, S., Jendritzky, G., Menne, B., Baumüller, J., Bitan, A., Díaz Jiménez, J., Ebi, K. L., Havenith, G., Santiago, L., Michelozzi, P., Nicol, F., Matzarakis, A., McGregor, G., Nogueira, P. J., Sheridan, S., & Wolf, T. (2004). *Health and Global Environmental Change Heat-waves: risks and responses*. <http://www.euro.who.int/globalchange>
- Kownacki, K. L., Gao, C., Kuklane, K., & Wierzbicka, A. (2019). Heat Stress in Indoor Environments of Scandinavian Urban Areas: A Literature Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2019, Vol. 16, Page 560, 16(4), 560. <https://doi.org/10.3390/IJERPH16040560>
- Krummenauer, L., Costa, L., Prah, B. F., & Kropp, J. P. (2021). Future heat adaptation and exposure among urban populations and why a prospering economy alone won't save us. *Scientific Reports* 2021 11:1, 11(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99757-0>
- Krummenauer, L., Prah, B. F., Costa, L., Holsten, A., Walther, C., & Kropp, J. P. (2019). Global drivers of minimum mortality temperatures in cities. *Science of The Total Environment*, 695, 133560. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.07.366>
- Kuchcik, M. (2021). Mortality and thermal environment (UTCI) in Poland—long-term, multi-city study. *International Journal of Biometeorology*, 65(9), 1529. <https://doi.org/10.1007/S00484-020-01995-W>
- Laschewski, G., & Jendritzky, G. (2002). Effects of the thermal environment on human health: an investigation of 30 years of daily mortality data from SW Germany. *Climate Research*, 21(1), 91–103. <https://doi.org/10.3354/CR021091>
- Laurant, M., van der Biezen, M., Wijers, N., Watananirun, K., Kontopantelis, E., & van Vught, A. J. A. H. (2018). Nurses as substitutes for doctors in primary care. In *Cochrane Database of Systematic Reviews* (Vol. 2018, Issue 7). John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD001271.pub3>
- Lee, W., Kim, H., Hwang, S., Zanobetti, A., Schwartz, J. D., & Chung, Y. (2017). Monte Carlo simulation-based estimation for the minimum mortality

- temperature in temperature-mortality association study. *BMC Medical Research Methodology*, *17*(1), 137. <https://doi.org/10.1186/s12874-017-0412-7>
- Leonard, W. R. (2015). Physiological Adaptations to Environmental Stressors. *Basics in Human Evolution*, 251–272. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802652-6.00018-9>
- Leshem, S., & Trafford, V. (2007). Overlooking the conceptual framework. *Innovations in Education and Teaching International*, *44*(1), 93–105. <https://doi.org/10.1080/14703290601081407>
- Li, T., Horton, R. M., Bader, D. A., Zhou, M., Liang, X., Ban, J., Sun, Q., & Kinney, P. L. (2016). Aging Will Amplify the Heat-related Mortality Risk under a Changing Climate: Projection for the Elderly in Beijing, China. *Scientific Reports 2016 6:1*, *6*(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/srep28161>
- Lin, Y. K., Maharani, A. T., Chang, F. T., & Wang, Y. C. (2019a). Mortality and morbidity associated with ambient temperatures in Taiwan. *Science of The Total Environment*, *651*, 210–217. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.09.161>
- Lin, Y. K., Maharani, A. T., Chang, F. T., & Wang, Y. C. (2019b). Mortality and morbidity associated with ambient temperatures in Taiwan. *Science of The Total Environment*, *651*, 210–217. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.09.161>
- Linares, C., Díaz, J., Negev, M., Martínez, G. S., Debono, R., & Paz, S. (2020). Impacts of climate change on the public health of the Mediterranean Basin population - Current situation, projections, preparedness and adaptation. *Environmental Research*, *182*, 109107. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2019.109107>
- Linares, C., Martinez-Martin, P., Rodríguez-Blázquez, C., Forjaz, M. J., Carmona, R., & Díaz, J. (2016). Effect of heat waves on morbidity and mortality due to Parkinson's disease in Madrid: A time-series analysis. *Environment International*, *89–90*, 1–6. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2016.01.017>
- Linares, C., Mirón, I. J., Montero, J. C., Criado-Álvarez, J. J., Tobías, A., & Díaz, J. (2014). The Time Trend Temperature–Mortality as a Factor of Uncertainty

- Analysis of Impacts of Future Heat Waves. *Environmental Health Perspectives*, 122(5). <https://doi.org/10.1289/EHP.1308042>
- Linares, C., Paz, S., Díaz, J., Negev, M., & Sánchez-Martínez, G. (2020). Health. In W. Cramer, J. Guiot, & K. Marini (Eds.), *Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin - Current Situation and Risks for the Future. First Mediterranean Assessment Report* (pp. 493–514). Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP/MAP.
- Linares-Gil, C., Carmona-Alferez, R., Ortiz Burgos, C., & Diaz-Jimenez, J. (2017). *Temperaturas extremas y salud. Cómo nos afectan las olas de calor y de frío*.
- Liu, J., Yao, R., & McCloy, R. (2012). A method to weight three categories of adaptive thermal comfort. *Energy and Buildings*, 47, 312–320. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2011.12.007>
- Lo, Y. T. E., Mitchell, D. M., Thompson, R., O'Connell, E., & Gasparrini, A. (2022). Estimating heat-related mortality in near real time for national heatwave plans. *Environmental Research Letters*, 17(2), 024017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/AC4CF4>
- López-Bueno, J. A., Díaz, J., Follos, F., Vellón, J. M., Navas, M. A., Culqui, D., Luna, M. Y., Sánchez-Martínez, G., & Linares, C. (2021). 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. *Environmental Sciences Europe*, 33(1), 101. <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00542-7>
- López-Bueno, J. A., Díaz, J., & Linares, C. (2019a). Differences in the impact of heat waves according to urban and peri-urban factors in Madrid. *International Journal of Biometeorology*, 63(3), 371–380. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01670-9>
- López-Bueno, J. A., Díaz, J., & Linares, C. (2019b). Differences in the impact of heat waves according to urban and peri-urban factors in Madrid. *International Journal of Biometeorology*, 63(3), 371–380. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01670-9>

- López-Bueno, J. A., Díaz, J., Sánchez-Guevara, C., Sánchez-Martínez, G., Franco, M., Gullón, P., Núñez Peiró, M., Valero, I., & Linares, C. (2020). The impact of heat waves on daily mortality in districts in Madrid: The effect of sociodemographic factors. *Environmental Research*, *190*, 109993. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109993>
- López-Bueno, J. A., Navas-Martín, M. A., Díaz, J., Mirón, I. J., Luna, M. Y., Sánchez-Martínez, G., Culqui, D., & Linares, C. (2021a). Analysis of vulnerability to heat in rural and urban areas in Spain: What factors explain Heat's geographic behavior? *Environmental Research*, 112213. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2021.112213>
- López-Bueno, J. A., Navas-Martín, M. Á., Díaz, J., Mirón, I. J., Luna, M. Y., Sánchez-Martínez, G., Culqui, D., & Linares, C. (2021b). The effect of cold waves on mortality in urban and rural areas of Madrid. *Environmental Sciences Europe*, *33*(1), 72. <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00512-z>
- López-Bueno, J. A., Navas-Martín, M. A., Díaz, J., Mirón, I. J., Luna, M. Y., Sánchez-Martínez, G., Culqui, D., & Linares, C. (2022). Analysis of vulnerability to heat in rural and urban areas in Spain: What factors explain Heat's geographic behavior? *Environmental Research*, *207*, 112213. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2021.112213>
- López-Bueno, J. A., Navas-Martín, M. A., Linares, C., Mirón, I. J., Luna, M. Y., Sánchez-Martínez, G., Culqui, D., & Díaz, J. (2021). Analysis of the impact of heat waves on daily mortality in urban and rural areas in Madrid. *Environmental Research*, *195*, 110892. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110892>
- Lundgren, K., Kuklane, K., Gao, C., & Holmér, I. (2013). Effects of Heat Stress on Working Populations when Facing Climate Change. *Industrial Health*, *51*(1), 3–15. <https://doi.org/10.2486/INDHEALTH.2012-0089>
- Luo, Q., Li, S., Guo, Y., Han, X., & Jaakkola, J. J. K. (2019). A systematic review and meta-analysis of the association between daily mean temperature and mortality in China. *Environmental Research*, *173*, 281–299. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2019.03.044>

- Luyten, A., Winkler, M. S., Ammann, P., & Dietler, D. (2023). Health impact studies of climate change adaptation and mitigation measures – A scoping review. *The Journal of Climate Change and Health*, *9*, 100186. <https://doi.org/10.1016/J.JOCLIM.2022.100186>
- Madrigano, J., McCormick, S., & Kinney, P. L. (2015). The Two Ways of Assessing Heat-Related Mortality and Vulnerability. *American Journal of Public Health*, *105*(11), 2212. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2015.302848>
- Mahadevia, D., Pathak, M., Bhatia, N., & Patel, S. (2020). Climate Change, Heat Waves and Thermal Comfort—Reflections on Housing Policy in India. *Environment and Urbanization ASIA*, *11*(1), 29–50. <https://doi.org/10.1177/0975425320906249>
- Manandhar, M., Hawkes, S., Buse, K., Nosrati, E., & Magar, V. (2018). Gender, health and the 2030 agenda for sustainable development. *Bulletin of the World Health Organization*, *96*(9), 644. <https://doi.org/10.2471/BLT.18.211607>
- Mari-Dell'olmo, M., Oliveras, L., Estefanía Barón-Miras, L., Borrell, C., Montalvo, T., Ariza, C., Ventayol, I., Mercuriali, L., Sheehan, M., Gómez-Gutiérrez, A., & Villalbí, J. R. (2022). Climate Change and Health in Urban Areas with a Mediterranean Climate: A Conceptual Framework with a Social and Climate Justice Approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health* *2022*, Vol. *19*, Page *12764*, *19*(19), 12764. <https://doi.org/10.3390/IJERPH191912764>
- Marmot, M. (2005). Social determinants of health inequalities. *Lancet*, *365*(9464), 1099–1104. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(05\)71146-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(05)71146-6)
- Martínez, G. S. (2019). Políticas públicas de adaptación al cambio climático. *Revista de Salud Ambiental*, *19*, 81–84. <https://doi.org/10.1371/journal>
- Martinez, G. S., Kendrovski, V., Salazar, M. A., de'Donato, F., & Boeckmann, M. (2022). Heat-health action planning in the WHO European Region: Status and policy implications. *Environmental Research*, *214*, 113709. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2022.113709>
- Martinez, G. S., Linares, C., Ayuso, A., Kendrovski, V., Boeckmann, M., & Diaz, J. (2019). Heat-health action plans in Europe: Challenges ahead and how to tackle

- them. *Environmental Research*, 176, 108548.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2019.108548>
- Martínez-Solanas, È., & Basagaña, X. (2019). Temporal changes in temperature-related mortality in Spain and effect of the implementation of a Heat Health Prevention Plan. *Environmental Research*, 169, 102–113.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2018.11.006>
- Masselot, P., Ouarda, T. B. M. J., Charron, C., Campagna, C., Lavigne, È., St-Hilaire, A., Chebana, F., Valois, P., & Gosselin, P. (2022). Heat-related mortality prediction using low-frequency climate oscillation indices: Case studies of the cities of Montréal and Québec, Canada. *Environmental Epidemiology*, 6(2), e206. <https://doi.org/10.1097/EE9.0000000000000206>
- Mayrhuber, E. A. S., Dückers, M. L. A., Wallner, P., Arnberger, A., Alex, B., Wiesböck, L., Wanka, A., Kolland, F., Eder, R., Hutter, H. P., & Kutalek, R. (2018). Vulnerability to heatwaves and implications for public health interventions – A scoping review. *Environmental Research*, 166, 42–54.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2018.05.021>
- McCall, T., Beckmann, S., Kawe, C., Abel, F., & Hornberg, C. (2018). Climate change adaptation and mitigation – a hitherto neglected gender-sensitive public health perspective. *Https://Doi.Org/10.1080/17565529.2018.1529551*, 11(9), 735–744.
<https://doi.org/10.1080/17565529.2018.1529551>
- Mcgregor, G. R., Bessmoulin, P., Ebi, K., & Menne, B. (2019). *Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development*.
https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3371
- McMichael, A. J. (2012). Insights from past millennia into climatic impacts on human health and survival. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(13), 4730–4737.
<https://doi.org/10.1073/PNAS.1120177109>
- Meehl, G. A., & Tebaldi, C. (2004). More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science*, 305(5686), 994–997.
<https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1098704>

- Mendelsohn, R. (2000). Efficient adaptation to climate change. *Climatic Change*, 45(3–4), 583–600. <https://doi.org/10.1023/A:1005507810350>
- Miron, I. J., Criado-Alvarez, J. J., Diaz, J., Linares, C., Mayoral, S., & Montero, J. C. (2008). Time trends in minimum mortality temperatures in Castile-La Mancha (Central Spain): 1975-2003. *International Journal of Biometeorology*, 52(4), 291–299. <https://doi.org/10.1007/s00484-007-0123-6>
- Mojahed, N., Mohammadkhani, M. A., & Mohamadkhani, A. (2022). Climate Crises and Developing Vector-Borne Diseases: A Narrative Review. *Iranian Journal of Public Health*, 51(12), 2664. <https://doi.org/10.18502/IJPH.V51I12.11457>
- Monteleone, P., Mascagni, G., Giannini, A., Genazzani, A. R., & Simoncini, T. (2018). Symptoms of menopause - global prevalence, physiology and implications. *Nature Reviews. Endocrinology*, 14(4), 199–215. <https://doi.org/10.1038/NREND0.2017.180>
- Montero, J. C., Mirón, I. J., Criado-Álvarez, J. J., Linares, C., & Díaz, J. (2012). Influence of local factors in the relationship between mortality and heat waves: Castile-La Mancha (1975–2003). *Science of The Total Environment*, 414, 73–80. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2011.10.009>
- Moreno Rodríguez, J. Manuel., Cruz Treviño, A., & Martínez Lope, C. (2005). *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático : proyecto ECCE-informe final*. Centro de Publicaciones, Ministerio de Medio Ambiente.
- Morgenstern, H. (1995). Ecologic studies in epidemiology: concepts, principles, and methods. *Annual Review of Public Health*, 16, 61–81. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.PU.16.050195.000425>
- Mukhamedjanov, A., Isamukhamedova, D., & Bo-sin, T. (2023). Green Spaces for Summer Cooling: Case Study Tashkent, Uzbekistan. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/SSRN.4335899>
- Muller, A. (2002). Education, income inequality, and mortality: A multiple regression analysis. *British Medical Journal*, 324(7328), 23–25. <https://doi.org/10.1136/bmj.324.7328.23>

- Munn, Z., Peters, M. D. J., Stern, C., Tufanaru, C., McArthur, A., & Aromataris, E. (2018). Systematic review or scoping review? Guidance for authors when choosing between a systematic or scoping review approach. *BMC Medical Research Methodology*, *18*(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/S12874-018-0611-X>
- Nakagawa, A., & Nakaya, T. (2021). A survey of clothing insulation for university students in Japan: Effect of clothing insulation distribution between the upper and lower body in the winter. *Journal of Building Engineering*, *44*, 103287. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2021.103287>
- Navas-Martín, M. Á., López-Bueno, J. A., Ascaso-Sánchez, M. S., Follos, F., Vellón, J. M., Mirón, I. J., Luna, M. Y., Sánchez-Martínez, G., Díaz, J., & Linares, C. (2023). Territory Differences in Adaptation to Heat among Persons Aged 65 Years and Over in Spain (1983–2018). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *20*(5), 4168. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054168>
- Navas-Martín, M. Á., López-Bueno, J. A., Ascaso-Sánchez, M. S., Follos, F., Vellón, J. M., Mirón, I. J., Luna, M. Y., Sánchez-Martínez, G., Linares, C., & Díaz, J. (2023). Heat Adaptation among the Elderly in Spain (1983-2018). *International Journal of Environmental Research and Public Health* *2023*, Vol. *20*, Page *1314*, *20*(2), 1314. <https://doi.org/10.3390/IJERPH20021314>
- Navas-Martín, M. Á., López-Bueno, J. A., Ascaso-Sánchez, M. S., Sarmiento-Suárez, R., Follos, F., Vellón, J. M., Luna Rico, M. Y., Sánchez-Martínez, G., Culqui, D., Linares, C., & Díaz, J. (2022). Gender Differences in Adaptation to Heat in Spain (1983-2018). *Environmental Research*.
- Navas-Martín, M. Á., López-Bueno, J. A., Ascaso-Sánchez, M. S., Sarmiento-Suárez, R., Follos, F., Vellón, J. M., Mirón, I. J., Luna, M. Y., Sánchez-Martínez, G., Culqui, D., Linares, C., & Díaz, J. (2022). Gender differences in adaptation to heat in Spain (1983–2018). *Environmental Research*, *215*, 113986. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2022.113986>
- Navas-Martín, M. Á., López-Bueno, J. A., Díaz, J., Follos, F., Vellón, J. M., Mirón, I. J., Luna, Y., Sánchez-Martínez, G., Culqui, D., & Linares, C. (2022). Effects of Local Factors on Adaptation to Heat in Spain (1983-2018). *Environmental Research*.

- Navas-Martín, M. Á., Ovalle-Perandones, M.-A., López-Bueno, J. A., Díaz, J., Linares, C., & Sánchez-Martínez, G. (2024). Population adaptation to heat as seen through the temperature-mortality relationship, in the context of the impact of global warming on health: A scoping review. *Science of The Total Environment*, *908*, 168441. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.168441>
- Navas-Martín, M. Á., Ovalle-Perandones, M.-A., López-Bueno, J. A., Sánchez, G., Díaz, J., & Linares, C. (2023). *Population heat adaptation through the relationship between temperature and mortality in the context of global warming on health: A scoping review*. <https://osf.io/kxzwh/>
- Navas-Martín, M., López-Bueno, J. A., Díaz, J., Follos, F., Vellón, J., Mirón, I., Luna, M., Sánchez-Martínez, G., Culqui, D., & Linares, C. (2022). Effects of local factors on adaptation to heat in Spain (1983–2018). *Environmental Research*, *112784*. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2022.112784>
- Nayak, S. G., Shrestha, S., Kinney, P. L., Ross, Z., Sheridan, S. C., Pantea, C. I., Hsu, W. H., Muscatiello, N., & Hwang, S. A. (2018). Development of a heat vulnerability index for New York State. *Public Health*, *161*, 127–137. <https://doi.org/10.1016/J.PUHE.2017.09.006>
- Nayak, S. G., Shrestha, S., Sheridan, S. C., Hsu, W. H., Muscatiello, N. A., Pantea, C. I., Ross, Z., Kinney, P. L., Zdeb, M., Hwang, S. A. A., & Lin, S. (2019). Accessibility of cooling centers to heat-vulnerable populations in New York State. *Journal of Transport & Health*, *14*, 100563. <https://doi.org/10.1016/J.JTH.2019.05.002>
- Neuman, W. L. (2014). *Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches*. In *Pearson Education* (7th ed.). Pearson Education.
- Nitschke, M., Tucker, G., Hansen, A., Williams, S., Zhang, Y., & Bi, P. (2016). Evaluation of a heat warning system in Adelaide, South Australia, using case-series analysis. *BMJ Open*, *6*(7), e012125. <https://doi.org/10.1136/BMJOPEN-2016-012125>
- Noble, I. R., Huq, S., Anokhin, Y. A., Carmin, J. A., Goudou, D., Lansigan, F. P., Osman-Elasha, B., Villamizar, A., Patt, A., Takeuchi, K., & Chu, E. (2015). Adaptation needs and options. *Climate Change 2014 Impacts, Adaptation and*

- Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects*, 833–868.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379.019>
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, *108*(455), 1–24.
<https://doi.org/10.1002/QJ.49710845502>
- Ordanovich, D., Tobias, A., & Ramiro, D. (2023). Temporal variation of the temperature-mortality association in Spain: a nationwide analysis. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, *22*(MEDLINE:36635705), 5–5–5–5.
- Osberghaus, D., & Abeling, T. (2022). Heat vulnerability and adaptation of low-income households in Germany. *Global Environmental Change*, *72*, 102446.
<https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2021.102446>
- Oudin Åström, D., Åström, C., Forsberg, B., Vicedo-Cabrera, A. M., Gasparrini, A., Oudin, A., & Sundquist, K. (2020). Heat wave-related mortality in Sweden: A case-crossover study investigating effect modification by neighbourhood deprivation. *Scandinavian Journal of Public Health*, *48*(4), 428–435.
<https://doi.org/10.1177/1403494818801615>
- Oudin Åström, D., Bertil, F., & Joacim, R. (2011). Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: A review of recent studies. *Maturitas*, *69*(2), 99–105. <https://doi.org/10.1016/J.MATURITAS.2011.03.008>
- Oudin Åström, D., Ebi, K. L., Vicedo-Cabrera, A. M., & Gasparrini, A. (2018). Investigating changes in mortality attributable to heat and cold in Stockholm, Sweden. *International Journal of Biometeorology*, *62*(9), 1777–1780.
<https://doi.org/10.1007/S00484-018-1556-9>
- Paavola, J. (2017). Health impacts of climate change and health and social inequalities in the UK. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, *16*(1), 61–68. <https://doi.org/10.1186/S12940-017-0328-Z>
- Padrón-Monedero, A., Linares, C., Díaz, J., & Noguera-Zambrano, I. (2024). Impact of drought on mental and behavioral disorders, contributions of research in a climate change context. A narrative review. *International journal of biometeorology*, 1-8. <https://doi.org/10.1007/s00484-024-02657-x>

- Park, C. Y., Lee, D. K., & Hyun, J. H. (2019). The Effects of Extreme Heat Adaptation Strategies under Different Climate Change Mitigation Scenarios in Seoul, Korea. *Sustainability* 2019, Vol. 11, Page 3801, 11(14), 3801. <https://doi.org/10.3390/SU11143801>
- Pascal, M., Wagner, V., Corso, M., Laaidi, K., Ung, A., & Beaudeau, P. (2018). Heat and cold related-mortality in 18 French cities. *Environment International*, 121, 189–198. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2018.08.049>
- Patz, J. A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., & Foley, J. A. (2005). Impact of regional climate change on human health. *Nature* 2005 438:7066, 438(7066), 310–317. <https://doi.org/10.1038/nature04188>
- Pearce-Higgins, J. W., Antão, L. H., Bates, R. E., Bowgen, K. M., Bradshaw, C. D., Duffield, S. J., Ffoulkes, C., Franco, A. M. A., Geschke, J., Gregory, R. D., Harley, M. J., Hodgson, J. A., Jenkins, R. L. M., Kapos, V., Maltby, K. M., Watts, O., Willis, S. G., & Morecroft, M. D. (2022). A framework for climate change adaptation indicators for the natural environment. *Ecological Indicators*, 136, 108690. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2022.108690>
- Péres, W. E., Ribeiro, A. F. S., Russo, A., & Nunes, B. (2020). The Association between Air Temperature and Mortality in Two Brazilian Health Regions. *Climate* 2020, Vol. 8, Page 16, 8(1), 16. <https://doi.org/10.3390/CLI8010016>
- Pérez Díaz, J., Abellán García, A., Aceituno Nieto, P., & Ramiro Fariñas, D. (2020). Un perfil de las personas mayores en España 2020. *Envejecimiento En Red*, 25. <http://envejecimiento.csic.es/documentos/documentos/enred-indicadoresbasicos2020.pdf>
- Périard, J. D., Racinais, S., & Sawka, M. N. (2015). Adaptations and mechanisms of human heat acclimation: Applications for competitive athletes and sports. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(S1), 20–38. <https://doi.org/10.1111/SMS.12408>
- Périard, J. D., Travers, G. J. S., Racinais, S., & Sawka, M. N. (2016). Cardiovascular adaptations supporting human exercise-heat acclimation. *Autonomic Neuroscience: Basic & Clinical*, 196, 52–62. <https://doi.org/10.1016/J.AUTNEU.2016.02.002>

- Peters, M. D. J., Godfrey, C., McInerney, P., Munn, Z., Tricco, A. C., & Khalil, H. (2020). Scoping reviews. In E. Aromataris & Z. Munn (Eds.), *JBIM Manual for Evidence Synthesis*. JBI. <https://doi.org/10.46658/JBIMES-20-12>
- Peters, M. D. J., Marnie, C., Tricco, A. C., Pollock, D., Munn, Z., Alexander, L., McInerney, P., Godfrey, C. M., & Khalil, H. (2020). Updated methodological guidance for the conduct of scoping reviews. *JBIM Evidence Synthesis*, *18*(10), 2119–2126. <https://doi.org/10.11124/JBIES-20-00167>
- Petkova, E. P., Gasparrini, A., & Kinney, P. L. (2014). Heat and mortality in New York City since the beginning of the 20th century. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, *25*(4), 554–560. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000123>
- Petkova, E. P., Vink, J. K., Horton, R. M., Gasparrini, A., Bader, D. A., Francis, J. D., & Kinney, P. L. (2017). Towards more comprehensive projections of urban heat-related mortality: Estimates for New York city under multiple population, adaptation, and climate scenarios. *Environ. Health Perspect.*, *125*(Kinney P.L.) Department of Environmental Health Sciences, Mailman School of Public Health, Columbia University, New York, NY, United States), 47–55–47–55. <http://dx.doi.org/10.1289/EHP166>
- Pezza, A. B., van Rensch, P., & Cai, W. (2012). Severe heat waves in Southern Australia: Synoptic climatology and large scale connections. *Climate Dynamics*, *38*(1–2), 209–224. <https://doi.org/10.1007/S00382-011-1016-2>
- Pham, M. T., Rajić, A., Greig, J. D., Sargeant, J. M., Papadopoulos, A., & McEwen, S. A. (2014). A scoping review of scoping reviews: advancing the approach and enhancing the consistency. *Research Synthesis Methods*, *5*(4), 371–385. <https://doi.org/10.1002/JRSM.1123>
- Pielke, R. A. (1998). Rethinking the role of adaptation in climate policy. *Global Environmental Change*, *8*(2), 159–170. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(98\)00011-9](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(98)00011-9)
- Poghosyan, L., & Carthon, J. M. B. (2017). The Untapped Potential of the Nurse Practitioner Workforce in Reducing Health Disparities. *Policy, Politics, and Nursing Practice*, *18*(2), 84–94. <https://doi.org/10.1177/1527154417721189>

- Porritt, S. M., Cropper, P. C., Shao, L., & Goodier, C. I. (2012). Ranking of interventions to reduce dwelling overheating during heat waves. *Energy and Buildings*, *55*, 16–27. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.01.043>
- Porritt, S., Shao, L., Cropper, P., & Goodier, C. (2011). Adapting dwellings for heat waves. *Sustainable Cities and Society*, *1*(2), 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2011.02.004>
- PRISMA. (2021). *PRISMA for Scoping Reviews*. American College of Physicians. <https://www.prisma-statement.org/Extensions/ScopingReviews>
- Puig, D. (2021). *Climate technologies in an urban context*. www.tech-action.org
- Pyrgou, A., & Santamouris, M. (2020). Probability Risk of Heat- and Cold-Related Mortality to Temperature, Gender, and Age Using GAM Regression Analysis. *Climate 2020*, *Vol. 8*, *Page 40*, *8*(3), 40. <https://doi.org/10.3390/CLI8030040>
- Quinn, A. D., Ferranti, E. J. S., Hodgkinson, S. P., Jack, A. C. R., Beckford, J., & Dora, J. M. (2018). Adaptation Becoming Business as Usual: A Framework for Climate-Change-Ready Transport Infrastructure. *Infrastructures 2018*, *Vol. 3*, *Page 10*, *3*(2), 10. <https://doi.org/10.3390/INFRASTRUCTURES3020010>
- Rai, M., Breitner, S., Wolf, K., Peters, A., Schneider, A., & Chen, K. (2019). Impact of climate and population change on temperature-related mortality burden in Bavaria, Germany. *Environmental Research Letters*, *14*(12), 124080. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/AB5CA6>
- Ramakrishnan, S., Wang, X., Sanjayan, J., & Wilson, J. (2017a). Thermal performance of buildings integrated with phase change materials to reduce heat stress risks during extreme heatwave events. *Applied Energy*, *194*, 410–421. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2016.04.084>
- Ramakrishnan, S., Wang, X., Sanjayan, J., & Wilson, J. (2017b). Thermal performance of buildings integrated with phase change materials to reduce heat stress risks during extreme heatwave events. *Applied Energy*, *194*, 410–421. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.04.084>
- Regulation (EC) N° 1059/2003 on the Establishment of a Common Classification of Territorial Units for Statistics (NUTS) (2003). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02003R1059-20180118&from=EN>

- Reid, C. E., O'Neill, M. S., Gronlund, C. J., Brines, S. J., Brown, D. G., Diez-Roux, A. v., & Schwartz, J. (2009). Mapping community determinants of heat vulnerability. *Environmental Health Perspectives*, *117*(11), 1730–1736. <https://doi.org/10.1289/EHP.0900683>
- Rigaud, K. K., de Sherbinin, A., Jones, B., Bergmann, J., Clement, V., Ober, K., Schewe, J., Adamo, S., McCusker, B., Heuser, S., & Midgley, A. (2018). *Groundswell: Preparing for Internal Climate Migration*. World Bank, Washington, DC. <https://doi.org/10.1596/29461>
- Rijal, H. B., Humphreys, M. A., & Nicol, J. F. (2019). Behavioural Adaptation for the Thermal Comfort and Energy Saving in Japanese Offices. *Journal of the Institute of Engineering*, *15*(2), 14–25. <https://doi.org/10.3126/JIE.V15I2.27637>
- Roca-Barceló, A., Fecht, D., Pirani, M., Piel, F. B., Nardocci, A. C., & Vineis, P. (2022). Trends in Temperature-associated Mortality in São Paulo (Brazil) between 2000 and 2018: an Example of Disparities in Adaptation to Cold and Heat. *Journal of Urban Health*, *99*(6), 1012–1026. <https://doi.org/10.1007/S11524-022-00695-7>
- Rocco, S. T., & Plakhotnik, S. M. (2009). Literature Reviews, Conceptual Frameworks, and Theoretical Frameworks: Terms, Functions, and Distinctions. *Http://Dx.Doi.Org/10.1177/1534484309332617*, *8*(1), 120–130. <https://doi.org/10.1177/1534484309332617>
- Rodrigues, M., Santana, P., & Rocha, A. (2021). Modelling of Temperature-Attributable Mortality among the Elderly in Lisbon Metropolitan Area, Portugal: A Contribution to Local Strategy for Effective Prevention Plans. *Journal of Urban Health*. <https://doi.org/10.1007/s11524-021-00536-z>
- Rodriguez-Alvarez, A., Orea, L., & Jamasb, T. (2019). Fuel poverty and Well-Being: A consumer theory and stochastic frontier approach. *Energy Policy*, *131*, 22–32. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2019.04.031>
- Rohat, G., Flacke, J., Dosio, A., Pedde, S., Dao, H., & van Maarseveen, M. (2019). Influence of changes in socioeconomic and climatic conditions on future heat-related health challenges in Europe. *Global and Planetary Change*, *172*, 45–59. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.09.013>

- Roldán, E., Gómez, M., Pino, M. R., & Díaz, J. (2014). The impact of extremely high temperatures on mortality and mortality cost. *Https://Doi.Org/10.1080/09603123.2014.938028*, *25*(3), 277–287. <https://doi.org/10.1080/09603123.2014.938028>
- Roldán, E., Gómez, M., Pino, M. R., Pórtoles, J., Linares, C., & Díaz, J. (2016). The effect of climate-change-related heat waves on mortality in Spain: uncertainties in health on a local scale. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, *30*(3), 831–839. <https://doi.org/10.1007/S00477-015-1068-7>
- Romanello, M., Di Napoli, C., Drummond, P., Green, C., Kennard, H., Lampard, P., Scamman, D., Arnell, N., Ayeb-Karlsson, S., Ford, L. B., Belesova, K., Bowen, K., Cai, W., Callaghan, M., Campbell-Lendrum, D., Chambers, J., van Daalen, K. R., Dalin, C., Dasandi, N., ... Costello, A. (2022). The 2022 report of the Lancet Countdown on health and climate change: health at the mercy of fossil fuels. *The Lancet*, *400*(10363), 1619–1654. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)01540-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)01540-9)
- Romanello, M., McGushin, A., Di Napoli, C., Drummond, P., Hughes, N., Jamart, L., Kennard, H., Lampard, P., Solano Rodriguez, B., Arnell, N., Ayeb-Karlsson, S., Belesova, K., Cai, W., Campbell-Lendrum, D., Capstick, S., Chambers, J., Chu, L., Ciampi, L., Dalin, C., ... Hamilton, I. (2021). The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: code red for a healthy future. *The Lancet*, *398*(10311), 1619–1662. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01787-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01787-6)
- Ruiz Álvarez, M., Aginagalde Llorente, A. H., & Llano Señaris, J. E. del. (2022). Los determinantes sociales de la salud en España (2010-2021): una revisión exploratoria de la literatura. *Revista Española de Salud Pública, ISSN 1135-5727, ISSN-e 2173-9110, N.º. 96, 2022, 96, 80*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8620643&info=resumen&idioma=SPA>
- Ruiz-Páez, R., Díaz, J., López-Bueno, J. A., Navas, M. A., Mirón, I. J., Martínez, G. S., Luna, M. Y., & Linares, C. (2023). Does the meteorological origin of heat waves influence their impact on health? A 6-year morbidity and mortality study in Madrid (Spain). *Science of the Total Environment*, *855*, 158900. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158900>

- Sánchez Martínez, G., Imai, C., & Masumo, K. (2011). Local heat stroke prevention plans in Japan: Characteristics and elements for public health adaptation to climate change. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *8*(12), 4563–4581. <https://doi.org/10.3390/ijerph8124563>
- Sánchez Martínez, Gerardo., Linares, C., Ayuso, A., Kendrovski, V., Boeckmann, M., & Diaz, J. (2019). Heat-health action plans in Europe: Challenges ahead and how to tackle them. In *Environmental Research* (Vol. 176, p. 108548). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108548>
- Santamouris, M., Pavlou, K., Synnefa, A., Niachou, K., & Kolokotsa, D. (2007). Recent progress on passive cooling techniques: Advanced technological developments to improve survivability levels in low-income households. *Energy and Buildings*, *39*(7), 859–866. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2007.02.008>
- Sanz, M. J., & Galán, E. (2021). *Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España*.
- Sanz-Barbero, B., Linares, C., Vives-Cases, C., González, J. L., López-Ossorio, J. J., & Díaz, J. (2018). Heat wave and the risk of intimate partner violence. *Science of The Total Environment*, *644*, 413–419. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.06.368>
- Sargeant, J. M., & O'Connor, A. M. (2020). Scoping Reviews, Systematic Reviews, and Meta-Analysis: Applications in Veterinary Medicine. *Frontiers in Veterinary Science*, *7*, 11. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00011>
- Satgar, V., & Cherry, J. (2019). Climate and food inequality: the South African Food Sovereignty Campaign response. *https://doi.org/10.1080/14747731.2019.1652467*, *17*(2), 317–337. <https://doi.org/10.1080/14747731.2019.1652467>
- Schifano, P., Cappai, G., De Sario, M., Michelozzi, P., Marino, C., Bargagli, A. M., & Perucci, C. A. (2009). Susceptibility to heat wave-related mortality: a follow-up study of a cohort of elderly in Rome. *Environmental Health : A Global Access Science Source*, *8*(1), 50. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-8-50>
- Schifano, P., Leone, M., De Sario, M., Dedonato, F., Bargagli, A. M., Dippoliti, D., Marino, C., & Michelozzi, P. (2012). Changes in the effects of heat on mortality

- among the elderly from 1998-2010: Results from a multicenter time series study in Italy. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 11(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-11-58>
- Schifano, P., Leone, M., de Sario, M., Dedonato, F., Bargagli, A. M., Dippoliti, D., Marino, C., & Michelozzi, P. (2012). Changes in the effects of heat on mortality among the elderly from 1998-2010: results from a multicenter time series study in Italy. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/1476-069X-11-58>
- Schweiker, M., Brasche, S., Bischof, W., Hawighorst, M., & Wagner, A. (2013). Explaining the individual processes leading to adaptive comfort: Exploring physiological, behavioural and psychological reactions to thermal stimuli. 36(4), 438–463. <https://doi.org/10.1177/1744259112473945>
- Schweiker, M., & Wagner, A. (2015). A framework for an adaptive thermal heat balance model (ATHB). *Building and Environment*, 94(P1), 252–262. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2015.08.018>
- Sharifi, A., Pathak, M., Joshi, C., & He, B. J. (2021). A systematic review of the health co-benefits of urban climate change adaptation. *Sustainable Cities and Society*, 74, 103190. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2021.103190>
- Sharma, J., & Ravindranath, N. H. (2019). Applying IPCC 2014 framework for hazard-specific vulnerability assessment under climate change. *Environmental Research Communications*, 1(5), 051004. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/AB24ED>
- Sharma, S., & Mujumdar, P. (2017). Increasing frequency and spatial extent of concurrent meteorological droughts and heatwaves in India. *Scientific Reports* 2017 7:1, 7(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15896-3>
- Sheridan, S. C., & Dixon, P. G. (2017). Spatiotemporal trends in human vulnerability and adaptation to heat across the United States. *Anthropocene*, 20, 61–73. <https://doi.org/10.1016/J.ANCENE.2016.10.001>
- Silva, V. de L., Cesse, E. Â. P., & Albuquerque, M. de F. P. M. de. (2014). Social determinants of death among the elderly: a systematic literature

- review. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, 17, 178–193. <https://doi.org/10.1590/1809-4503201400060015>
- Smid, M., Russo, S., Costa, A. C., Granell, C., & Pebesma, E. (2019). Ranking European capitals by exposure to heat waves and cold waves. *Urban Climate*, 27, 388–402. <https://doi.org/10.1016/J.UCLIM.2018.12.010>
- Smit, B., & Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 282–292. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2006.03.008>
- Smith, G. S., Anjum, E., Francis, C., Deanes, L., & Acey, C. (2022). Climate Change, Environmental Disasters, and Health Inequities: The Underlying Role of Structural Inequalities. *Current Environmental Health Reports* 2022 9:1, 9(1), 80–89. <https://doi.org/10.1007/S40572-022-00336-W>
- Son, J. Y., Bell, M. L., & Lee, J. T. (2014). The impact of heat, cold, and heat waves on hospital admissions in eight cities in Korea. *International Journal of Biometeorology*, 58(9), 1893–1903. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0791-y>
- Son, J. Y., Lee, J. T., Anderson, G. B., & Bell, M. L. (2011). Vulnerability to temperature-related mortality in Seoul, Korea. *Environmental Research Letters: ERL [Web Site]*, 6(3). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/3/034027>
- Song, B.-G., Park, K.-H., Kim, G.-A., Kim, S.-H., Park, G.-U., & Mun, H.-S. (2020). Analysis of Relationship between the Spatial Characteristics of the Elderly Population Distribution and Heat Wave based on GIS - focused on Changwon City -. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 23(3), 68–84. <https://doi.org/10.11108/KAGIS.2020.23.3.068>
- Sorensen, C., Saunik, S., Sehgal, M., Tewary, A., Govindan, M., Lemery, J., & Balbus, J. (2018). Climate Change and Women's Health: Impacts and Opportunities in India. *GeoHealth*, 2(10), 283–297. <https://doi.org/10.1029/2018GH000163>
- Stafoggia, M., Forastiere, F., Agostini, D., Biggeri, A., Bisanti, L., Cadum, E., Caranci, N., De'Donato, F., De Lisio, S., De Maria, M., Michelozzi, P., Migliorini, R., Pandolfi, P., Picciotto, S., Rognoni, M., Russo, A., Scarnato, C., & Perucci, C. A. (2006). Vulnerability to heat-related mortality: A multicity, population-based,

- case-crossover analysis. *Epidemiology*, 17(3), 315–323.
<https://doi.org/10.1097/01.ede.0000208477.36665.34>
- Storå, N. (1994). La ecología cultural y la interacción entre el hombre y su entorno. *Cultural Ecology. One Theory*, 11–23.
- Susan Solomon, D., Singh, C., & Islam, F. (2021). Examining the outcomes of urban adaptation interventions on gender equality using SDG 5. *Climate and Development*, 0(0), 1–12. <https://doi.org/10.1080/17565529.2021.1939643>
- Székely, M., & Garai, J. (2018). Thermoregulation and age. *Handbook of Clinical Neurology*, 156, 377–395. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63912-7.00023-0>
- Tait, P. W., & Hanna, E. G. (2015). A Conceptual Framework for Planning Systemic Human Adaptation to Global Warming. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2015, Vol. 12, Pages 10700-10722, 12(9), 10700–10722. <https://doi.org/10.3390/IJERPH120910700>
- Tamene, E. H. (2016). Theorizing conceptual framework. *Asian Journal of Educational Research*, 4, 50–56.
- Taylor, J., Wilkinson, P., Davies, M., Armstrong, B., Chalabi, Z., Mavrogianni, A., Symonds, P., Oikonomou, E., & Bohnenstengel, S. I. (2015). Mapping the effects of urban heat island, housing, and age on excess heat-related mortality in London. *Urban Climate*, 14, 517–528.
<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.08.001>
- Thai, P. K., Candido, C., Asumadu-Sakyi, A., Barnett, A., & Morawska, L. (2019). Variation of indoor minimum mortality temperature in different cities: Evidence of local adaptations. *Environmental Pollution (Barking, Essex : 1987)*, 246(MEDLINE:30623830), 745–752–745–752.
- The Lancet. (2021). Health in a world of extreme heat. *The Lancet*, 398(10301), 641.
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01860-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01860-2)
- The White House. (2023). *National Climate Resilience Framework*.
<https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2023/09/National-Climate-Resilience-Framework-FINAL.pdf>

- Tobías, A., Armstrong, B., Gasparrini, A., & Diaz, J. (2014). Effects of high summer temperatures on mortality in 50 Spanish cities. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, *13*(1), 1–6. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-13-48>
- Tobias, A., Armstrong, B., Zuza, I., Gasparrini, A., Linares, C., & Diaz, J. (2012). Mortality on extreme heat days using official thresholds in Spain: A multi-city time series analysis. *BMC Public Health*, *12*(1), 133. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-133>
- Tobías, A., Hashizume, M., Honda, Y., Sera, F., Ng, C. F. S., Kim, Y., Roye, D., Chung, Y., Dang, T. N., Kim, H., Lee, W., Íñiguez, C., Vicedo-Cabrera, A., Abrutzky, R., Guo, Y., Tong, S., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Saldiva, P. H. N., Lavigne, E., ... Gasparrini, A. (2021). Geographical Variations of the Minimum Mortality Temperature at a Global Scale: A Multicountry Study. *Environmental Epidemiology*, *5*(5), E169. <https://doi.org/10.1097/EE9.000000000000169>
- Todd, N., & Valleron, A. J. (2015a). Space-Time Covariation of Mortality with Temperature: A Systematic Study of Deaths in France, 1968-2009. *Environmental Health Perspectives*, *123*(7), 659–664. <https://doi.org/10.1289/EHP.1307771>
- Todd, N., & Valleron, A.-J. (2015b). Space-Time Covariation of Mortality with Temperature: A Systematic Study of Deaths in France, 1968-2009. *Environmental Health Perspectives*, *123*(MEDLINE:25803836), 659–64–659–64.
- Tong, S., Wang, X. Y., Yu, W., Chen, D., & Wang, X. (2014). The impact of heatwaves on mortality in Australia: a multicity study. *BMJ Open*, *4*(2), e003579. <https://doi.org/10.1136/BMJOPEN-2013-003579>
- Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K., Colquhoun, H., Kastner, M., Levac, D., Ng, C., Sharpe, J. P., Wilson, K., Kenny, M., Warren, R., Wilson, C., Stelfox, H. T., & Straus, S. E. (2016). A scoping review on the conduct and reporting of scoping reviews. *BMC Medical Research Methodology*, *16*(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/S12874-016-0116-4>

- Turek-Hankins, L. L., Coughlan de Perez, E., Scarpa, G., Ruiz-Diaz, R., Schwerdtle, P. N., Joe, E. T., Galappaththi, E. K., French, E. M., Austin, S. E., Singh, C., Siña, M., Siders, A. R., van Aalst, M. K., Templeman, S., Nunbogu, A. M., Berrang-Ford, L., Agrawal, T., team, the G. A. M. I., & Mach, K. J. (2021). Climate change adaptation to extreme heat: a global systematic review of implemented action. *Oxford Open Climate Change*, *1*(1), 5. <https://doi.org/10.1093/OXFCLM/KGAB005>
- Tyler, C. J., Reeve, T., Hodges, G. J., & Cheung, S. S. (2016). The Effects of Heat Adaptation on Physiology, Perception and Exercise Performance in the Heat: A Meta-Analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *46*(11), 1699–1724. <https://doi.org/10.1007/S40279-016-0538-5>
- UNEP. (2018). *Adaptation Gap report 2018*. <https://www.unep.org/resources/adaptation-gap-report-2018>
- UNFCCC. (n.d.). *Definitions*. Retrieved April 13, 2023, from <https://unfccc.int/resource/ccsites/zimbab/conven/text/art01.htm>
- UN-HABITAT. (2010). *State of the world's cities 2010/2011: bridging the urban divide*. Earthscan. <https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/State%20of%20the%20World%20Cities%2020102011%20-%20Cities%20for%20All%20Bridging%20the%20Urban%20Divide.pdf>
- United Nations. (2020). *The Sustainable Development Goals Report*. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2020.pdf>
- United Nations Environment Programme. (2022). *Adaptation Gap Report 2022: Too little, too slow - Climate adaptation failure puts world at risk*. <https://www.unep.org/adaptation-gap-report-2022>
- van Steen, Y., Ntarladima, A. M., Grobbee, R., Karssenber, D., & Vaartjes, I. (2019). Sex differences in mortality after heat waves: are elderly women at higher risk? *International Archives of Occupational and Environmental Health*, *92*(1), 37–48. <https://doi.org/10.1007/S00420-018-1360-1>
- Varpio, L., Paradis, E., Uijtdehaage, S., & Young, M. (2020). The Distinctions Between Theory, Theoretical Framework, and Conceptual Framework.

- Vicedo-Cabrera, A. M., Sera, F., Guo, Y., Chung, Y., Arbuthnott, K., Tong, S., Tobias, A., Lavigne, E., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Hilario Nascimento Saldiva, P., Goodman, P. G., Zeka, A., Hashizume, M., Honda, Y., Kim, H., Ragettli, M. S., Roosli, M., Zanobetti, A., Schwartz, J., ... Gasparrini, A. (2018). A multi-country analysis on potential adaptive mechanisms to cold and heat in a changing climate. *Environment International*, 111(MEDLINE:29272855), 239–246–239–246.
- Vins, H., Bell, J., Saha, S., & Hess, J. J. (2015). The Mental Health Outcomes of Drought: A Systematic Review and Causal Process Diagram. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2015, Vol. 12, Pages 13251-13275, 12(10), 13251–13275. <https://doi.org/10.3390/IJERPH121013251>
- Wang, C., Zhang, Z., Zhou, M., Wang, P., Yin, P., Ye, W., & Zhang, L. (2018). Different response of human mortality to extreme temperatures (MoET) between rural and urban areas: A multi-scale study across China. *Health and Place*, 50, 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2018.01.011>
- Wang, W., & McCarl, B. A. (2011). *Inter-Temporal Investment in Climate Change Adaptation and Mitigation*. <https://doi.org/10.22004/AG.ECON.103408>
- Watts, N., Amann, M., Ayeb-Karlsson, S., Belesova, K., Bouley, T., Boykoff, M., Byass, P., Cai, W., Campbell-Lendrum, D., Chambers, J., Cox, P. M., Daly, M., Dasandi, N., Davies, M., Depledge, M., Depoux, A., Dominguez-Salas, P., Drummond, P., Ekins, P., ... Costello, A. (2018). The Lancet Countdown on health and climate change: from 25 years of inaction to a global transformation for public health. *Lancet (London, England)*, 391(10120), 581–630. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32464-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32464-9)
- Weilhammer, V., Schmid, J., Mittermeier, I., Schreiber, F., Jiang, L., Pastuhovic, V., Herr, C., & Heinze, S. (2021). Extreme weather events in Europe and their health consequences – A systematic review. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 233, 113688. <https://doi.org/10.1016/J.IJHEH.2021.113688>

- Weitensfelder, L., & Moshhammer, H. (2020). Evidence of Adaptation to Increasing Temperatures. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(1). <https://doi.org/10.3390/IJERPH17010097>
- WHO. (2015). *Operational framework for building climate resilient health systems*. www.who.int
- WHO. (2021a). *Health promotion glossary of terms 2021*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/350161/9789240038349-eng.pdf?sequence=1>
- WHO. (2021b, October 30). *Climate change and health*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>
- WHO. (2022). *Mental health and Climate Change: Policy Brief*. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/354104/9789240045125-eng.pdf>
- WHO Regional Office for Europe. (2021). Heat and health in the WHO European Region: updated evidence for effective prevention. In G. Sanchez Martinez, F. De'Donato, & V. Kendrovski (Eds.), *WHO Regional Office for Europe*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/339462/9789289055406-eng.pdf>
- Wickham, K. A., Wallace, P. J., & Cheung, S. S. (2020). Sex differences in the physiological adaptations to heat acclimation: a state-of-the-art review. *European Journal of Applied Physiology* 2020 121:2, 121(2), 353–367. <https://doi.org/10.1007/S00421-020-04550-Y>
- Wolf, T., & McGregor, G. (2013). The development of a heat wave vulnerability index for London, United Kingdom. *Weather and Climate Extremes*, 1, 59–68. <https://doi.org/10.1016/J.WACE.2013.07.004>
- World Health Organization. (2008). Closing the gap in a generation: health equity through action on the social determinants of health. In *World Health Organization*. World Health Organization. http://www.who.int/social_determinants/thecommission/finalreport/en/
- Yang, J., Zhou, M., Ren, Z., Li, M., Wang, B., Liu, D. L., Ou, C. Q., Yin, P., Sun, J., Tong, S., Wang, H., Zhang, C., Wang, J., Guo, Y., & Liu, Q. (2021a). Projecting

- heat-related excess mortality under climate change scenarios in China. *Nature Communications*, *12*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21305-1>
- Yang, J., Zhou, M., Ren, Z., Li, M., Wang, B., Liu, D. L., Ou, C. Q., Yin, P., Sun, J., Tong, S., Wang, H., Zhang, C., Wang, J., Guo, Y., & Liu, Q. (2021b). Projecting heat-related excess mortality under climate change scenarios in China. *Nature Communications* *2021 12:1*, *12*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21305-1>
- Yang, X., Zeng, G., Iyakaremye, V., & Zhu, B. (2022). Effects of different types of heat wave days on ozone pollution over Beijing-Tianjin-Hebei and its future projection. *Science of The Total Environment*, *837*, 155762. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.155762>
- Yin, Q., Wang, J., Ren, Z., Li, J., & Guo, Y. (2019). Mapping the increased minimum mortality temperatures in the context of global climate change. *Nature Communications*, *10*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12663-y>
- Yu, J., Castellani, K., Forsysinski, K., Gustafson, P., Lu, J., Peterson, E., Tran, M., Yao, A., Zhao, J., & Brauer, M. (2021). Geospatial indicators of exposure, sensitivity, and adaptive capacity to assess neighbourhood variation in vulnerability to climate change-related health hazards. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, *20*(1), 1–20. <https://doi.org/10.1186/S12940-021-00708-Z>
- Yu, W., Vaneckova, P., Mengersen, K., Pan, X., & Tong, S. (2010). Is the association between temperature and mortality modified by age, gender and socio-economic status? *Science of The Total Environment*, *408*(17), 3513–3518. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2010.04.058>
- Zhao, Q., Guo, Y., Ye, T., Gasparrini, A., Tong, S., Overcenco, A., Urban, A., Schneider, A., Entezari, A., Vicedo-Cabrera, A. M., Zanobetti, A., Analitis, A., Zeka, A., Tobias, A., Nunes, B., Alahmad, B., Armstrong, B., Forsberg, B., Pan, S. C., ... Li, S. (2021). Global, regional, and national burden of mortality associated with non-optimal ambient temperatures from 2000 to 2019: a three-stage modelling study. *The Lancet Planetary Health*, *5*(7), e415–e425. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00081-4](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00081-4)

Zuo, J., Pullen, S., Palmer, J., Bennetts, H., Chileshe, N., & Ma, T. (2015). Impacts of heat waves and corresponding measures: A review. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 92, pp. 1–12). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.078>

Anexos



Human adaptation to heat in the context of climate change: A conceptual framework

Miguel Ángel Navas-Martín^{a,b,*}, Teresa Cuervo-Vilches^c, José Antonio López-Bueno^b, Julio Díaz^b, Cristina Linares^b, Gerardo Sánchez-Martínez^d

^a Programme in Biomedical Sciences and Public Health, National University of Distance Education (UNED), Madrid, Spain

^b National School of Public Health, Carlos III Institute of Health (ISCIII), Madrid, Spain

^c Eduardo Torroja Construction Sciences Institute (IETCC), Spanish National Research Council (CSIC), Madrid, Spain

^d European Environment Agency (EEA), Copenhagen, Denmark

ARTICLE INFO

Keywords:

Adaptation
Climate change
Heat
Conceptual framework
Mortality

ABSTRACT

Climate change is causing serious damage to natural and social systems, as well as having an impact on human health. Among the direct effects of climate change is the rise in global surface temperatures and the increase in the frequency, duration, intensity and severity of heat waves. In addition, understanding of the adaptation process of the exposed population remains limited, posing a challenge in accurately estimating heat-related morbidity and mortality. In this context, this study seeks to establish a conceptual framework that would make it easier to understand and organise knowledge about human adaptation to heat and the factors that may influence this process. An inductive approach based on grounded theory was used, through the analysis of case studies connecting concepts. The proposed conceptual framework is made up of five components (climate change, vulnerability, health risks of heat, axes of inequality and health outcomes), three heat-adaptation domains (physiological, cultural and political), two levels (individual and social), and the pre-existing before a heat event. The application of this conceptual framework facilitates the assistance of decision-makers in planning and implementing effective adaptation measures. Recognizing the importance of addressing heat adaptation as a health problem that calls for political solutions and social changes. Accordingly, this requires a multidisciplinary approach that would foster the participation and collaboration of multiple actors for the purpose of proposing effective measures to address the health impact of the rise in temperature.

1. Introduction

1.1. Background

Human action has already caused a rise in the mean global surface temperature of 1.1 °C above the pre-industrial mean (IPCC, 2023). This phenomenon is leading to a greater frequency and intensity of extreme weather events, something that is, in turn, causing severe damage to natural and social systems and having important effects on human health (Romanello et al., 2022). Among the direct effects of climate change are the rise in global surface temperatures and the increase in the frequency, duration, intensity and severity of heat waves (IPCC, 2022b). The world is facing a climate crisis that affects peace, security and health, among other key dimensions of human life. Adaptation has become more prominent as a worldwide challenge encompassing local,

subnational, national, regional, and global aspects. It is now a central focus on both domestic and international political agendas, acknowledged as being equally vital as efforts to mitigate climate change (UNEP, 2022). Climate change will induce tens of millions of people to move within their nations by 2050, seeking to escape the adverse impacts of it. These displacements will originate in less sustainable regions characterised by low water availability and low agricultural productivity, as well as in areas affected by sea-level rise and cyclonic storms. The most impoverished and climate-vulnerable communities will be the most impacted (Rigaud et al., 2018). Although greenhouse gas emissions might be completely eliminated, the climate impacts that are already occurring will continue for some time (European Commission, 2021). Human influence, according to future emission scenarios, will continue to change climate conditions, something that will very likely bring about a rise in sea levels and virtually certain an increase in extreme heat

* Corresponding author. National School of Health, Carlos III Health Institute Avda. Monforte de Lemos 5, 28029, Madrid, Spain.

E-mail address: mnavas89@alumno.uned.es (M.Á. Navas-Martín).

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118803>

Received 30 November 2023; Received in revised form 21 March 2024; Accepted 25 March 2024

Available online 31 March 2024

0013-9351/© 2024 The Authors. Published by Elsevier Inc. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

(IPCC, 2023). While human beings have a high capacity to adapt to heat (Périard et al., 2016), heat-related mortality has shown a decline in certain countries, such as the United States, Sweden, Spain or Japan. In addition to the demographic and socioeconomic changes themselves, this reduction is attributed to technological, infrastructural, and biophysical adaptations, including the widespread use of air conditioning (Åström et al., 2016; Chung et al., 2018; Davis et al., 2003; Follos et al., 2021). However, our understanding of the adaptation process of the exposed population remains limited, posing a challenge in accurately estimating heat-related morbidity and mortality for projections in the future (Folkerts et al., 2020; Navas-Martín et al., 2024).

Climate and weather conditions have a considerable impact on people's health and wellbeing. Every year, millions of persons die due to environmental factors, which are often aggravated by climate change or its drivers. In fact, climate change acts as a multiplier of global health threats, exacerbating many of the health problems which already confront communities, and disproportionately affect the most vulnerable groups, particularly in low-income countries, by increasing inequalities (UNEP, 2018). Heat waves are associated with an increase in gender-based violence, increasing the risk of femicides, as well as the number of police reports and calls to emergency phones (Sanz-Barbero et al., 2018). In addition, drought is also related to mental health, affecting mood, the incidence of intimate partner violence and the risk of suicide (Padrón-Monedero et al., 2024; Vins et al., 2015). Not only the impact itself, but the climate emergency situation itself causes anxiety, depression, stress, fear, suicidal behavior and even eco-anxiety, among other possible mental health and psychosocial problems (WHO, 2022).

1.2. The concept of adaptation

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) defines adaptation as the process of adjustment to actual or expected climate and its effects, with the aim of moderating or avoiding harm or exploiting beneficial opportunities. Whereas in natural systems, adaptation implies an adjustment to the current climate and its effects, the presence of human intervention can facilitate adaptation to the expected climate and its consequences. Similarly, adaptive capacity is defined as the ability of systems, institutions, humans and other organisms to adjust to potential damage, to take advantage of opportunities, or to respond to consequences (IPCC, 2022a). From an epidemiological approach, heat adaptation primarily involves population-level responses aimed at mitigating the health impacts of heat-related events, indicating a collective approach rather than individual adjustments (Petkova et al., 2014).

Climate-change adaptation can be implemented by different strategies, such as health and wellbeing, economic and human security, agriculture and subsistence livelihood, infrastructure and built environment, and socio-cultural impacts (Turek-Hankins et al., team). Adaptation in health is developing, executing, overseeing, and assessing strategies, policies, and programs aimed at handling the risks associated with health outcomes relevant to climate change. Therefore, the adaptation strategy aims to mitigate the adverse effects that climate change can impose on the health of individuals, communities, and the health systems themselves. Such adaptation can either occur spontaneously, as the result of unforeseen actions, or can alternatively be planned and specifically targeted at reducing the health impact of climate change. One example of planned adaptation is upgrading health systems to cope with extreme climate events (UNEP, 2018).

1.3. Climate-change adaptation frameworks

A great variety of conceptual and theoretical frameworks address adaptation and climate change, and cover a wide range of issues and aspects. Some authors propose frameworks covering: adaptation of factors that determine vulnerability (Brooks et al., 2005); actions and barriers in adaptation processes (Eisenack and Stecker, 2012); indicators

for the natural environment (Pearce-Higgins et al., 2022); equity in adaptation responses (Araos et al., 2021); adaptation of transport infrastructure (Quinn et al., 2018); and how adaptation affects different forms of tourism (Jopp et al., 2010). Other authors have proposed frameworks covering the strategies, evaluation and adaptive capacity of cities and buildings (Araos et al., 2016; Barbosa et al., 2016; Chen et al., 2016; Filho et al., 2019; Kim and Lim, 2016).

However, there are fewer frameworks that specifically address climate change adaptation in the context of health, and even fewer that specifically target heat adaptation. In 2004, the researchers Füssel and Klein drew up a report based on a review of the different conceptual frameworks of adaptation, for evaluating planned adaptations that might affect health in the context of climate change. In their findings, they concluded that there was no single approach to evaluating adaptation policies which was capable of addressing the diversity of health problems. Likewise, no single conceptual framework covered all the relevant issues for evaluating adaptation in respect of human health (Füssel and Klein, 2004). In 2006, the same authors presented a conceptual framework which addresses evaluations of vulnerability to climate change for different purposes, including that of developing adaptation strategies to reduce climate-sensitive risks (Füssel and Klein, 2006).

More recently, Tait and Hanna (2015) proposed a more specific conceptual framework on human adaptation to global warming. Notably, it includes three climate-change adaptation domains (acclimatization, adaptation behaviours and technology) which operate on two levels (personal and social) and within the levels and diverse factors or specific elements that form part of subsystems (Fig. 1). Boeckmann and Zeeb (2016), on the other hand, proposed a framework that is noteworthy for linking two principal concepts, namely climate-change impacts and health outcomes, with seven domains that show variables and content which can be used to measure the achievement of climate justice (Fig. 2). While the first framework only considers three dimensions of adaptation, acclimatization, behaviours and technology, but does not contemplate health outcomes. The second framework encompasses seven dimensions of adaptation but is focused on the evaluation of adaptation from the perspective of justice but does not consider the two levels.

In this context, the information available from epidemiological research on adaptation indicates that the relationship between temperature and mortality is restricted (Navas-Martín et al., 2024). Taking this into account, to guide the conceptual framework, the following research question was posed: How are adaptation and vulnerability to heat linked to adaptation processes in a context that addresses climate change, vulnerability, social inequalities and health? The aim of this study was therefore to establish a conceptual framework on heat adaptation and its relationship with health. This framework could help

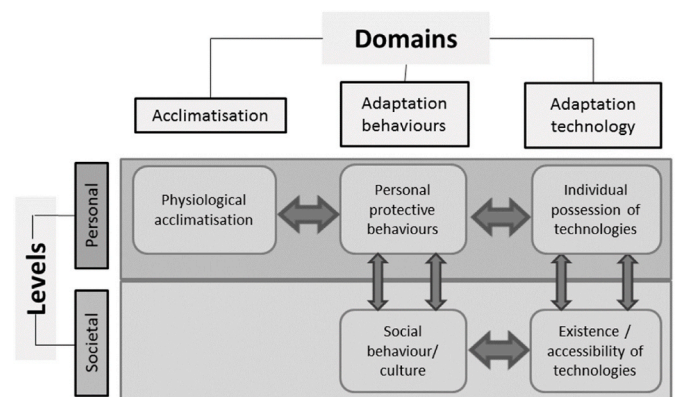


Fig. 1. Conceptual framework on climate change adaptation (Tait and Hanna, 2015).

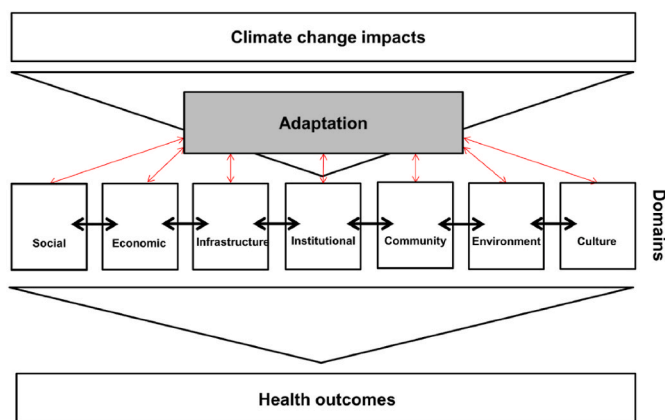


Fig. 2. Theoretical framework for assessing adaptation in terms of climate justice concerns (Boeckmann and Zeeb, 2016).

researchers and policy makers to understand and efficiently organise knowledge (Rocco and Plakhotnik, 2009) of human adaptation to heat and the factors that go to influence this process. This framework will contribute to knowledge on heat adaptation based on research experience on heat-related mortality and morbidity in a specific population. Its results imply the capacity to carry out concrete actions on heat adaptation policies and measures, particularly on health policies aimed at addressing the health impact of heat events. These actions include the development of direct policy action or regulation, the implementation of technical solutions such as architectural improvements, and raising public awareness through awareness campaigns and behavioural changes.

2. Methods

A conceptual framework is an interconnected network or structure of concepts, contributing to a comprehensive understanding of a specific phenomenon or phenomena. A concept is a idea formed by components that collectively define it. In research, the conceptual framework is not discovered but rather constructed by the researcher, who builds the overall structure and coherence by incorporating borrowed elements or may have originated from their own ideas on your research (Kivunja, 2018; Tamene, 2016). It is carried out through an inductive process in which small individual pieces (concepts) are linked together with their possible relationships (Imenda, 2017).

To develop the proposed conceptual framework, an inductive approach based on grounded theory was used, through the analysis of case studies. The inductive approach makes it possible to start from scratch as data are collected and analysed until the research result is obtained. One of the methodological references of inductive research is grounded theory (Bryman, 2012; Neuman, 2014), which has evolved over time. Grounded theory is a flexible methodology that facilitates the discovery or construction of a theory, as well as the generation and connection of concepts from qualitative and quantitative data. This allows for the conceptual development of the research (Chun Tie et al., 2019; Holton, 2008). For the interrelationship of the concepts developed in the conceptual framework (Fig. 3), we used findings drawn from our own case studies, bearing in mind that, unlike a theoretical framework which is based on knowledge established by experts, a conceptual framework is developed on the basis of the ideas and thoughts of the researchers themselves (Kivunja, 2018). For this reason, the case selection was purposeful, not random.

Information-rich cases were selected to allow for an in-depth analysis according to the research question (Ebneyamini and Sadeghi Moghadam, 2018). For this purpose, based on the studies carried out by the research group, those cases related to the impact on health due to the effects of high temperatures were selected. They were grouped into two

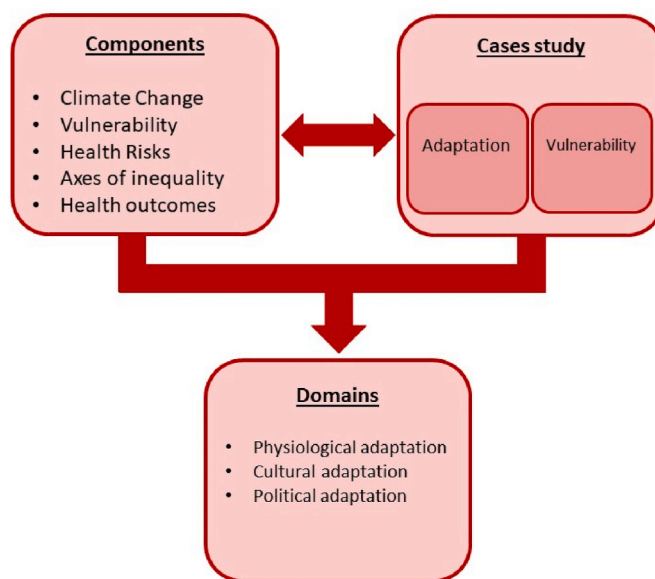


Fig. 3. Diagrammatical overview for the interrelationship of the concepts developed in the conceptual framework.

case study groups to address the study objectives, one related to vulnerability and other capacity to adapt to heat. The case study is used in research to gain a detailed and comprehensive understanding of a complex topic within its real environment. It is widely used in a variety of disciplines, and although its definition may vary, its essential core is based on the imperative of a thorough exploration of an event or phenomenon in its natural context and particularly useful in the construction of new theories (Crowe et al., 2011; Ebneyamini and Sadeghi Moghadam, 2018). Furthermore, in the analysis of the case studies, the cases were categorized (Chun Tie et al., 2019) to relate the concepts of the framework and understand the interrelationships between them. Finally, to connect own ideas with borrowed elements, two relatively recent adaptation frameworks (Boeckmann and Zeeb, 2016; Tait and Hanna, 2015) were used in addition to the principal components. The selection of the frameworks was carried out through a literature review using the Web of Science search engine with the keywords “framework”, “heat”, and “adaptation”, using the Boolean operator AND and filtering between the last 10 years (2013–2023). Subsequently, a screening process was carried out according to the objectives of the study, obtaining the two frameworks.

3. Development of the conceptual framework

The conceptual framework consists of five main components which are interrelated on two levels. Each level includes the pre-existing conditions and respective domains of adaptation (Fig. 4).

3.1. Main components of the conceptual framework

3.1.1. Climate change

Climate change is defined as the change in climate conditions deemed to be caused, directly or indirectly, by human activity, which modifies the composition of the Earth’s atmosphere and is added to the natural climate variations that have been recorded in comparable time periods (UNFCCC, n.d.). Traditionally, there have been two political approaches to this problem: on the one hand, there is adaptation to climate change, which implies adjusting to changing climate conditions; on the other, there is mitigation, which entails limitation of greenhouse gas emissions or the use of carbon sinks (Wang and McCarl, 2011). In the context of the impact of climate change on human health, adaptation and mitigation measures, such as warning systems, serve to reduce the

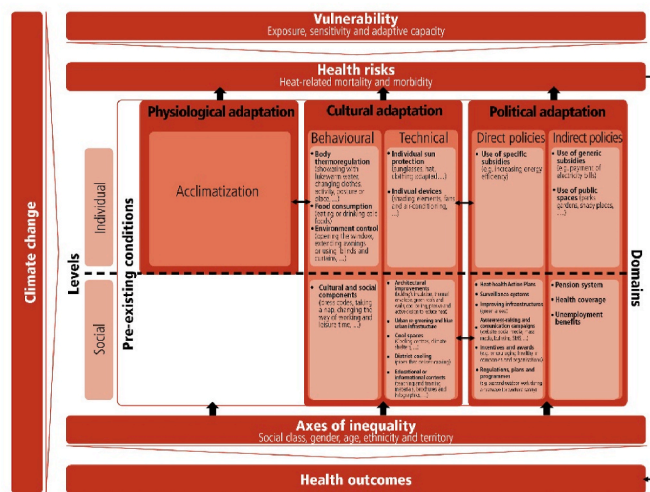


Fig. 4. Conceptual framework of the time trends in human adaptation to heat in the context of climate change. It is defined with 5 main components (climate change, vulnerability, health risks, axes, and health outcomes).

morbidity and mortality of a given population (Luyten et al., 2023; Sharifi et al., 2021).

3.1.2. Vulnerability

Vulnerability refers to the level of capacity of a person, group of persons or system to cope with the negative health consequences which climate change may generate. It is determined by exposure, sensitivity and adaptive capacity to risk factors (Füssel and Klein, 2006; Mari-Dell’olmo et al., 2022; Paavola, 2017). Lack of economic resources and access to essential services, such as health, limits people’s ability to adapt and respond to the challenges of climate change. Those living in the poorest and most unequal conditions are the most vulnerable to the impacts of climate change (WHO, 2015).

3.1.3. Health risks

Risk, in this context, refers to the possibility of there being negative effects which may endanger human or ecological systems, and whose result or degree of impact cannot be accurately predicted. Risks arise from the combination of the vulnerability of the affected system, prolonged exposure to danger, and the probability of such danger occurring, which is linked to the climate (IPCC, 2022a, 2022b). Climate change involves numerous risks for human health, such as air quality, vector distribution and ecology; nutrient dense diets and food safety; water quality and quantity; heat stress, extreme weather events, floods, storms, wildfires, droughts and other phenomena (Austin et al., 2015; IPCC, 2023; McMichael, 2012; Mojahed et al., 2022).

Health risks are hazards or threats, which arise due to climate change and affect human health. Such risks can affect health in different ways, including the development or aggravation of respiratory diseases, mental health problems and other adverse effects. When it comes to the health risks posed by extreme temperatures from heat events, these are reflected in the increased mortality and morbidity associated with such situations (IPCC, 2022b; Patz et al., 2005; WHO, 2021b).

3.1.4. Axes of inequality

The axes of inequality that determine the distribution of power in a society and have an impact on health include social class, gender, age, ethnicity or race, and territory (Borrell et al., 2012; Comisión para Reducir las Desigualdades Sociales en Salud en España, 2015). In the context of climate change, the different axes influence the opportunities that a given individual has to maintain their health in a good state, be in a condition to adapt to climate change and avoid its consequences on their health. People with fewer economic and social resources are the

ones who are most exposed to the effects of climate change and face the greatest obstacles to adjusting to and recovering from these effects (Mari-Dell’olmo et al., 2022).

3.1.5. Health outcomes

Health outcomes refer to changes in the health status of an individual, group or population, which are due to a planned intervention or a series of interventions, regardless of whether or not the stated aim of the intervention is to change health status (WHO, 2021a). In the context of climate change, outcomes are determined by health risks, as well as how people are exposed to these risks, their sensitivity to them, and their ability to adapt. These elements, including mode of exposure, sensitivity, and adaptive capacity, combine to determine vulnerability (Paavola, 2017). Although there is difficulty of linking climate change adaptation to health outcomes due to complex interactions, methodological limitations, and incomplete causal understanding in epidemiology (Boeckmann and Zeeb, 2016).

3.2. Levels of the conceptual framework

3.2.1. Individual level

Individual level refers to the perspective of analysis focused on the person (as the basic unit of analysis), taking into account their characteristics and behaviour. In the context of the adaptation process, it refers to the personal conditions that determine this process at a micro level.

3.2.2. Social level

Social level refers to the perspective of analysis focused on persons, considering their interaction and influence in the group context in which they act. In the context of the adaptation process, it refers to the community conditions that determine this process at a macro level.

3.3. Pre-existing conditions

Pre-existing conditions refer to the circumstances or factors that are already present in an individual or population before an event occurs, which in this case means a heat event. At the individual level, in a health context, these are diseases, such as cardiac, pulmonary, renal, psychiatric diseases and acute cerebrovascular accidents, which are present in an individual before a heat event and are thus exacerbated when the event occurs (Huertas et al., 2021). According to Sánchez Martínez et al. (Sánchez Martínez, 2019; Sánchez Martínez et al., 2011, 2022), at the social level, there are direct or indirect policies targeting the reduction of vulnerability to heat. Pre-existing conditions can act as a protective factor or risk factor, and several can occur simultaneously.

At an individual level, bearing in mind that vulnerability to extreme heat is determined by each individual’s exposure, sensitivity and adaptive capacity, pre-existing conditions may result in some persons being more vulnerable than others to the effects of climate change, experiencing more adverse health outcomes than the rest (Paavola, 2017; Sheridan and Dixon, 2017). Among the various factors that can influence the effects of heat is physical condition or consumption of toxic substances (such as alcohol or drugs), which can modulate the way in which a person experiences the effects of extreme heat (Asghari et al., 2017). At the resource level, having air conditioning or better housing affects exposure to heat (López-Bueno et al., 2020; López-Bueno et al., 2021a,b,c).

At a social level, vulnerability and its effects on health are determined by a community’s exposures, sensitivities and adaptive capacity in the face of a threat (Yu et al., 2021). The resources, infrastructure and means available at a community level are also a decisive factor when it comes to adaptation and reducing vulnerability. For instance, the implementation of direct policies, such as heat-health action plans, and indirect policies, such as health coverage, pension plans, or unemployment benefits, can mitigate social vulnerability and its impact on health by modulating the effects of heat (Sánchez Martínez et al., 2011, 2022,

2019). Moreover, various pre-existing factors influence the adaptation to heat, including population acclimatization (Navas-Martín et al., 2022a,b), pollution levels (Culqui et al., 2017; Egea et al., 2023; Linares et al., 2020a,b; Ruiz-Páez et al., 2023), climate conditions (Carmona et al., 2017; López-Bueno et al., 2019; López-Bueno et al., 2021a,b,c), and meteorological factors (Miron et al., 2008; Ruiz-Páez et al., 2023).

3.4. Domains of the conceptual framework

Heat adaptation processes can be approached from different various perspectives, as evidenced by organisations such as the WHO (2015) and national health authorities such as the United Kingdom (Government of United Kingdom, 2023), the United States (The White House, 2023) and Canada (Government of Canada, 2023) through resilience to climate change. Regarding adaptation, as there are many definitions and, thus, many different categories, which makes it impossible to have a universal classification (Noble et al., 2015; Smit and Wandel, 2006). Some authors suggest approaching it from the perspective of comfort: these are the classifications of physiological, psychological and behavioural adaptation (Schweiker et al., 2013; Schweiker and Wagner, 2015). Other authors have focused on cultural (Ellen, 2018; Smit and Wandel, 2006), behavioural (Indraganti, 2010; Rijal et al., 2019) or even joint cultural/behavioural adaptation (Araos et al., 2021), as well as adaptive (Biesbroek et al., 2018; Dupuis and Biesbroek, 2013) or institutional policy (Araos et al., 2021; Bellamy, 2019; Noble et al., 2015), among others. Within the proposed conceptual framework, three domains of heat adaptation response are identified: physiological, cultural, and political.

3.4.1. Physiological adaptation (acclimatization)

Physiological adaptation to heat, also known as acclimatization, refers to adjustments made in bodily mechanisms in response to regular exposure to high temperatures, triggering reactions that reduce the adverse impacts of heat stress. Accomplished through increased sweating and skin blood flow reactions, improved fluid balance and cardiovascular stability, a reduced metabolic rate, expansion of plasma volume, and the development of thermal tolerance (Périard et al., 2015). Functional or physiological adaptation is acquired during one's lifetime and is not genetically heritable (Leonard, 2015): 7–14 days are needed to acclimatise, and it is during the first 4–7 days of heat exposure that short-term adaptation occurs (Périard et al., 2016). This type of adaptation, activated to maintain homeostasis and ensure normal biological functioning -such as regulation of body temperature and oxygenation of the blood and tissue in the face of stressful environmental factors (Leonard, 2015)- can lead to short-term acclimatization to heat through frequent exposure, potentially reducing cardiovascular burden and lowering the core temperature response to heat exposure (Charkoudian, 2016).

At an individual level, physical characteristics, such as age, sex, body mass index, health, medication and physical state, significantly influence the efficacy of key thermoregulation functions, such as sweating, cardiac system efficiency, and blood volume regulation. These factors can contribute to the variation in tolerance to heat stress. In particular, it has been observed that both children and older adults have a lower heat tolerance capacity than the rest of the population (Hanna and Tait, 2015; Leonard, 2015; Wickham et al., 2020).

3.4.2. Cultural adaptation

Cultural adaptation is the process of change in response within a given setting or an alteration in the internal factors that affect an entity, such as an organisation, community or company (Denevan, 2010; Smit and Wandel, 2006; Storå, 1994). These cultural factors determine people's support for adaptation measures and their level of motivation to act (Adger et al., 2012). Through learning and teaching, knowledge about adaptation can be transmitted from generation to generation (Leonard, 2015). In adaptive management of the health system, for example, risk

assessments clarify local needs or surveys provide information on effectiveness (WHO, 2015). Recent social science studies show that cultural practices which favour adaptation processes can be classified into two categories: behavioural and technical (Smit and Wandel, 2006).

3.4.2.1. Behavioural adaptation. Behavioural adaptation is the adjustment of individual, collective and/or institutional behaviour to reduce society's exposure to climate-related vulnerabilities (Pielke, 1998). Acquired through learning, it is the quickest mechanism and the most flexible for enabling individuals to cope with environmental problems (Hardesty, 1942).

At an individual level, the changes that a person makes consciously or unconsciously to modify their body temperature include a range of actions, such as taking lukewarm showers or changing clothes, activity, posture or place. Additionally, eating or drinking cold foods can contribute to reducing body temperature (Brager and De Dear, 1998; Liu et al., 2012). Similarly, there are passive measures that the individual can adopt in the home, such as opening windows to dissipate the heat, extending awnings, or using blinds and curtains (Alessandrini et al., 2019; Sánchez Martínez et al., 2022; Santamouris et al., 2007). During workdays, it is recommended to take breaks in hot environments (Jay et al., 2021).

At a social level, the change is determined by the cultural and social components of each place: for instance, it may imply changing dress codes adapted to warmer areas, taking a nap during the hottest daylight hours, or modifying the way in which one organises one's work and leisure time (Brager and De Dear, 1998; Liu et al., 2012; Lundgren et al., 2013; Navas-Martín et al., 2022a,b; Weitensfelder and Moshhammer, 2020).

3.4.2.2. Technical adaptation. In the broadest sense, technology refers to the use and knowledge of certain tools and techniques, and the way in which their application affects human beings' capacity to adapt to and control their physical and social environment. Thus, the concept may not solely refer to the application of the scientific knowledge, through instruments and industrial processes, such as machines, tools and devices, but may also include more general aspects, such as systems, organisational methods theories, and techniques (Banta, 2009). In the context of climate change, technical adaptation refers to the implementation of these tools and knowledge of technology, to cope with impacts and become more resistant to climate change (Bellamy, 2019). Technical adaptation, thus, may adopt different ways -structural, physical or social-which include educational, informational and behavioral (Bellamy, 2019; Noble et al., 2015).

At an individual level, this would include the use of clothing and accessories with specific features with a particular aim, for instance sun protection, such as sunglasses, hat or clothing purpose-designed and/or adapted to reduce heat (Holmér, 1995; Kearney et al., 2016). In an indoor context, individual shading devices, fans and air-conditioning are usual techniques that may be adjusted to the needs of the person (although fans or air conditioning are usually controlled individually, they can be also used collectively) (Kownacki et al., 2019; Osberghaus and Abeling, 2022).

At a social level, this would cover more complex architectural improvements, such as enhancing the building insulation on the thermal envelope to increase energy efficiency; making use of cool or green roofs and walls, and other elements as part of the building passive design. Also, the selection of the optimal orientation, or the inclusion of solar control devices, and the application of absorbent building materials, for instance, could be a better approach for a shifting climate change scenario where adaptation is needed. Alternatively, achieving indoor hygrothermal comfort may require the implementation of heating, ventilation, and air conditioning systems, along with supplementary elements such as energy exchangers, thermal storage elements, fans, radiant floors and ceilings. However, this approach often leads to

increased energy expenses and GHG emissions. This inconvenient may be solved by supplying power, at least in a great extent, with renewable energy sources (Puig, 2021; Sánchez Martínez et al., 2022)

This could also be addressed from the built environment itself (either at a community, neighbourhood, or district scale), with measures such as urban re-greening and the presence of well-managed blue urban infrastructures (Sánchez Martínez et al., 2022), which, among other benefits, serve to mitigate the urban heat island effect (Alvarez et al., 2021; López-Bueno et al., 2020). Furthermore, cooling centres are places purpose-designed to provide temporary relief to people in extreme heat situations, and are usually located in public spaces (Berisha et al., 2017; Nayak et al., 2019). Another potential measure involves converting schools or other public buildings into climate shelters to provide protection during unfavourable situation. These spaces may be used by the community as a place of refuge on hottest days, even outside the school timetable or during weekends (Baró et al., 2022).

A further technical solution is district cooling, which consists of a centralised cooling generation, covering an urban area, and distributed through a pipeline network to buildings added to the grid (Puig, 2021). Lastly, sight should not be lost of the fact that another way of technical adaptation consist of educational training and informative dissemination and engagement, as mentioned above. Environmental education makes it possible to empower and cultivate a public committed to health and the preservation of the environment (Huertas et al., 2021). At a national level, to prevent the impact of heat on society, teaching and training materials, such as brochures and infographics must be created for subsequent distribution and awareness-raising purposes (Sánchez Martínez et al., 2022).

3.4.3. Political adaptation

In general terms, political adaptation refers to the set of actions, decisions and choices made by individuals and organisations, both public and private, at different administrative levels and in different sectors, with the specific purpose of tackling the effects of climate change in policy. The desired results seek to generate a significant impact on groups of actors, geographic areas or sectors vulnerable to the effects of climate change (Biesbroek et al., 2018; Dupuis and Biesbroek, 2013).

There are two types of policies aimed at heat adaptation: direct and indirect (van Staden and Musco, 2010). Direct policies are specific, targeted measures, which are implemented with the aim of reducing the negative effects of extreme heat. In contrast, indirect policies, which are not aimed at promoting adaptation, may nonetheless have a positive impact on the heat adaptation process. While these policies may be specific, e.g., increasing energy efficiency through better climate control systems and thereby increasing the efficacy of air-conditioning, there can also be general policies, such as providing a pension system, health coverage or unemployment benefits, which increase resilience, both overall and specifically to the impacts of climate change.

At a social level, adaptation policies may include: implementation of an early warning system, emergency and heat-health action plans that are activated during a heat wave (Sánchez Martínez et al., 2011, 2022, 2019); monitoring and surveillance systems (Sánchez Martínez et al., 2022); improving infrastructures, such as the creation of green areas, to reduce exposure to heat (García Sánchez et al., 2018; Hrdalo et al., 2015; Mukhamedjanov et al., 2023); conducting awareness-raising campaigns through dissemination and education about the risks of extreme heat; issuing risk warnings via websites, mobile applications, SMS, bulletins, social media and mass media; encouraging healthy actions in companies and organisations through incentives and awards; and drawing up regulations, heat-health action plans and programs to boost actions to combat the effects of heat (EPA, 2023; Puig, 2021; Sánchez Martínez et al., 2022).

At an individual level, this would cover the type of action that a citizen can take in response to a specific policy. Such as the use of subsidies for the payment of electricity bills (Bienvenido-Huertas et al.,

2023; Rodríguez-Alvarez et al., 2019), or the use of public space for searching for cool and shady places like parks and gardens.

In the case of these policies, a distinction must be drawn between private adaptation policies, which are implemented as the result of individual initiative and only benefit those who take the decision, and joint adaptation policies, which involve multiple beneficiaries and are implemented by government action (Mendelsohn, 2000). Examples of public policies are improvements to health services, poverty reduction, resource redistribution, education, and heat-wave warning systems (Guo et al., 2018).

3.5. Conceptual framework mechanisms

Climate change is altering health risks, due to the increase in mortality and morbidity caused by increasingly frequent extreme weather phenomena such as heat waves. The influence of such risks on health outcomes is influenced by the population's vulnerability. In the sphere of adaptation, it is axes of inequality, levels and pre-existing conditions that determine adaptive mechanisms.

In Spain, studies conducted by our research group (Table 1 and Table 2) have shown that the relationship between health risks and health outcomes in heat-adaptation terms is determined by axes of inequality, such as gender (Follos et al., 2020; Navas-Martín et al., 2022a,b), age (Navas-Martín et al., 2023a,b) and territory (Díaz et al., 2019; Follos et al., 2021; López-Bueno et al., 2021a,b,c; Navas-Martín et al., 2022a,b; Navas-Martín et al., 2023a,b). In addition to gender (Díaz et al., 2002, 2006; Díaz et al., 2018; López-Bueno et al., 2020) and age (Díaz et al., 2015), the impact on vulnerability to heat is also determined by social class (López-Bueno et al., 2020) and territory (Cuerdo-Vilches et al., 2023; Díaz et al., 2018; Díaz et al., 2015; García-Herrera et al., 2005; Linares et al., 2014; López-Bueno et al., 2022; Miron et al., 2008; Tobías et al., 2012; Tobías et al., 2014).

With respect to the impact of vulnerability, adaptation is determined by pre-existing conditions, not only in terms of environmental variables such as pollution (Díaz et al., 2016; Egea et al., 2023), weather conditions (Montero et al., 2012; Ruiz-Páez et al., 2023) and climate conditions (Carmona et al., 2017; López-Bueno et al., 2021a,b,c), but also in terms of people's physical condition, including diseases preceding a heat episode (Culqui et al., 2017; Linares et al., 2016). Lastly, regarding adaptation domains, the available evidence from epidemiological studies indicates limitations in understanding the temperature-mortality relationship (Navas-Martín et al., 2024). These studies primarily focus on cultural adaptation, particularly technical adaptation, and the protective role of dwellings (López-Bueno et al., 2019; López-Bueno et al., 2019), as well as on direct policy adaptations such as prevention plans (Roldán et al., 2014, 2016).

4. Application of conceptual framework

Climate change is changing the well-known association between heat and health, increasing the exposure and vulnerability of large-sized population groups and the risk of the adverse effects of heat. This modification requires an adaptation effort, not only institutional but also spontaneous, with implementation at both an individual and a group or social level. Adaptation is aimed at reducing vulnerability and the risks of heat, by minimising the adverse health effects. Adaptation, according to the proposed framework, can be categorized into three main domains: physiological (acclimatization), cultural (including behaviours and technologies) and public policies. The relevance of the different dimensions and elements of the conceptual framework is shown in Table 1 for adaptation to heat and in Table 2 for impact on vulnerability to heat.

The proposed conceptual framework serves as a valuable tool for comprehending the interplay among climate change, vulnerability, health risks, axes of inequality, and health outcomes in the heat adaptation process. Social disparities, driven by factors like social class, gender, age, ethnicity, and territory, delineate vulnerability to climate

Table 1

Relationship of the elements of the conceptual framework, local evidence findings and their relevance for heat adaptation through the case studies.

| Framework dimension | Specific Framework element | Findings from local evidence | References | Relevance for adaptation |
|----------------------|----------------------------|---|-----------------------------|---|
| Inequality axes | Age | Population over 65 showed slower acclimatization than general population | Navas-Martín et al. (2023b) | Prevention must assume at best slowest rhythm of acclimatization, specific targeting of the elderly |
| Inequality axes | Territory | Different territories showed very different rates of adaptation to heat | Navas-Martín et al. (2023a) | Prevention plans must be adapted to climate zones, rely on local epidemiological evidence |
| Inequality axes | Territory | Urban areas showed higher rates of adaptation to heat than rural areas | Navas-Martín et al. (2022a) | Prevention plans must incorporate the differences in adaptation between urban and rural areas |
| Inequality axes | Gender | Women showed higher adaptation than men | Navas-Martín et al. (2022b) | Prevention plans must include the gender perspective in order to address gender differences in adaptation |
| Inequality axes | Territory | Geographical heterogeneities in adaptation | Follos et al. (2021) | Prevention plans must articulate measures at the local level for adaptation |
| Inequality axes | Territory | Geographical heterogeneities in adaptation | López-Bueno et al., 2021a | Prevention plans must be adapted to heat wave definition threshold temperature at the local level |
| Inequality axes | Gender | Both genders showed adaptation, although women are more vulnerable to heat. | Follos et al. (2020) | Prevention plans must be evaluated and improved |
| Political adaptation | Direct | It is important to implement Prevention Health Action Plans | Linares et al. (2020) | Prevention plan must prioritize a health perspective |
| Inequality axes | Territory | Geographical heterogeneities in adaptation | Díaz et al. (2019) | Prevention plans must articulate measures at the local level for adaptation |

change. Emphasizing the necessity for comprehensive and fair policies that prioritize the most vulnerable communities, the framework underscores the physiological, cultural, and political dimensions of adaptation. Pre-existing conditions, encompassing chronic ailments, demographic traits, and socioeconomic elements, emerge as pivotal determinants of both individual and community vulnerability. On an individual scale, these conditions shape the efficacy of physiological heat adaptation, influencing tolerance and responsiveness to extreme conditions. Societally, pre-existing conditions mold cultural adaptation, shaping the ability to instigate behavioral and technological shifts at the community level. This interconnectedness underscores the imperative for policies addressing existing disparities and promoting tailored adaptations at each tier, ensuring both fairness and efficacy in climate health risk management.

5. Discussion

The objective of the proposed conceptual framework is to provide a comprehensive structure for understanding and addressing the relationship between heat adaptation, climate change, vulnerability, health risks, social inequalities and health outcomes. It seeks to establish clear connections between key components, such as pre-existing conditions, individual and societal levels, and the physiological, cultural and political dimensions of heat adaptation. It also aims to guide the development and implementation of inclusive and equitable policies that mitigate disparities and strengthen the capacity of communities, especially the most vulnerable, to cope with the risks associated with climate change. Key findings include the relevance of social inequalities and the pressing need to address heat adaptation from a multidimensional perspective, encompassing physiological, cultural and political aspects. Pre-existing conditions emerge as crucial determinants of vulnerability, both at the individual and societal levels. This finding underlines the need for integrated approaches. It also highlights the importance of inclusive and equitable policies, with a special emphasis on the most vulnerable populations. These findings highlight the urgency of holistic and equitable measures to address the challenges of climate change and ensure effective and equitable adaptation.

In the case of adaptation to heat, our understanding of temperature-mortality relationship is constrained due to limited knowledge from epidemiological studies (Navas-Martín et al., 2024). This conceptual framework aims to improve our understanding of temperature-mortality relationships by taking into consideration local evidence linking heat adaptation to axes of inequality, such as age, territory, and gender. These findings are in line with studies conducted by other researchers, in which differences in heat adaptation have been observed between

different cities, age groups and genders (Achebak et al., 2019; Bobb et al., 2014; Chung et al., 2018; Tobías et al., 2021). Similarly, the implementation of heat-health action plans through adaptation policies has been shown to be relevant, as reported by other studies undertaken in different countries, such as Canada (Benmarhnia et al., 2016), Italy (Schifano et al., 2012) and Australia (Nitschke et al., 2016).

When it comes to vulnerability to heat, studies based on local evidence have also found a relationship with axes of inequality such as age, territory and gender. These findings are in line with studies conducted by other researchers, in which differences in heat adaptation were observed between different cities, age groups and genders (Graczyk et al., 2022; Kang et al., 2020; Tong et al., 2014). These differences influence each person's chance of remaining in good health in the face of exposure to the risks of climate change. Likewise, studies which link pre-existing conditions with vulnerability to heat coincide with the findings of other studies on the incidence of environmental factors such as pollution (Yang et al., 2022), climate (Pezza et al., 2012) and weather conditions (Sharma and Mujumdar, 2017), as well as individuals' own health status (Schifano et al., 2009). Lastly, when it comes to evidence pertaining to adaptation domains and cultural policy, this is also supported by other studies which stress the need to implement adaptation policy measures to reduce vulnerability to heat (Boeckmann and Rohn, 2014). Alternatively, implementing technical adaptation measures in homes subject to overheating has shown that dwellings play a crucial role as a protective element against heat (Ramakrishnan et al., 2017).

The adaptation can be said to be the result of a combination of multiple factors. The set of different elements and factors that go to explain the heat adaptation process is known as "heat culture" (Follos et al., 2020; IPCC, 2019; Linares et al., 2020a,b; López-Bueno et al., 2020; Navas-Martín et al., 2022a,b). According to Bobb et al., there is a range of factors that can contribute to a population's adaptation to heat. These include lifestyle changes, a reduction in risk factors, improvements in healthcare services, implementation of early warning systems and public health programs, changes in behaviour such as reducing outdoor exposure on hot days, and improving the built environment through, say, the creation of green areas. Additionally, fostering increased awareness of heat-related risks is of paramount importance (Bobb et al., 2014).

In addition, it is important to highlight other factors that complement and enhance the public's understanding of the heat adaptation process and the measures that can be taken to reduce its negative health effects, such as those identified in the conceptual framework. These factors would allow for the notion of "heat culture" to be extended. Homes play a fundamental role as a protective element against heat, and aspects such as age, state, and restoration and refurbishment of

Table 2

Relationship of the elements of the conceptual framework, local evidence findings and their relevance for heat vulnerability through the case studies.

| Framework dimension | Specific Framework element | Findings from local evidence | References | Relevance for adaptation |
|-------------------------|----------------------------|---|---------------------------------|---|
| Inequality axes | Territory | Geographic heterogeneities in the urban heat island (UHI) effect | Cuerdo-Vilches et al. (2023) | Prevention plan must be based on local evidence and consider local factors to determine its impact on health outcomes |
| Pre-existing conditions | Pollution | Increase in admissions to the emergency for endocrine and metabolic diseases due to ozone and sunlight hours | Egea et al. (2023) | Prevention plan must consider environmental factors based on local epidemiological evidence |
| Pre-existing conditions | Meteorological | The effect of heat waves on morbidity and mortality depends on the synoptic situation | Ruiz-Páez et al. (2023) | Prevention plan must consider meteorological factors based on local epidemiological evidence |
| Inequality axes | Territory | Rural areas are less vulnerable to extreme heat than the urban area | López-Bueno et al. (2022) | Prevention plans must incorporate the differences in vulnerability between urban and rural areas |
| Pre-existing conditions | Climatic | Climatic heterogeneities in the vulnerability to heat wave | López-Bueno et al., 2021b | Prevention plan must consider differences in climate vulnerability to heat waves on local epidemiological evidence |
| Adaptation policy | Direct | Action plans that consider the different environmental factors affected by heat waves | Linares et al. (2020) | Prevention plans must be integrated into health |
| Inequality axes | Gender | Women are more vulnerable to heat than men | López-Bueno et al. (2020a) | Prevention plans must include the gender perspective |
| Inequality axes | Social class | Income level (as a proxy indicator of social class) to explain the different heat impact detected in the districts | López-Bueno et al. (2020b) | Prevention plan must consider differences in vulnerability due to socioeconomic factors |
| Cultural adaptation | Technical | Housing plays a key role in modulating the impact of heat waves | López-Bueno et al. (2019) | Prevention plans must articulate measures at housing rehabilitation |
| Adaptation policy | Direct | HHAPs reduces or minimizes heat-related mortality and morbidity | Sánchez Martínez et al. (2019) | Prevention plans must update |
| Adaptation policy | Direct | Without adaptation measures mortality increases | Sánchez-Martínez et al. (2018a) | Prevention plans must include a long-term perspective in the public health prevention of heat exposure |
| Inequality axes | Territory | Geographical heterogeneities in vulnerability | Díaz et al. (2018a) | Prevention plans must incorporate the geographical differences in vulnerability |
| Adaptation policy | Direct | Without adaptation measures mortality increases | Sánchez-Martínez et al. (2018b) | Prevention plans must design as a dynamic, adaptive process from the inception |
| Inequality axes | Gender | Hospital admissions for respiratory causes due to the impact of heat waves were associated with women | Díaz et al. (2018b) | Prevention plans must include the gender perspective |
| Pre-existing factors | Diseases | Heat waves were associated with Alzheimer's disease hospital admissions | Culqui et al. (2017) | Prevention plan must consider pre-existing conditions in vulnerability to heat waves on local epidemiological evidence |
| Pre-existing conditions | Climatic | The use of isoclimatic zones improves the effectiveness of prevention plans in public health | Carmona et al. (2017) | Prevention plan must consider differences in climate vulnerability to heat waves on local epidemiological evidence |
| Adaptation policy | Direct | Without adaptation measures mortality increases | Roldán et al. (2016) | Prevention plans must include a long-term perspective in the public health prevention of extreme temperatures |
| Pre-existing factors | Diseases | Heat waves were associated with Parkinson's disease mortality | Linares et al. (2016) | Prevention plan must consider pre-existing conditions in vulnerability to heat waves on local epidemiological evidence |
| Adaptation policy | Direct | The impact of extremely high temperatures supposes a cost in the hospital load in addition to the loss of human lives | Roldán et al. (2015) | Prevention plans must include an implementation of preventive measures aimed at mitigating the impact of extreme heat on human health and reducing the associated mortality costs |
| Inequality axes | Territory | Geographical heterogeneities in vulnerability | Linares et al. (2015) | Prevention plans must incorporate the geographical differences in vulnerability |
| Pre-existing factors | Physical condition | Heat waves are an acute stressor on pregnant women | Linares & Díaz (2015) | Prevention plan must consider pre-existing conditions in vulnerability to heat waves on local epidemiological evidence |
| Inequality axes | Territory | Geographical heterogeneities in vulnerability | Díaz et al. (2015a) | Prevention plans must incorporate the geographical differences in vulnerability |
| Inequality axes | Age | Elderly people are more vulnerable to heat | Díaz et al. (2015b) | Prevention plans must include different adaptation measures for each of the vulnerable groups |
| Inequality axes | Territory | Geographical heterogeneities in vulnerability | Linares et al. (2014) | Prevention plans must incorporate the geographical differences in vulnerability |
| Inequality axes | Territory | Geographical heterogeneities in vulnerability | Tobías et al. (2014) | Prevention plans must incorporate the geographical differences in vulnerability |
| Pre-existing conditions | Meteorological | Cyclonic conditions accompanied by low humidity situations are associated with increased mortality from heat waves | Montero et al. (2012) | Prevention plan must consider meteorological factors based on local epidemiological evidence |
| Inequality axes | Territory | Geographical heterogeneities in vulnerability | Tobías et al. (2012) | Prevention plans must incorporate the geographical differences in vulnerability |
| Inequality axes | Territory | Geographical heterogeneities in vulnerability | García-Herrera et al. (2010) | Prevention plans must incorporate the geographical differences in vulnerability |
| Inequality axes | Territory | Geographical heterogeneities in vulnerability | Miron et al. (2008) | Prevention plans must incorporate the geographical differences in vulnerability |
| Inequality axes | Gender | Gender heterogeneities in vulnerability | Díaz et al. (2006a) | Prevention plans must include the gender perspective |
| Pre-existing factors | Diseases | Diseases heterogeneities in vulnerability | Díaz et al. (2006b) | Prevention plan must consider pre-existing conditions in vulnerability to heat waves on local epidemiological evidence |
| Inequality axes | Territory | Geographical heterogeneities in vulnerability | García-Herrera et al. (2005) | Prevention plans must incorporate the geographical differences in vulnerability |
| Inequality axes | Gender | Older women are more vulnerable to heat than men | Díaz et al. (2002) | Prevention plans must include the gender perspective |

dwellings influence the related risk (López-Bueno et al., 2019, 2020; López-Bueno et al., 2021a,b,c; López-Bueno et al., 2021a,b,c; Navas-Martín et al., 2022a,b; Navas-Martín et al., 2023a,b). Furthermore, the use of technical means such as air-conditioning (López-Bueno et al., 2020; Petkova et al., 2014) and the adoption of sun-protection measures, e.g., sunglasses, appropriate clothing or hats, are also key elements in terms of preventing the adverse health effects of heat (Holmér, 1995; Kearney et al., 2016). In the case of older adults, the ability to rely on nearby social networks and interpersonal support is crucial, since living alone during a heat wave becomes a risk factor. Indeed, individuals who engage in greater social interaction have less likelihood of experiencing the negative effects of heat (Lin et al., 2019a, 2019b; López-Bueno et al., 2021a,b,c).

Lastly, environmental education plays a relevant role in fostering concrete knowledge of and heightened awareness about short- and long-term adaptation to extreme climate conditions (Anderson, 2013; Bofferding and Kloser, 2015; Ekpo and Olatunde-Aiyedun, 2019). Taken together, these additional factors enrich the concept of "heat culture" and contribute to a fuller understanding of how to approach and adapt to the effects of heat on health.

The conceptual framework has a series of limitations which should be borne in mind. In the first place, there are few studies that address long-term population heat-adaptation processes. Moreover, there are gaps in research which make it difficult to interrelate certain concepts with the conceptual framework. For instance, when it comes to adaptation, a more in-depth examination is needed of the influence of social class and ethnicity on the axes of inequality, as well as that of adaptation policy, cultural adaptation and pre-existing conditions. Insofar as the impact of vulnerability is concerned, though there is ample evidence available, gaps in research are nonetheless present. These gaps include the need for studies on behavioural adaptation, indirect policies, and studies that give a breakdown of their results by ethnicity.

On the one hand, the implementation of the conceptual framework at the political level may also face certain limitations. Challenges related to logistics and resources, especially in financially constrained settings, could hinder effective policy implementation. Divergent interpretations and prioritization of framework elements among political actors may lead to inconsistent approaches. Political resistance or a lack of commitment to addressing underlying social inequalities could impede policy effectiveness. Additionally, achieving intersectoral coordination and collaboration across government levels may be challenging in fragmented political contexts. On the other hand, societal resistance to change and diverse cultural perspectives might pose challenges to the adoption of recommended adaptation measures. Inequitable access to resources and information could exacerbate existing social disparities, hindering the framework's effectiveness. Therefore, addressing both political and social challenges is crucial for successful implementation, requiring effective governance and active community inclusion and participation. Despite these limitations, the conceptual framework provides a solid basis for application as well as making it possible to identify key elements for future studies.

6. Conclusions

The effects of climate change, specifically the increase in temperature and heat waves, are linked to the associated risks, vulnerability and axes of inequality in the heat adaptation process. Adaptation takes place on two levels or scales, individual and social, and is influenced by preceding personal and community conditions. All this, in turn, has an influence on health outcomes. The proposed conceptual framework will help researchers and policymakers, both to understand and effectively organise knowledge of human capacity to adapt to heat, planning and implementing effective adaptation measures. Likewise, it highlights the fact that the problem of heat adaptation is a health problem which calls for political solutions. Accordingly, this requires a multidisciplinary approach that would foster the participation and collaboration of

multiple actors for the purpose of proposing effective measures to address the health impact of the rise in temperature.

Disclaimer

The researchers declare that they have no conflicts of interest that would compromise the independence of this research work. The views expressed by the authors do not necessarily coincide with those of the institutions to which they are affiliated.

Funding

This study was funded by grants from the Carlos III Institute of Health for the ENPY 436/21 and ENPY 304/20 projects. The authors would also like to thank the National University of Distance Education (UNED) for funding this publication in open access.

CRediT authorship contribution statement

Miguel Ángel Navas-Martín: Writing – review & editing, Writing – original draft, Formal analysis, Data curation, Conceptualization. **Teresa Cuervo-Vilches:** Writing – review & editing, Formal analysis, Data curation. **José Antonio López-Bueno:** Writing – review & editing, Formal analysis, Data curation. **Julio Díaz:** Writing – review & editing, Supervision, Conceptualization. **Cristina Linares:** Writing – review & editing, Supervision, Conceptualization. **Gerardo Sánchez-Martínez:** Writing – review & editing, Supervision, Conceptualization.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Data availability

No data was used for the research described in the article.

References

- Achebak, H., Devolder, D., Ballester, J., 2019. Trends in temperature-related age-specific and sex-specific mortality from cardiovascular diseases in Spain: a national time-series analysis. *Lancet Planet. Health* 3 (7), e297–e306. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(19\)30090-7](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30090-7).
- Adger, W.N., Barnett, J., Brown, K., Marshall, N., O'Brien, K., 2012. Cultural dimensions of climate change impacts and adaptation. *Nat. Clim. Change* 3 (2), 112–117. <https://doi.org/10.1038/nclimate1666>, 2012 3:2.
- Alessandrini, J.M., Ribéron, J., Da Silva, D., 2019. Will naturally ventilated dwellings remain safe during heatwaves? *Energy Build.* 183, 408–417. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2018.10.033>.
- Alvarez, I., Quesada-Ganuza, L., Briz, E., Garmendia, L., 2021. Urban heat islands and thermal comfort: a case study of zorrotzaurre island in bilbao. *Sustainability* 13 (11), 6106. <https://doi.org/10.3390/SU13116106>, 2021, Vol. 13, Page 6106.
- Anderson, A., 2013. Climate Change Education for Mitigation and Adaptation 6 (2), 191–206. <https://doi.org/10.1177/0973408212475199>.
- Araos, M., Ford, J., Berrang-Ford, L., Biesbroek, R., Moser, S., 2016. Climate change adaptation planning for Global South megacities: the case of Dhaka. *J. Environ. Pol. Plann.* 19 (6), 682–696. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2016.1264873>.
- Araos, M., Jagannathan, K., Shukla, R., Ajibade, I., Coughlan de Perez, E., Davis, K., Ford, J.D., Galappaththi, E.K., Grady, C., Hudson, A.J., Joe, E.T., Kirchhoff, C.J., Lesnikowski, A., Alverio, G.N., Nielsen, M., Orlove, B., Pentz, B., Reckien, D., Siders, A.R., et al., 2021. Equity in human adaptation-related responses: a systematic global review. *One Earth* 4 (10), 1454–1467. <https://doi.org/10.1016/J.ONEAR.2021.09.001>.
- Asghari, M., Nassiri, P., Monazzam, M., Golbabaee, F., Arabalibeik, H., Shamsipour, A., 2017. The development of an empirical model for estimation of the sensitivity to heat stress in the outdoor workers at risk. *Ann. Med. Health Sci. Res.* 7 (2), 77–84. <https://www.ajol.info/index.php/amhsr/article/view/158638>.
- Åström, D.O., Tornevi, A., Ebi, K.L., Rocklöv, J., Forsberg, B., 2016. Evolution of minimum mortality temperature in Stockholm, Sweden, 1901–2009. *Environ. Health Perspect.* 124 (6), 740–744. <https://doi.org/10.1289/ehp.1509692>.
- Austin, S.E., Ford, J.D., Berrang-Ford, L., Araos, M., Parker, S., Fleury, M.D., 2015. Public health adaptation to climate change in Canadian jurisdictions. *Int. J. Environ. Res.*

- Publ. Health 12 (1), 623–651. <https://doi.org/10.3390/IJERPH120100623>, 2015, Vol. 12, Pages 623–651.
- Banta, D., 2009. What is technology assessment? *Int. J. Technol. Assess. Health Care* 25 (S1), 7–9. <https://doi.org/10.1017/S0266462309090333>.
- Barbosa, R., Vicente, R., Santos, R., 2016. Comfort and buildings: climate change vulnerability and strategies. *International Journal of Climate Change Strategies and Management* 8 (5), 670–688. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-05-2015-0058>.
- Baró, F., Camacho, D.A., Perez del Pulgar, C., Ruiz-Mallén, I., García-Serrano, P., 2022. Nature-based climate solutions in European schools: a pioneering Co-designed strategy towards urban resilience. *Urban Book Series* 125–146. https://doi.org/10.1007/978-3-031-07301-4_6/TABLES/4.
- Bellamy, R., 2019. Social readiness of adaptation technologies. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Clim. Change* 10 (6), e623. <https://doi.org/10.1002/WCC.623>.
- Benmarhnia, T., Bailey, Z., Kaiser, D., Auger, N., King, N., Kaufman, J.S., 2016. A difference-in-differences approach to assess the effect of a heat action plan on heat-related mortality, and differences in effectiveness according to sex, age, and socioeconomic status (montreal, quebec). *Environ. Health Perspect.* 124 (11), 1694–1699. <https://doi.org/10.1289/EHP203>.
- Berisha, V., Hondula, D., Roach, M., White, J.R., McKinney, B., Bentz, D., Mohamed, A., Uebelherr, J., Goodin, K., 2017. Assessing adaptation strategies for extreme heat: a public health evaluation of cooling centers in maricopa county, Arizona. *Weather, Climate, and Society* 9 (1), 71–80. <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-16-0033.1>.
- Bienvenido-Huertás, D., Sánchez-García, D., Marín-García, D., Rubio-Bellido, C., 2023. Analysing energy poverty in warm climate zones in Spain through artificial intelligence. *J. Build. Eng.* 68 (February), 106116. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.106116>.
- Biesbroek, R., Lesnikowski, A., Ford, J.D., Berrang-Ford, L., Vink, M., 2018. Do administrative traditions matter for climate change adaptation policy? A comparative analysis of 32 high-income countries. *Rev. Pol. Res.* 35 (6), 881–906. <https://doi.org/10.1111/ROPR.12309>.
- Bobb, J.F., Peng, R.D., Bell, M.L., Dominici, F., 2014. Heat-related mortality and adaptation to heat in the United States. *Environ. Health Perspect.* 122 (8), 811–816. <https://doi.org/10.1289/ehp.1307392>.
- Boeckmann, M., Rohn, I., 2014. Is planned adaptation to heat reducing heat-related mortality and illness? A systematic review. In: *BMC Public Health*, vol. 14. BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-1112>. Issue 1.
- Boeckmann, M., Zeeb, H., 2016. Justice and equity implications of climate change adaptation: a theoretical evaluation framework. *Healthcare* 4 (3). <https://doi.org/10.3390/HEALTHCARE4030065>.
- Bofferding, L., Kloser, M., 2015. Middle and high school students' conceptions of climate change mitigation and adaptation strategies 21 (2), 275–294. <https://doi.org/10.1080/13504622.2014.888401>.
- Borrell, C., Malmusi, D., Artazcoz, L., Díez, E., Rodríguez-Sanz, I.P.y.M., Campos, P., Merino, B., Ramírez, R., Benach, J., Escolar, A., Esnaola, S., Gandarillas, A., Gómez, A., La Parra, D., Peiró, R., Segura, J., Solanillas, J.R., 2012. Propuesta de políticas e intervenciones para reducir las desigualdades sociales en salud en España. *Gac. Sanit.* 26 (2), 182–189. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2011.07.024>.
- Brager, G.S., De Dear, R.J., 1998. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. *Energy Build.* 27 (1), 83–96. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00053-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00053-4).
- Brooks, N., Adger, W.N., Kelly, P.M., 2005. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environ. Change* 15 (2), 151–163. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2004.12.006>.
- Bryman, A., 2012. *Social Research Methods*, fourth ed. Oxford university press.
- Carmona, R., Linares, C., Ortiz, C., Mirón, I.J., Luna, M.Y., Díaz, J., 2017. Spatial variability in threshold temperatures of heat wave mortality: impact assessment on prevention plans. *Int. J. Environ. Health Res.* 27 (6), 463–475. <https://doi.org/10.1080/09603123.2017.1379056>.
- Charkoudian, N., 2016. Human thermoregulation from the autonomic perspective. *Auton. Neurosci.: Basic and Clinical* 196, 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2016.02.007>.
- Chen, C., Doherty, M., Coffee, J., Wong, T., Hellmann, J., 2016. Measuring the adaptation gap: a framework for evaluating climate hazards and opportunities in urban areas. *Environ. Sci. Pol.* 66, 403–419. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSCL.2016.05.007>.
- Chung, Y., Yang, D., Gasparrini, A., Vicedo-Cabrera, A.M., Ng, C.F.S., Kim, Y., Honda, Y., Hashizume, M., 2018. Changing susceptibility to non-optimum temperatures in Japan, 1972–2012: the role of climate, demographic, and socioeconomic factors. *Environ. Health Perspect.* 126 (5) <https://doi.org/10.1289/EHP2546>, 057002-1-057002-057008.
- Chun Tie, Y., Birks, M., Francis, K., 2019. Grounded theory research: a design framework for novice researchers. *SAGE Open Med.* 7 <https://doi.org/10.1177/2050312118822927>.
- Comisión para Reducir las Desigualdades Sociales en Salud en España, 2015. Avanzando hacia la equidad: propuesta de políticas e intervenciones para reducir las desigualdades sociales en salud en España. https://www.msbs.gob.es/profesionales/saludPublica/prevPromocion/promocion/desigualdadSalud/docs/Propuesta_Politicas_Reducir_Desigualdades.pdf.
- Crowe, S., Cresswell, K., Robertson, A., Huby, G., Avery, A., Sheikh, A., 2011. The case study approach. *BMC Med. Res. Methodol.* 11 (1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/1471-2288-11-100/TABLES/9>.
- Cuerdo-Vilches, T., Díaz, J., López-Bueno, J.A., Luna, M.Y., Navas, M.A., Mirón, I.J., Linares, C., 2023. Impact of urban heat islands on morbidity and mortality in heat waves: observational time series analysis of Spain's five cities. *Sci. Total Environ.* 890, 164412 <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.164412>.
- Culqui, D.R., Linares, C., Ortiz, C., Carmona, R., Díaz, J., 2017. Association between environmental factors and emergency hospital admissions due to Alzheimer's disease in Madrid. *Sci. Total Environ.* 592, 451–457. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2017.03.089>.
- Davis, R.E., Knappenberger, P.C., Michaels, P.J., Novicoff, W.M., 2003. Changing heat-related mortality in the United States. *Environ. Health Perspect.* 111 (14), 1712–1718. <https://doi.org/10.1289/EHP.6336>.
- Denevan, W.M., 2010. Adaptation, variation, and cultural geography 35 (4), 399–407. <https://doi.org/10.1111/J.0033-0124.1983.00399.X>.
- Díaz, J., Arroyo, V., Ortiz, C., Carmona, R., Linares, C., 2016. Effect of environmental factors on low weight in non-premature births: a time series analysis. *PLoS One* 11 (10), e0164741. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0164741>.
- Díaz, J., Carmona, R., Mirón, I.J., Luna, M.Y., Linares, C., 2018a. Time trend in the impact of heat waves on daily mortality in Spain for a period of over thirty years (1983–2013). *Environ. Int.* 116, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.04.001>.
- Díaz, J., Carmona, R., Mirón, I.J., Luna, M.Y., Linares, C., 2019. Time trends in the impact attributable to cold days in Spain: incidence of local factors. *Sci. Total Environ.* 655, 305–312. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.11.254>.
- Díaz, J., Carmona, R., Mirón, I.J., Ortiz, C., León, I., Linares, C., 2015a. Geographical variation in relative risks associated with heat: update of Spain's Heat Wave Prevention Plan. *Environ. Int.* 85, 273–283. <https://doi.org/10.1016/J.ENVI.2015.09.022>.
- Díaz, J., Carmona, R., Mirón, I.J., Ortiz, C., Linares, C., 2015b. 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.* 143, 186–191. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2015.10.018>.
- Díaz, J., Jordán, A., García, R., López, C., Alberdi, J.C., Hernández, E., Otero, A., 2002. Heat waves in Madrid 1986–1997: effects on the health of the elderly. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 75 (3), 163–170. <https://doi.org/10.1007/s00420-001-0290-4>.
- Díaz, J., Linares, C., Tobías, A., 2006. Impact of extreme temperatures on daily mortality in Madrid (Spain) among the 45–64 age-group. *Int. J. Biometeorol.* 50 (6), 342–348. <https://doi.org/10.1007/S00484-006-0033-Z>.
- Díaz, J., López, I.A., Carmona, R., Mirón, I.J., Luna, M.Y., Linares, C., 2018b. Short-term effect of heat waves on hospital admissions in Madrid: Analysis by gender and comparison with previous findings. *Environ. Pollut.* 243, 1648–1656. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2018.09.098>.
- Dupuis, J., Biesbroek, R., 2013. Comparing apples and oranges: the dependent variable problem in comparing and evaluating climate change adaptation policies. *Global Environ. Change* 23 (6), 1476–1487. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2013.07.022>.
- Ebneyamini, S., Sadeghi Moghadam, M.R., 2018. Toward developing a framework for conducting case study research. *Int. J. Qual. Methods* 17 (1). <https://doi.org/10.1177/1609406918817954>.
- Egea, A., Linares, C., Díaz, J., Gómez, L., Calle, A., Navas, M.A., Ruiz-Páez, R., Asensio, C., Padrón-Monedero, A., López-Bueno, J.A., 2023. How heat waves, ozone and sunlight hours affect endocrine and metabolic diseases emergency admissions? A case study in the region of Madrid (Spain). *Environ. Res.* 229, 116022 <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2023.116022>.
- Eisenack, K., Stecker, R., 2012. A framework for analyzing climate change adaptations as actions. *Mitig. Adapt. Strategies Glob. Change* 17 (3), 243–260. <https://doi.org/10.1007/S11027-011-9323-9>.
- Ekpo, C.G., Olatunde-Aiyedun, T.G., 2019. Environmental education: a tool for creation of awareness on adaptation to climate change in Nigeria. <https://papers.ssrn.com/abstract=3927807>.
- Ellen, R., 2018. Cultural adaptation. *The International Encyclopedia of Anthropology* 1–7. <https://doi.org/10.1002/9781118924396.WBIEA1914>.
- EPA, 2023. Public health adaptation strategies for climate change. <https://www.epa.gov/arc-x/public-health-adaptation-strategies-climate-change#extreme>.
- European Commission, 2021. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. <https://ec.europa.eu/jrc/en/peseta-iv/economic-impacts>.
- Filho, W.L., Balogun, A.L., Olayide, O.E., Azeiteiro, U.M., Ayal, D.Y., Muñoz, P.D.C., Nagy, G.J., Bynoe, P., Oguge, O., Yannick To mukum, N., Saroar, M., Li, C., 2019. Assessing the impacts of climate change in cities and their adaptive capacity: towards transformative approaches to climate change adaptation and poverty reduction in urban areas in a set of developing countries. *Sci. Total Environ.* 692, 1175–1190. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.07.227>.
- Folkerts, M.A., Bröde, P., Botzen, W.J.W., Martinius, M.L., Gerrett, N., Harmsen, C.N., Daanen, H.A.M., 2020. Long term adaptation to heat stress: shifts in the minimum mortality temperature in The Netherlands. *Front. Physiol.* 11 <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00225>.
- Follos, F., Linares, C., López-Bueno, J.A., Navas, M.A., Culqui, D., Vellón, J.M., Luna, M. Y., Sánchez-Martínez, G., Díaz, J., 2021. Evolution of the minimum mortality temperature (1983–2018): is Spain adapting to heat? *Sci. Total Environ.* 784, 147233 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147233>.
- Follos, F., Linares, C., Vellón, J.M., López-Bueno, J.A., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Díaz, J., 2020. The evolution of minimum mortality temperatures as an indicator of heat adaptation: the cases of Madrid and Seville (Spain). *Sci. Total Environ.* 747, 141259 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141259>.
- Füssel, H.M., Klein, R.J.T., 2004. Conceptual frameworks of adaptation to climate change and their applicability to human health. In: *PIK*. <https://www.pik-potsdam.de/de/produkte/publikationen/pik-reports/files/pr91.pdf>.

- Füssel, H.M., Klein, R.J.T., 2006. Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking. *Climatic Change* 75 (3), 301–329. <https://doi.org/10.1007/S10584-006-0329-3>.
- García-Herrera, R., Díaz, J., Trigo, R.M., Hernández, E., 2005. Extreme summer temperatures in Iberia: health impacts and associated synoptic conditions. *Ann. Geophys.* 23 (2), 239–251. <https://doi.org/10.5194/ANGE0-23-239-2005>.
- García Sánchez, F., Solecki, W.D., Ribalaya Batalla, C., 2018. Climate change adaptation in Europe and the United States: a comparative approach to urban green spaces in Bilbao and New York City. *Land Use Pol.* 79, 164–173. <https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2018.08.010>.
- Government of Canada, 2023. Canada's national adaptation strategy: building resilient communities and a strong economy. <https://www.canada.ca/en/services/environment/weather/climatechange/climate-plan/national-adaptation-strategy.html>.
- Government of United Kingdom, 2023. Government sets out adaptation programme to tackle climate impact. <https://www.gov.uk/government/news/government-sets-out-adaptation-programme-to-tackle-climate-impact>.
- Graczyk, D., Pińskwar, I., Choryński, A., 2022. Heat-related mortality in two regions of Poland: focus on urban and rural areas during the most severe and long-lasting heatwaves. *Atmosphere* 13 (3), 390. <https://doi.org/10.3390/ATMOS13030390/S1>.
- Guo, Y., Gasparrini, A., Li, S., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A.M., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Saldiva, P.H.N., Lavigne, E., Tawatsupa, B., Punnasiri, K., Overcenco, A., Correa, P.M., Ortega, N.V., Kan, H., Osorio, S., Jaakkola, J.J.K., Rytli, N.R.I., Goodman, P.G., Zeka, A., et al., 2018. Quantifying excess deaths related to heatwaves under climate change scenarios: a multicountry time series modelling study. *PLoS Med.* 15 (7), e1002629. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PMED.1002629>.
- Hanna, E.G., Tait, P.W., 2015. Limitations to thermoregulation and acclimatization challenge human adaptation to global warming. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 12 (7), 8034–8074. <https://doi.org/10.3390/IJERPH120708034>. 2015, Vol. 12, Pages 8034–8074.
- Hardesty, D.L., 1942. *Ecological Anthropology*. John Wiley & Sons, Inc.
- Holmér, I., 1995. Protective clothing and heat stress. *Ergonomics* 38 (1), 166–182. <https://doi.org/10.1080/00140139508925093>.
- Holton, J.A., 2008. Grounded Theory as a general research methodology. *Grounded Theory Review an International Journal* 7. <https://groundedtheoryreview.com/2008/06/30/grounded-theory-as-a-general-research-methodology/>.
- Hrdalo, I., Tomić, D., Pereković, P., 2015. Implementation of green infrastructure principles in dubrovnik, Croatia to minimize climate change problems. *Urbani Izvizi* 26, S38–S49. <http://www.jstor.org/stable/24920946>.
- Huertas, S., Rodrigo-Cano, D., De la Osa Tomás, J., Alcañiz Roy, G., 2021. Acclimatarnos. El cambio climático. Un problema de salud pública. Guía didáctica sobre adaptación al calor. <https://www.isciii.es/Noticias/Noticias/Documents/GuiaAcclimatarnos.pdf>.
- Imenda, S., 2017. Is there a conceptual difference between theoretical and conceptual frameworks? *Kamla Raj Enterprises* 38 (2), 185–195. <https://doi.org/10.1080/09718923.2014.11893249>.
- Indraganti, M., 2010. Behavioural adaptation and the use of environmental controls in summer for thermal comfort in apartments in India. *Energy Build.* 42 (7), 1019–1025. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2010.01.014>.
- IPCC, 2019. Chapter 13: europe. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FOD_Chapter13.pdf.
- IPCC, 2022a. Annex I: glossary. In: *Global Warming of 1.5°C*. Cambridge University Press, pp. 541–562. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.008>.
- IPCC, 2022b. Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>.
- IPCC, 2023. AR6 synthesis report: climate change 2023. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>.
- Jay, O., Capon, A., Berry, P., Broderick, C., de Dear, R., Havenith, G., Honda, Y., Kovats, R.S., Ma, W., Malik, A., Morris, N.B., Nybo, L., Seneviratne, S.I., Vanos, J., Ebi, K.L., 2021. Reducing the health effects of hot weather and heat extremes: from personal cooling strategies to green cities. *Lancet* 398 (10301), 709–724. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01209-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01209-5).
- Jopp, R., Delacy, T., Mair, J., 2010. Developing a framework for regional destination adaptation to climate change. *Curr. Issues Tourism* 13 (6), 591–605. <https://doi.org/10.1080/13683501003653379>.
- Kang, C., Park, C., Lee, W., Pehlivan, N., Choi, M., Jang, J., Kim, H., 2020. Heatwave-related mortality risk and the risk-based definition of heat wave in South Korea: a nationwide time-series study for 2011–2017. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 17 (16), 5720. <https://doi.org/10.3390/IJERPH17165720>, 2020, Vol. 17, Page 5720.
- Kearney, G.D., Hu, H., Xu, X., Hall, M.B., Balanay, J.A.G., 2016. Estimating the Prevalence of Heat-Related Symptoms and Sun Safety-Related Behavior among Latino Farmworkers in Eastern North Carolina 21 (1), 15–23. <https://doi.org/10.1080/1059924X.2015.1106377>.
- Kim, D., Lim, U., 2016. Urban resilience in climate change adaptation: a conceptual framework. *Sustainability* 8 (4), 405. <https://doi.org/10.3390/SU8040405>, 2016, Vol. 8, Page 405.
- Kivunja, C., 2018. Distinguishing between theory, theoretical framework, and conceptual framework: a systematic review of lessons from the field. *Int. J. High. Educ.* 7 (6), 44–53.
- Kownacki, K.L., Gao, C., Kuklane, K., Wierzbicka, A., 2019. Heat stress in indoor environments of scandinavian urban areas: a literature review. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 16 (4), 560. <https://doi.org/10.3390/IJERPH16040560>, 2019, Vol. 16, Page 560.
- Leonard, W.R., 2015. Physiological adaptations to environmental stressors. *Basics in Human Evolution* 251–272. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802652-6.00018-9>.
- Linares, C., Díaz, J., Negev, M., Martínez, G.S., Debono, R., Paz, S., 2020a. Impacts of climate change on the public health of the Mediterranean Basin population - current situation, projections, preparedness and adaptation. *Environ. Res.* 182, 109107. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2019.109107>.
- Linares, C., Martínez-Martín, P., Rodríguez-Blázquez, C., Forjaz, M.J., Carmona, R., Díaz, J., 2016. Effect of heat waves on morbidity and mortality due to Parkinson's disease in Madrid: A time-series analysis. *Environ. Int.* 89–90, 1–6. <https://doi.org/10.1016/J.ENVIINT.2016.01.017>.
- Linares, C., Mirón, I.J., Montero, J.C., Criado-Álvarez, J.J., Tobías, A., Díaz, J., 2014. The time trend temperature–mortality as a factor of uncertainty analysis of impacts of future heat waves. *Environ. Health Perspect.* 122 (5) <https://doi.org/10.1289/EHP.1308042>.
- Linares, C., Paz, S., Díaz, J., Negev, M., Sánchez-Martínez, G., 2020b. *Health*. In: Cramer, W., Guiot, J., Marini, K. (Eds.), *Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin - Current Situation and Risks for the Future. First Mediterranean Assessment Report. Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP/MAP*, pp. 493–514.
- Lin, Y.K., Maharani, A.T., Chang, F.T., Wang, Y.C., 2019a. Mortality and morbidity associated with ambient temperatures in Taiwan. *Sci. Total Environ.* 651, 210–217. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.09.161>.
- Lin, Y.K., Maharani, A.T., Chang, F.T., Wang, Y.C., 2019b. Mortality and morbidity associated with ambient temperatures in Taiwan. *Sci. Total Environ.* 651, 210–217. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.09.161>.
- Liu, J., Yao, R., McCloy, R., 2012. A method to weight three categories of adaptive thermal comfort. *Energy Build.* 47, 312–320. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2011.12.007>.
- López-Bueno, J.A., Díaz, J., Follos, F., Vellón, J.M., Navas, M.A., Culqui, D., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Linares, C., 2021a. 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.* 33 (1), 101. <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00542-7>.
- López-Bueno, J.A., Díaz, J., Linares, C., 2019. Differences in the impact of heat waves according to urban and peri-urban factors in Madrid. *Int. J. Biometeorol.* 63 (3), 371–380. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01670-9>.
- López-Bueno, J.A., Díaz, J., Sánchez-Guevara, C., Sánchez-Martínez, G., Franco, M., Gullón, P., Núñez Peiró, M., Valero, I., Linares, C., 2020. The impact of heat waves on daily mortality in districts in Madrid: the effect of sociodemographic factors. *Environ. Res.* 190, 109993. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109993>.
- López-Bueno, J.A., Navas-Martín, M.A., Díaz, J., Mirón, I.J., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Culqui, D., Linares, C., 2021b. Analysis of vulnerability to heat in rural and urban areas in Spain: what factors explain Heat's geographic behavior? *Environ. Res.* 112213. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2021.112213>.
- López-Bueno, J.A., Navas-Martín, M.A., Díaz, J., Mirón, I.J., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Culqui, D., Linares, C., 2022. Analysis of vulnerability to heat in rural and urban areas in Spain: what factors explain Heat's geographic behavior? *Environ. Res.* 207, 112213. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2021.112213>.
- López-Bueno, J.A., Navas-Martín, M.A., Linares, C., Mirón, I.J., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Culqui, D., Díaz, J., 2021c. Analysis of the impact of heat waves on daily mortality in urban and rural areas in Madrid. *Environ. Res.* 195, 110892. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110892>.
- Lundgren, K., Kuklane, K., Gao, C., Holmér, I., 2013. Effects of heat stress on working populations when facing climate change. *Ind. Health* 51 (1), 3–15. <https://doi.org/10.2486/INDHEALTH.2012-0089>.
- Luyten, A., Winkler, M.S., Ammann, P., Dietler, D., 2023. Health impact studies of climate change adaptation and mitigation measures – a scoping review. *The Journal of Climate Change and Health* 9, 100186. <https://doi.org/10.1016/J.JOCLIM.2022.100186>.
- Marí-Dell'olmo, M., Oliveras, L., Estefanía Barón-Miras, L., Borrell, C., Montalvo, T., Ariza, C., Ventayol, I., Mercuriali, L., Sheehan, M., Gómez-Gutiérrez, A., Villalbí, J. R., 2022. Climate change and health in urban areas with a mediterranean climate: a conceptual framework with a social and climate justice approach. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 19 (19), 12764. <https://doi.org/10.3390/IJERPH191912764>, 2022, Vol. 19, Page 12764.
- McMichael, A.J., 2012. Insights from past millennia into climatic impacts on human health and survival. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 109, pp. 4730–4737. <https://doi.org/10.1073/PNAS.1120177109>, 13.
- Mendelsohn, R., 2000. Efficient adaptation to climate change. *Climatic Change* 45 (3–4), 583–600. <https://doi.org/10.1023/A:1005507810350>.
- Mirón, I.J., Criado-Álvarez, J.J., Díaz, J., Linares, C., Mayoral, S., Montero, J.C., 2008. Time trends in minimum mortality temperatures in Castile-La Mancha (Central Spain): 1975–2003. *Int. J. Biometeorol.* 52 (4), 291–299. <https://doi.org/10.1007/s00484-007-0123-6>.
- Mojahed, N., Mohammadkhani, M.A., Mohammadkhani, A., 2022. Climate crises and developing vector-borne diseases: a narrative review. *Iran. J. Public Health* 51 (12), 2664. <https://doi.org/10.18502/IJPH.V51I12.11457>.
- Montero, J.C., Mirón, I.J., Criado-Álvarez, J.J., Linares, C., Díaz, J., 2012. Influence of local factors in the relationship between mortality and heat waves: castile-La Mancha (1975–2003). *Sci. Total Environ.* 414, 73–80. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2011.10.009>.
- Mukhamedjanov, A., Isamukhamedova, D., Bo-sin, T., 2023. Green spaces for summer cooling: case study tashkent, Uzbekistan. *SSRN Electron. J.* <https://doi.org/10.2139/SSRN.4335899>.
- Navas-Martín, M.Á., López-Bueno, J.A., Ascaso-Sánchez, M.S., Follos, F., Vellón, J.M., Mirón, I.J., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Díaz, J., Linares, C., 2023a. Territory differences in adaptation to heat among persons aged 65 Years and over in Spain (1983–2018). *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 20 (5), 4168. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054168>.

- Navas-Martín, M.Á., López-Bueno, J.A., Ascaso-Sánchez, M.S., Follos, F., Vellón, J.M., Mirón, I.J., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Linares, C., Díaz, J., 2023b. Heat adaptation among the elderly in Spain (1983–2018). *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 20 (2), 1314. <https://doi.org/10.3390/IJERPH20021314>, 2023, Vol. 20, Page 1314.
- Navas-Martín, M.Á., López-Bueno, J.A., Ascaso-Sánchez, M.S., Sarmiento-Suárez, R., Follos, F., Vellón, J.M., Mirón, I.J., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Culqui, D., Linares, C., Díaz, J., 2022a. Gender differences in adaptation to heat in Spain (1983–2018). *Environ. Res.* 215, 113986 <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113986>.
- Navas-Martín, M.Á., Ovalle-Perandones, M.-A., López-Bueno, J.A., Díaz, J., Linares, C., Sánchez-Martínez, G., 2024. Population adaptation to heat as seen through the temperature-mortality relationship, in the context of the impact of global warming on health: a scoping review. *Sci. Total Environ.* 908, 168441 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168441>.
- Navas-Martín, M., López-Bueno, J.A., Díaz, J., Follos, F., Vellón, J., Mirón, I., Luna, M., Sánchez-Martínez, G., Culqui, D., Linares, C., 2022b. Effects of local factors on adaptation to heat in Spain (1983–2018). *Environ. Res.* 112784 <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112784>.
- Nayak, S.G., Shrestha, S., Sheridan, S.C., Hsu, W.H., Muscatello, N.A., Pantea, C.I., Ross, Z., Kinney, P.L., Zdeb, M., Hwang, S.A.A., Lin, S., 2019. Accessibility of cooling centers to heat-vulnerable populations in New York State. *J. Transport Health* 14, 100563. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2019.05.002>.
- Neuman, W.L., 2014. *Social research methods: qualitative and quantitative approaches*. In: Pearson Education, seventh ed. Pearson Education.
- Nitschke, M., Tucker, G., Hansen, A., Williams, S., Zhang, Y., Bi, P., 2016. Evaluation of a heat warning system in Adelaide, South Australia, using case-series analysis. *BMJ Open* 6 (7), e012125. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-012125>.
- Noble, I.R., Huq, S., Anokhin, Y.A., Carmin, J.A., Goudou, D., Lansigan, F.P., Osman-Elasha, B., Villamizar, A., Patt, A., Takeuchi, K., Chu, E., 2015. Adaptation needs and options. *Climate Change* 2014 Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects 833–868. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379.019>.
- Osberghaus, D., Abeling, T., 2022. Heat vulnerability and adaptation of low-income households in Germany. *Global Environ. Change* 72, 102446. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102446>.
- Paavola, J., 2017. Health impacts of climate change and health and social inequalities in the UK. *Environ. Health Global Access Sci. Source: A Global Access Science Source* 16 (1), 61–68. <https://doi.org/10.1186/S12940-017-0328-Z>.
- Padrón-Monedero, A., Linares, C., Díaz, J., Nogueir-Zambrano, I., 2024. Impact of drought on mental and behavioral disorders review, contributions of research in a climate change context. A narrative review. *Int. J. Biometeorol.* 1–8. <https://doi.org/10.1007/s00484-024-02657-x>.
- Patz, J.A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., Foley, J.A., 2005. Impact of regional climate change on human health. *Nature* 2005 438, 310–317. <https://doi.org/10.1038/nature04188>. 7066, 438(7066).
- Pearce-Higgins, J.W., Antão, L.H., Bates, R.E., Bowgen, K.M., Bradshaw, C.D., Duffield, S. J., Ffolkes, C., Franco, A.M.A., Geschke, J., Gregory, R.D., Harley, M.J., Hodgson, J. A., Jenkins, R.L.M., Kapos, V., Maltby, K.M., Watts, O., Willis, S.G., Morecroft, M.D., 2022. A framework for climate change adaptation indicators for the natural environment. *Ecol. Indic.* 136, 108690 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108690>.
- Périard, J.D., Racinais, S., Sawka, M.N., 2015. Adaptations and mechanisms of human heat acclimation: applications for competitive athletes and sports. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 25 (S1), 20–38. <https://doi.org/10.1111/SMS.12408>.
- Périard, J.D., Travers, G.J.S., Racinais, S., Sawka, M.N., 2016. Cardiovascular adaptations supporting human exercise-heat acclimation. *Auton. Neurosci.: Basic & Clinical* 196, 52–62. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2016.02.002>.
- Petkova, E.P., Gasparrini, A., Kinney, P.L., 2014. Heat and mortality in New York City since the beginning of the 20th century. *Epidemiology* 25 (4), 554–560. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000123>.
- Pezza, A.B., van Rensch, P., Cai, W., 2012. Severe heat waves in Southern Australia: synoptic climatology and large scale connections. *Clim. Dynam.* 38 (1–2), 209–224. <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1016-2>.
- Pielke, R.A., 1998. Rethinking the role of adaptation in climate policy. *Global Environ. Change* 8 (2), 159–170. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(98\)00111-9](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(98)00111-9).
- Puig, D., 2021. Climate Technologies in an Urban Context. www.tech-action.org.
- Quinn, A.D., Ferranti, E.J.S., Hodgkinson, S.P., Jack, A.C.R., Beckford, J., Dora, J.M., 2018. Adaptation becoming business as usual: a framework for climate-change-ready transport infrastructure. *Infrastructure* 3 (2), 10. <https://doi.org/10.3390/INFRASTRUCTURES3020010>, 2018, Vol. 3, Page 10.
- Ramakrishnan, S., Wang, X., Sanjayam, J., Wilson, J., 2017. Thermal performance of buildings integrated with phase change materials to reduce heat stress risks during extreme heatwave events. *Appl. Energy* 194, 410–421. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.04.084>.
- Rigaud, K.K., de Sherbinin, A., Jones, B., Bergmann, J., Clement, V., Ober, K., Schewe, J., Adamo, S., McCusker, B., Heuser, S., Midgley, A., 2018. Groundswell: Preparing for Internal Climate Migration. World Bank, Washington, DC. <https://doi.org/10.1596/29461>.
- Rijal, H.B., Humphreys, M.A., Nicol, J.F., 2019. Behavioural adaptation for the thermal comfort and energy saving in Japanese offices. *J. Inst. Eng.* 15 (2), 14–25. <https://doi.org/10.3126/JIE.V15I2.27637>.
- Rocco, S.T., Plakhotnik, S.M., 2009. Literature Reviews, Conceptual Frameworks, and Theoretical Frameworks: Terms, Functions, and Distinctions 8 (1), 120–130. <https://doi.org/10.1177/1534484309332617>.
- Rodríguez-Alvarez, A., Orea, L., Jamasb, T., 2019. Fuel poverty and Well-Being: A consumer theory and stochastic frontier approach. *Energy Pol.* 131, 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.04.031>.
- Roldán, E., Gómez, M., Pino, M.R., Díaz, J., 2014. The impact of extremely high temperatures on mortality and mortality cost 25 (3), 277–287. <https://doi.org/10.1080/09603123.2014.938028>.
- Roldán, E., Gómez, M., Pino, M.R., Pórtolos, J., Linares, C., Díaz, J., 2016. The effect of climate-change-related heat waves on mortality in Spain: uncertainties in health on a local scale. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.* 30 (3), 831–839. <https://doi.org/10.1007/s00477-015-1068-7>.
- Romanello, M., Di Napoli, C., Drummond, P., Green, C., Kennard, H., Lampard, P., Scamman, D., Arnell, N., Ayeb-Karlsson, S., Ford, L.B., Belesova, K., Bowen, K., Cai, W., Callaghan, M., Campbell-Lendrum, D., Chambers, J., van Daalen, K.R., Dalin, C., Dasandi, N., et al., 2022. The 2022 report of the Lancet Countdown on health and climate change: health at the mercy of fossil fuels. *Lancet* 400 (10363), 1619–1654. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)01540-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)01540-9).
- Ruiz-Páez, R., Díaz, J., López-Bueno, J.A., Navas, M.A., Mirón, I.J., Martínez, G.S., Luna, M.Y., Linares, C., 2023. Does the meteorological origin of heat waves influence their impact on health? A 6-year morbidity and mortality study in Madrid (Spain). *Sci. Total Environ.* 855, 158900 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158900>.
- Sánchez Martínez, G., 2019. Políticas públicas de adaptación al cambio climático. *Revista de Salud Ambiental* 19, 81–84. <https://doi.org/10.1371/journal>.
- Sánchez Martínez, Gerardo, Linares, C., Ayuso, A., Kendrovski, V., Boeckmann, M., Díaz, J., 2019. Heat-health action plans in Europe: challenges ahead and how to tackle them. *Environ. Res.* 176, 108548 <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108548>.
- Sánchez Martínez, G., Imai, C., Masumo, K., 2011. Local heat stroke prevention plans in Japan: characteristics and elements for public health adaptation to climate change. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 8 (12), 4563–4581. <https://doi.org/10.3390/ijerph8124563>.
- Sánchez Martínez, G., Kendrovski, V., Salazar, M.A., de'Donato, F., Boeckmann, M., 2022. Heat-health action planning in the WHO European Region: status and policy implications. *Environ. Res.* 214, 113709 <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113709>.
- Santamouris, M., Pavlou, K., Synnefa, A., Niachou, K., Kolokotsa, D., 2007. Recent progress on passive cooling techniques: advanced technological developments to improve survivability levels in low-income households. *Energy Build.* 39 (7), 859–866. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.02.008>.
- Sanz-Barbero, B., Linares, C., Vives-Cases, C., González, J.L., López-Ossorio, J.J., Díaz, J., 2018. Heat wave and the risk of intimate partner violence. *Sci. Total Environ.* 644, 413–419. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.368>.
- Schifano, P., Cappai, G., De Sario, M., Michelozzi, P., Marino, C., Bargagli, A.M., Perucci, C.A., 2009. Susceptibility to heat wave-related mortality: a follow-up study of a cohort of elderly in Rome. *Environ. Health: A Global Access Science Source* 8 (1), 50. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-8-50>.
- Schifano, P., Leone, M., De Sario, M., Dedonato, F., Bargagli, A.M., Dippoliti, D., Marino, C., Michelozzi, P., 2012. Changes in the effects of heat on mortality among the elderly from 1998–2010: results from a multicenter time series study in Italy. *Environ. Health: A Global Access Science Source* 11 (1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-11-58>.
- Schweiker, M., Brasche, S., Bischof, W., Hawighorst, M., Wagner, A., 2013. Explaining the individual processes leading to adaptive comfort: Exploring physiological, behavioural and psychological reactions to thermal stimuli 36 (4), 438–463. <https://doi.org/10.1177/1744259112473945>.
- Schweiker, M., Wagner, A., 2015. A framework for an adaptive thermal heat balance model (ATHB). *Build. Environ.* 94 (P1), 252–262. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.08.018>.
- Sharifi, A., Pathak, M., Joshi, C., He, B.J., 2021. A systematic review of the health co-benefits of urban climate change adaptation. *Sustain. Cities Soc.* 74, 103190 <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103190>.
- Sharma, S., Mujumdar, P., 2017. Increasing frequency and spatial extent of concurrent meteorological droughts and heatwaves in India. *Sci. Rep.* 7 (1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15896-3>, 2017 7:1.
- Sheridan, S.C., Dixon, P.G., 2017. Spatiotemporal trends in human vulnerability and adaptation to heat across the United States. *Anthropocene* 20, 61–73. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2016.10.001>.
- Smit, B., Wandel, J., 2006. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environ. Change* 16 (3), 282–292. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.03.008>.
- Storå, N., 1994. *La ecología cultural y la interacción entre el hombre y su entorno*. Cultural Ecology. *One Theory* 11–23.
- Tait, P.W., Hanna, E.G., 2015. A conceptual framework for planning systemic human adaptation to global warming. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 12 (9), 10700–10722. <https://doi.org/10.3390/IJERPH120910700>, 2015, Vol. 12, Pages 10700–10722.
- Tamene, E.H., 2016. *Theorizing conceptual framework*. *Asian Journal of Educational Research* 4, 50–56.
- The White House, 2023. National Climate Resilience Framework. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2023/09/National-Climate-Resilience-Framework-FINAL.pdf>.
- Tobías, A., Armstrong, B., Gasparrini, A., Díaz, J., 2014. Effects of high summer temperatures on mortality in 50 Spanish cities. *Environ. Health: A Global Access Science Source* 13 (1), 1–6. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-13-48>.
- Tobías, A., Armstrong, B., Zuza, I., Gasparrini, A., Linares, C., Díaz, J., 2012. Mortality on extreme heat days using official thresholds in Spain: a multi-city time series analysis. *BMC Publ. Health* 12 (1), 133. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-133>.

- Tobías, A., Hashizume, M., Honda, Y., Sera, F., Ng, C.F.S., Kim, Y., Roye, D., Chung, Y., Dang, T.N., Kim, H., Lee, W., Íñiguez, C., Vicedo-Cabrera, A., Abrutzky, R., Guo, Y., Tong, S., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Saldiva, P.H.N., Lavigne, E., et al., 2021. Geographical variations of the minimum mortality temperature at a global scale: a multicountry study. *Environmental Epidemiology* 5 (5), E169. <https://doi.org/10.1097/EE9.0000000000000169>.
- Tong, S., Wang, X.Y., Yu, W., Chen, D., Wang, X., 2014. The impact of heatwaves on mortality in Australia: a multicity study. *BMJ Open* 4 (2), e003579. <https://doi.org/10.1136/BMJOPEN-2013-003579>.
- Turek-Hankins, L.L., Coughlan de Perez, E., Scarpa, G., Ruiz-Diaz, R., Schwerdtle, P.N., Joe, E.T., Galappaththi, E.K., French, E.M., Austin, S.E., Singh, C., Siña, M., Siders, A. R., van Aalst, M.K., Templeman, S., Nunbogu, A.M., Berrang-Ford, L., Agrawal, T., team, the G.A. M.I., Mach, K.J., 2021. Climate change adaptation to extreme heat: a global systematic review of implemented action. *Oxford Open Climate Change* 1 (1), 5. <https://doi.org/10.1093/OXFCLM/KGAB005>.
- UNEP, 2018. Adaptation gap report 2018. <https://www.unep.org/resources/adaptation-gap-report-2018>.
- UNEP, 2022. Adaptation Gap Report 2022: too little, too slow - climate adaptation failure puts world at risk. <https://www.unep.org/adaptation-gap-report-2022>.
- UNFCCC. (n.d.). Definitions. Retrieved April 13, 2023, from <https://unfccc.int/resource/ccsites/zimbab/conven/text/art01.htm>.
- van Staden, M., Musco, F., 2010. Local governments and climate change. Sustainable energy planning and implementation in small and medium sized communities. In: *Advances in Global Change Research*, vol. 39. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9531-3_1.
- Vins, H., Bell, J., Saha, S., Hess, J.J., 2015. The mental health outcomes of drought: a systematic review and causal process diagram. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 12 (10), 13251–13275. <https://doi.org/10.3390/IJERPH121013251>, 2015, Vol. 12, Pages 13251-13275.
- Wang, W., McCarl, B.A., 2011. Inter-temporal investment in climate change adaptation and mitigation. <https://doi.org/10.22004/AG.ECON.103408>.
- Weitensfelder, L., Moshhammer, H., 2020. Evidence of adaptation to increasing temperatures. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 17 (1). <https://doi.org/10.3390/IJERPH17010097>.
- WHO, 2015. Operational Framework for Building Climate Resilient Health Systems. www.who.int.
- WHO, 2021a. Health promotion glossary of terms 2021. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/350161/9789240038349-eng.pdf?sequence=1>.
- WHO, 2021b. Climate change and health. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>.
- WHO, 2022. Mental health and climate change: policy brief. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/354104/9789240045125-eng.pdf>.
- Wickham, K.A., Wallace, P.J., Cheung, S.S., 2020. Sex differences in the physiological adaptations to heat acclimation: a state-of-the-art review. *Eur. J. Appl. Physiol.* 121 (2), 353–367. <https://doi.org/10.1007/S00421-020-04550-Y>, 2020 121:2.
- Yang, X., Zeng, G., Iyakaremye, V., Zhu, B., 2022. Effects of different types of heat wave days on ozone pollution over Beijing-Tianjin-Hebei and its future projection. *Sci. Total Environ.* 837, 155762 <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.155762>.
- Yu, J., Castellani, K., Forsysinski, K., Gustafson, P., Lu, J., Peterson, E., Tran, M., Yao, A., Zhao, J., Brauer, M., 2021. Geospatial indicators of exposure, sensitivity, and adaptive capacity to assess neighbourhood variation in vulnerability to climate change-related health hazards. *Environ. Health: A Global Access Science Source* 20 (1), 1–20. <https://doi.org/10.1186/S12940-021-00708-Z>.

scoping review that met the following criteria, namely: including all persons; considering the heat adaptation concept; and covering the context of the impact of global warming on health and mortality. A total of 23 studies were selected. This review found very few studies targeting adaptation to heat in the human population and a limited number of countries carrying out research in this field, something that highlights the lack of research in this area. It is therefore crucial for political decision-makers to support studies that serve to enhance our comprehension of long-term adaptation to heat and its impact on the health of the human population.

1. Introduction

Climate change is the greatest health threat facing humanity (WHO, 2021), due to the increased frequency, intensity and severity of extreme weather phenomena, such as heat waves, cold waves, storms, forest fires, floods and droughts. These phenomena affect human health negatively, in that they increase the mortality and morbidity of the population (Weilhammer et al., 2021).

According to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), there has been a rise in the mean global temperature and an increase in the intensity and frequency of heat waves (IPCC, 2022). That said, however, the effects are felt to differing degrees in different populations, due to individual, demographic, geographical and social factors which determine vulnerability and the capacity to adapt (Adger, 2006; Paavola, 2017a; Satgar and Cherry, 2019; WHO, 2021). These factors are dictated by differences in exposure, sensitivity and adaptability to risk factors (Füssel and Klein, 2006; Marí-Dell'olmo et al., 2022; Paavola, 2017b).

Adaptation in the human system is the process of adjusting and modifying to tackle the current or envisaged climate and its effects, with the aim of minimising harm and maximising the opportunities of obtaining benefits (Allen et al., 2014). Several metrics can be used to measure the effectiveness of adaptation (United Nations Environment Programme, 2022). When it comes to the impact of heat, this can be addressed by reference to its relationship with the adaptation strategies implemented, i.e., health and wellbeing, economic and human security, agriculture and subsistence livelihood, infrastructure and built environment, and socio-cultural impacts (Turek-Hankins et al., 2021). From a health standpoint, the reduction in heat-related mortality is regarded as being the most effective indicator to show the efficacy of adaptation (United Nations Environment Programme, 2022).

Whereas increasingly more tends to be known about the impact of climate change caused by human action, far less is known about global adaptation to such change (Turek-Hankins et al., 2021). In general, virtually nothing is known about how humans have adapted or will adapt to heat stress caused by long-term climate change (Folkerts et al., 2020).

To ascertain the level of a given population's adaptation to heat, this can be analysed via the time trend in the temperature-mortality relationship. To this end, one can use two indicators that link mortality (T_{threshold} and MMT) and compare the trend over time to the rate of increase in the maximum daily temperature. If these indicators' rate of change is swifter than the increase in the maximum daily temperature, then the population has adapted: however, if the indicators' rate of change is slower than the rate of increase in the maximum daily temperature, then the population has not succeeded in adapting itself (Follos et al., 2020, 2021; López-Bueno et al., 2021; Navas-Martín et al., 2022a; Navas-Martín et al., 2022b).

T_{threshold} is the maximum daily temperature above which the effects of heat begin to cause excess heat-related mortality, and above which mortality rises significantly (Linares et al., 2017; López-Bueno et al., 2021). *MMT* is the maximum daily temperature which has the lowest number of deaths (Follos et al., 2020, 2021).

It is thus crucial to understand the factors that influence adaptation (Bakhsh et al., 2018) in order to protect the population from its effects, particularly those related to the rise in temperature and its impact on health (Sánchez Martínez et al., 2011). However, we have no precise

picture of what is known in the scientific literature about the population's adaptation to heat through the temperature-mortality relationship.

In this context, the temperature-mortality relationship, as seen through the time trend in threshold temperatures and minimum mortality temperatures vis-à-vis the maximum daily temperature, makes it possible to ascertain a given population's level of adaptation to heat. Bearing this in mind in order to guide the study, the following research question was posed: What is the available evidence in the literature on population adaptation to heat by reference to the time trend in the temperature-mortality relationship?

This review therefore aimed: firstly, to ascertain existing knowledge about population adaptation to heat by reference to a reduction, if any, in mortality due to the effects of heat on human health; and secondly, to draw up a research network map based on the co-authorships of the papers retrieved.

Reviews of the literature concerning between temperature-related mortality and human adaptation to high temperatures are limited (Arbuthnott et al., 2016; Boeckmann and Rohn, 2014). Consequently, they have highlighted the paucity of substantial evidence. With rising global temperatures and increased frequency and intensity of heat waves, assessing the scope and completeness of existing evidence could help to pinpoint areas where knowledge gaps exist. In addition, this assessment could guide future research.

2. Material and methods

A scoping review serves as an initial assessment of the potential breadth and depth of existing research materials, striving to uncover the character and scale of available research findings, which may even encompass ongoing research. This type of review provides policymakers with insights to determine whether a comprehensive systematic review is warranted (Grant and Booth, 2009). Scoping reviews are conducted for a variety of purposes, the main objectives being to examine the breadth or depth of the literature, map and summarise the available evidence, guide future research, and recognise or address areas of knowledge gaps (Peters et al., 2020a).

We conducted a scoping review in accordance with the suggested recommendations of the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) extension for scoping reviews and updated methodological guidelines (Peters et al., 2020b; PRISMA, 2021). Scoping reviews begin by establishing a predetermined protocol that describes the planned methodology for each stage (Sargeant and O'Connor, 2020). To do this, we drew up a purpose-designed protocol (Navas-Martín et al., 2023c), which was deposited before extraction of data from the Open Science Framework repository (Center for Open Science, n.d.). The protocol outlines the search strategy, screening process, data-charting process and data-analysis.

2.1. Eligibility criteria

In line with the Population, Concept and Context mnemonic (Peters et al., 2020a), this exploratory review included studies that: a) referred to all persons; b) considered the heat-adaptation concept; and c) covered the context of the impact of global warming on health and mortality.

2.2. Search strategy and selection criteria

The search strategy was jointly drawn up by a specialist in literature searches and the research team. An initial strategy was designed using the following MeSH controlled vocabulary terms for MEDLINE: “Adaptation Physiological”; “Acclimatization”; “Heat Stress Disorders”; “Hot Temperature”; “Temperature”; “Mortality”; and “Climate Change”. This search strategy was then adapted for use in other databases, such as *Embase*, *Scopus* and *Web of Science Core Collection*. The different search strategies used in the bibliographic databases are shown in Annex 1. We included manuscripts in English published since 2003, the year marking Europe's most lethal heat wave to date and the initiation of heat-prevention plans, and thus collected the most recent studies and reports on the issue until May 2023. Our review covered ecological studies of all geographic regions.

2.3. Screening

After using the purpose-designed strategy to conduct the search, we compiled the results and excluded duplicated records with the aid of the JabRef reference management software programme (Kopp, n.d.). A screening process using the liberal accelerated method (Khangura et al., 2012) was then performed, in which one reviewer examined all the documents identified for their possible inclusion, and another reviewer independently screened any documents that had been excluded by the first reviewer. The initial screening process consisted of a perusal of the titles and abstracts of all entries found. The full text of the remaining documents was then evaluated and screened in accordance with the eligibility criteria.

2.4. Data-charting process

Information was collected from each paper using a Microsoft Excel data-extraction sheet. One member of the research team extracted the data, which were then verified by a second team member. These data included titles, authors' names, country of corresponding authors' institutional affiliations (in cases where there was more than one the corresponding author, the first author was selected), year, study objectives, and key words.

2.5. Data-analysis

We performed quantitative and qualitative analyses of the results of the scoping review. The quantitative analysis focused mainly on the authors, the year of publication, the country of corresponding authors' institutional affiliations, the study objectives, and the key words. A word cloud was generated for analysis of key-word frequencies using the *Wordclouds.com* on-line tool. The qualitative analysis, for its part, consisted of using content analysis to categorise the study objectives, in order to group them by category (Bardin, 2002). For visual depiction of the countries of the institutions where researchers carried out their studies, the *MapChart* on-line tool was used. Lastly, we performed an analysis of social media, using reference data that enable collaborative networks with other authors to be identified. To this end, we used *VOSviewer* version 1.6.19, which is an application for building and visualising bibliometric networks. For analysis of the bibliographic references, all authors' names were manually normalised to unify them, and to prevent duplication as a result of the same name being cited in different ways in the papers.

3. Results

A total of 23 studies were selected for review purposes (Table 1) from an initial set of 98 studies that fulfilled the eligibility criteria. Of the 74 studies excluded, 50 did not address adaptation, 13 focused on future projections that did not make it possible to ascertain whether a

population had or had not adapted to heat, and in 11 there was no direct relationship between temperature and mortality (Fig. 1).

Of those selected, eleven approached the issue from the standpoint of axes of inequality, which are factors that contribute to inequality in a society. These axes were identified as territory (Díaz et al., 2018; Navas-Martín et al., 2022b), age (Navas-Martín et al., 2023b), gender (Follos et al., 2020; Navas-Martín et al., 2022a), or the combination between different axes, such as gender and age (Achebak et al., 2019), and age and territory (Bobb et al., 2014; Chung et al., 2018; Navas-Martín et al., 2023a). Furthermore, one study was found which approached the topic using more than two axes, e.g., age, territory and gender (Ordanovich et al., 2023) or ethnicity, age and gender (Roca-Barceló et al., 2022). Eight studies were deemed to be methodological studies (Åström et al., 2016; Follos et al., 2021; Kinney et al., 2008; López-Bueno et al., 2021; Petkova et al., 2017; Thai et al., 2019; Todd and Valleron, 2015). One study was undertaken in multiple cities (Tobías et al., 2021), and one in several countries (Vicedo-Cabrera et al., 2018). Two studies were reviews of literature relating to heat adaptation (Arbuthnott et al., 2016; Boeckmann and Rohn, 2014).

With respect to studies categorised as axes of inequality, Díaz et al. (2018) observed a decrease in heat-attributable mortality in the Spanish population in recent years, though there were differences between territories. Furthermore, when it came to evaluating adaptation levels, Navas-Martín et al. (2022a) identified differences in heat adaptation between urban and non-urban populations. Additionally, Bobb et al. (2014) found that the US population had developed greater resistance to heat with time, reflected in a decreased risk of mortality. Differences were, however, observed between cities and age groups, especially in the elderly population. Navas-Martín et al. (2023a, 2023b) and Ordanovich et al. (2023) also found differences in adaptation to heat by territory and gender respectively.

From a gender perspective, Achebak et al. (2019) reported that both men and women showed adaptation across the study period in Spain. For their part, Follos et al. (2020) and Navas-Martín et al. (2022b) found differences in the adaptation of the Spanish population, stressing that while women were more susceptible to heat, they nevertheless showed a greater capacity of adaptation than men. The study conducted by Chung et al. (2018) observed a decrease in the relative risk of heat-related mortality in Japan. In addition, significant differences were found by region and gender: the results indicated that the change in susceptibility was associated with climatic, demographic and socio-economic factors.

Lastly, the study conducted by Roca-Barceló et al. (2022) to evaluate adaptation of the São Paulo population, analysed fluctuations in the MMT and cumulative relative risk, and reported differences by gender, age and ethnicity. With respect to differences by race, whereas non-white men displayed greater difficulties to adapt to heat, white women displayed a greater capacity of adaptation.

With respect to the studies reviewed which addressed methodological aspects, Kinney et al. (2008) indicated the existence of different ways of linking temperature to mortality, though with different limitations. Although the MMT is commonly used, there are different ways of obtaining it. Follos et al. (2021) suggested the use of quadratic or cubic adjustments to find the best relationship between temperature and mortality through the MMT. Moreover, they proposed evaluating a population's adaptation to heat by comparing the rate of increase in the MMT to the maximum daily temperature (TMAX). López-Bueno et al. (2021) indicated that Tthreshold can also be used, though its time trend displays considerable geographical variation.

Todd and Valleron (2015) reported that large urban areas are not uniform and can have important variations, as in the case of their study in Paris, where significant differences were observed between the city and its suburbs. Thai et al. (2019) proposed linking high indoor temperatures to mortality, and stressed that the association between exposure to indoor temperatures and mortality also depends on the geographical situation. Folkerts et al. (2020) used three different methods to ascertain the MMT and sensitivity to heat. The results

Table 1
Summary of reviewed studies on population adaptation to heat through the relationship between temperature and mortality.

| Reference | Country | Aims | Keywords | Category |
|------------------------------|----------------|--|--|--------------------|
| Kinney et al. (2008) | USA | | adaptation, climate change, heat waves, mortality, temperature, weather | Methodological |
| Bobb et al. (2014) | USA | They investigated the hypothesis that if adaptation is occurring, then heat-related mortality would be decreasing over time | | Axes of inequality |
| Boeckmann and Rohn (2014) | Germany | In this study, the researchers are particularly interested in intentional, planned adaptation | heat, climate change, effectiveness, systematic review, cardiovascular disease, respiratory disease | Review |
| Todd and Valleron (2015) | France | Their aim was to partition space with a high-resolution grid to assess the temperature-mortality relationship in a territory with wide climate diversity over a period with notable climate warming | | Methodological |
| Arbuthnott et al. (2016) | United Kingdom | The objective of this paper is to review studies that have specifically examined variations in temperature-related mortality risks over the 20th and 21st centuries and determine whether population adaptation to heat and/or cold has occurred. | climate change, adaptation, temperature, heat, cold, heatwave, mortality, health | Review |
| Åström et al. (2016) | Sweden | They used observations of daily mean temperatures to investigate whether the minimum mortality temperature (MMT) changed in Stockholm, Sweden, from the beginning of the 20th century until 2009 | | Methodological |
| Petkova et al. (2017) | USA | The present study derived projections of temperature-related mortality in New York City, considering future patterns of adaptation or demographic change, both of which can have profound influences on future health burdens. | | Methodological |
| Chung et al. (2018) | South Korea | The objective of study was to investigate the changing population susceptibility to non-optimum temperatures in 47 prefectures of Japan over a span of four decades, specifically from 1972 to 2012. We aimed to address three aspects: minimum mortality temperature (MMT) and the risks of heat- and cold-related mortality. Additionally, we aimed to examine the associations between these aspects of susceptibility and climate, demographic, and socioeconomic variables. | | Axes of inequality |
| Vicedo-Cabrera et al. (2018) | United Kingdom | This study aims to address the issue of potential adaptive mechanisms to non-optimal ambient temperatures by providing a comprehensive assessment. The assessment will cover recent decades and different locations characterised by diverse climates. | climate change, heat, cold, adaptation, mortality | Multiple locations |
| Dfáz et al. (2018) | Spain | The objective of this study is to analyze whether there has been a temporal change in the maximum daily temperatures that constitute a heat wave (T _{threshold}) in Spain during the period of 1983–2013. Additionally, the study aims to investigate whether there has been variation in the attributable risk (AR) associated with mortality due to high temperatures during this period. | heat waves, daily mortality, time trend, impact assessment, prevention plans | Axes of inequality |
| Achebak et al. (2019) | Spain | The aim of this study was to assess trends in temperature-related cardiovascular disease mortality in Spain, considering both sex and age. Additionally, the study investigated the association between climate warming and changes in the risk of mortality. | | Axes of inequality |
| Thai et al. (2019) | Australia | This study aimed to address the challenge by employing an indirect approach to evaluate the impact of elevated indoor temperature on mortality in different climate zones. The objective was to investigate whether humans adapt or acclimatize to different ranges of indoor temperatures. | minimum mortality temperature, indoor temperature, human health, adaptive thermal approach, adaptability | Methodological |
| Folkerts et al. (2020) | Netherlands | The aim of the current study was twofold: they investigated changes in minimum mortality temperature (MMT) in the Netherlands over a period of 23 years, from 1995 to 2017, specifically focusing on older adults (≥65 years). Additionally, they compared the three previously mentioned models (SEG, CSDL, and DLNM). | mortality, temperature, climate change, human adaptation, older adults, minimum mortality temperature | Methodological |
| Follos et al. (2020) | Spain | The objective of this study is to determine the temporal evolution of minimum mortality temperature (MMT) in two Spanish provinces (Seville and Madrid), during the period of 1983–2018. Additionally, the study aims to evaluate whether the rate of adaptation to heat is appropriate. | minimum mortality temperature, adaptation, daily mortality, prevention plans | Axes of inequality |
| Follos et al. (2021) | Spain | The objective of this study was twofold. Firstly, it aimed to analyze the temporal evolution (time trend) of minimum mortality temperature (MMT) registered in Spain's 52 provinces during the period of 1983–2018. Secondly, the study aimed to investigate whether there was an increase in MMT sufficient to compensate for the increase in environmental temperatures detected in Spain during the same period. | minimum mortality temperature, adaptation, temporal trend, mortality, heat | Methodological |
| López-Bueno et al. (2021) | Spain | The objective of this study was to analyze the temporal evolution of threshold temperatures (T _{threshold}) in different Spanish regions during the period of 1983–2018. Additionally, the study aimed to compare this evolution with the evolution of mean monthly temperature (MMT). | temperature threshold, minimum mortality temperature, adaptation, mortality attributable | Methodological |
| Tobías et al. (2021) | Spain | The researchers aimed to estimate mean monthly temperatures (MMTs) using data from hundreds of communities across various countries under different climates. Additionally, they sought to | minimum mortality temperature; climate; adaptation; time-series; distributed lag nonlinear models; multi-city; multi-country | Multiple locations |

(continued on next page)

Table 1 (continued)

| Reference | Country | Aims | Keywords | Category |
|-----------------------------|----------------|--|--|--------------------|
| Navas-Martín et al. (2022a) | Spain | study the geographical, climatic, and socioeconomic determinants of the MMT. The aim of this study was to provide knowledge related to the social, climate, and economic factors that are associated with the evolution of minimum mortality temperatures (MMT) in Spain, considering both rural and urban contexts, during the time period of 1983–2018. The aim of this study was to analyze the values of minimum mortality temperatures (MMT) in men and women and examine their temporal evolution during the period of 1983–2018 in the provinces of Spain. | adaptation, minimum mortality temperature, urban, rural, prevention plans, local factors | Axes of inequality |
| Navas-Martín et al. (2022b) | Spain | The aim of this study was twofold. Firstly, to ascertain adaptation to heat among individuals aged 65 years and older across the period from 1983 to 2018 by analyzing the minimum mortality temperature (MMT). Secondly, to examine the trend in adaptation to heat over time in relation to the total population. | adaptation, vulnerability, minimum mortality temperature, gender, sex | Axes of inequality |
| Roca-Barceló et al. (2022) | United Kingdom | | urban health, health inequalities, climate change, temperature, mortality | Axes of inequality |
| Navas-Martín et al. (2023a) | Spain | The aim of this study is to ascertain the differences in vulnerability and the heat-adaptation process among the Spanish population aged 65 years and older, specifically through the analysis of the minimum mortality temperature (MMT), using territorial classification. | adaptation; MMT; age; prevention plan; mortality; health | Axes of inequality |
| Navas-Martín et al. (2023b) | Spain | This study aims to explore the temporal variations of the minimum mortality temperature and the mortality burden from both heat and cold between the years 1979 and 2018. | adaptation; MMT; age; elderly; rural; nonurban; urban; mortality; health | Axes of inequality |
| Ordanovich et al. (2023) | Spain | | adaptation, temperature, climate change, time-series regression, distributed lag non-linear models | Axes of inequality |

indicated that susceptibility to heat decreased in the elderly population of The Netherlands, regardless of the method used. Åström et al. (2016) proposed using extended time series to examine demographic trends. To this end, they analysed data on the Stockholm population covering more than a century and suggested that the population had adapted by virtue of increase in the MMT. Lastly, Petkova et al. (2017) suggested that adaptation to heat can be evaluated by observation of changes in the relative risks of heat-related mortality across time.

With reference to the multiple-location category, this was characterised by featuring comparative studies undertaken in different places, whether different cities or countries. Tobías et al. (2021) carried out a study in 43 different countries, in which they suggested that populations showed adaptation to high temperatures, especially in areas with greater variations in temperature and seasonal changes. Vicedo-Cabrera et al. (2018) conducted a study in 10 different countries to estimate trends in attributable mortality fractions, which decreased in most countries. The authors suggested that there had been a reduction in heat-related mortality in more recent decades.

Lastly, two literature reviews were found. Boeckmann and Rohn (2014) conducted a systematic review of effective measures to reduce heat-related mortality. They located a total of 30 papers but found no conclusive evidence of which measures were effective for adaptation to heat. Arbutnott et al. (2016), on the other hand, carried out a study to explore the relationship between temperature, health outcomes, and changes in vulnerability or adaptation. They found only 11 studies that quantified absolute risk of heat-related mortality across time, as well as 6 studies that compared the effects of heat waves on mortality. Their findings indicated a decrease in susceptibility to heat and heat waves in the population.

When it came to analyzing the place of origin of corresponding authors' institutions, the continents represented were North America (USA), Asia (South Korea), Europe (Spain, France, The Netherlands, United Kingdom and Sweden) and Oceania (Australia) (Fig. 2).

In terms of key-word analysis, a total of 52 key words with 101 repetitions were analysed. The terms that registered the highest frequency were “adaptation” (12 times), “minimum mortality temperature” (8 times), “climate change” (7 times), “mortality” (6 times), “temperature” (4 times), “health” (3 times), “heat” (3 times) and “prevention plans” (3 times). In contrast, the terms “age”, “cold”, “heat waves”, “MMT”, “rural” and “urban” appeared twice, while the majority of key words analysed (74.1 %) appeared only once (Fig. 3).

In the analysis of the research network map identified in the scoping review (Fig. 4), the presence of 12 groups or clusters was observed: of these, 7 were isolated, and 5 were interconnected. One cluster in particular was noteworthy (shown in red), which was the main component and the largest of all. This cluster was in turn made up of 4 additional clusters, though the ties of the central cluster were weak, since they depended on a single node (the researcher, Roosli). According to Granovetter's theory about the strength of weak ties (Granovetter, 1973), if this researcher were to disappear, the component would split and the network would become more tenuous.

Finally, as a summary of the evidence on the main findings of the reviewed publications on the process of human adaptation to heat, in general it can be stated that the population is undergoing heat adaptation. However, it is important to note that the availability of studies on this subject is limited and differences have been identified both in methodological approaches and in the populations analysed. On the one hand, few reviews have been found in this area. In the systematic review conducted by Boeckmann and Rohn (2014), >56.6 % of the studies reviewed reported a decrease in negative effects related to extreme heat conditions. However, the reviewed studies did not provide definitive evidence on the effectiveness of adaptation measures, as it is difficult to quantify the health impacts of adaptation.

In contrast, the review by Arbutnott et al. (2016) mostly (91 %) identified a decrease in population vulnerability to heat over time.

On the other hand, the few studies obtained in both reviews may be attributed, in part, to the complexity of obtaining accurate measurements of MMT. In addition, it is important to consider that the relationship between temperature and mortality may vary between different cities or communities, suggesting the usefulness of using time series spanning long time periods, as proposed by Kinney et al. (2008).

With regard to the results, in the United States, during the period from 1987 to 2005, most of the cities analysed (70 %) proved to have adapted to heat. Although the population has become increasingly resistant to heat, this does not rule out the persistence of heat-related risks, as noted by Bobb et al. (2014). In the context of New York City, a study spanning from the 19th to the 20th century revealed limited heat adaptation during the first half of the 20th century. However, a change in this trend was observed in the last four decades, indicating increased adaptation, especially from the year 2000 onwards. These findings suggest that the main factor driving this change was the widespread use of domestic air conditioning, as noted by Petkova et al. (2017).

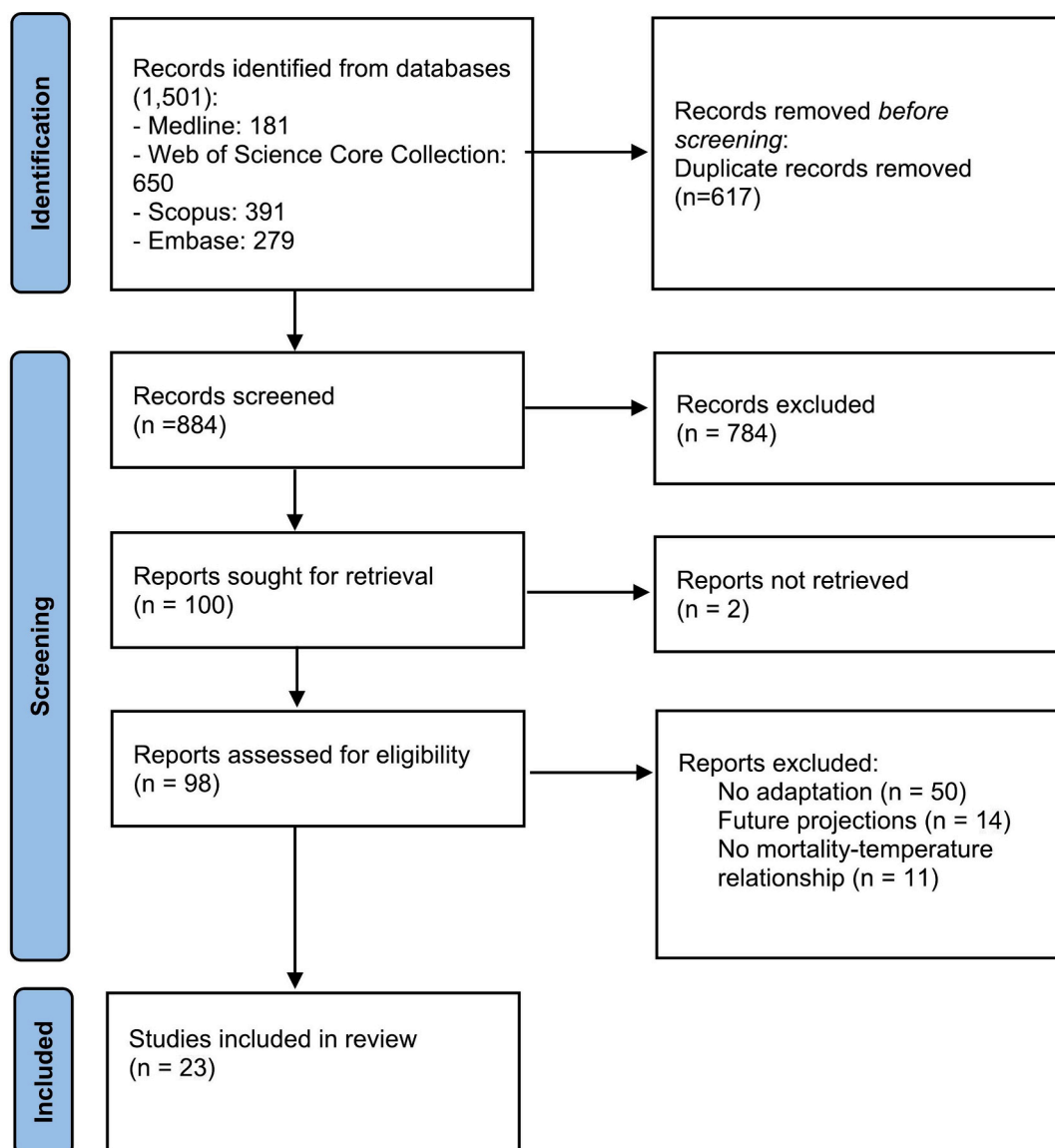


Fig. 1. Flow chart of study selection for scoping review process.

In France, a study in an elderly population during the period from 1968 to 2009 showed indications of heat adaptation in their results, according to [Todd and Valleron \(2015\)](#). In Sweden, an analysis conducted in the Stockholm population during the period 1901 to 2009 suggests that the gradual increase in MMT over time could indicate heat adaptation, as indicated by [Åström et al. \(2016\)](#). On the other hand, in Japan, a study covering all 47 prefectures during the period 1972 to 2012 found a decrease in population susceptibility to heat over time, as mentioned by [Chung et al. \(2018\)](#). In the Netherlands, a study conducted in an elderly population during the period 1995 to 2017 suggests the presence of adaptation, indicated by a decrease in human susceptibility to heat [Folkerts et al. \(2020\)](#). In Brazil, a study conducted in the city of São Paulo during the period 2000 to 2018 suggests that white women adapted more than women of other races, while non-white men showed less favourable adaptation [Roca-Barceló et al. \(2022\)](#).

An analysis conducted in 10 countries over the period 1985 to 2012 indicated that most of these countries (70 %) experienced adaptation, evidenced by decreases in heat-related mortality impacts, as reported by [Vicedo-Cabrera et al. \(2018\)](#). In addition, a study covering 43 countries over the period 1984 to 2016 suggests that populations have shown adaptation, as indicated by [Tobías et al. \(2021\)](#). In a more specific

approach, a study that took place in 8 cities and focused on the relationship between indoor and outdoor temperatures and mortality revealed that populations may be in the process of adapting to higher indoor temperatures, as evidenced by [Thai et al. \(2019\)](#).

In the context of Spain, several studies have addressed human adaptation at various scales and time periods. Studies conducted between 1983 and 2018 include research carried out in different numbers of provinces, such as two specific provinces (Madrid and Seville) analysed by [Follos et al. \(2020\)](#), 10 provinces studied by [López-Bueno et al. \(2021\)](#), and a 50-province level analysis by [Follos et al. \(2021\)](#) that all showed adaptation in general. Also, in the same period, in relation to urban and non-urban populations, a study by [Navas-Martín et al. \(2022a\)](#) suggests that the urban population has experienced greater adaptation, while [Navas-Martín et al. \(2022b\)](#) suggest that women have shown greater adaptation than men. In the context of the elderly population, it found that the majority (62 %) had adapted to the heat, according to [Navas-Martín et al. \(2023a\)](#), while other research focused on the elderly population in urban and non-urban provinces during the same period suggests adaptation in non-urban provinces ([Navas-Martín et al., 2023b](#)). During another study period, spanning from 1983 to 2013, the research conducted by [Díaz et al. \(2018\)](#) also indicates

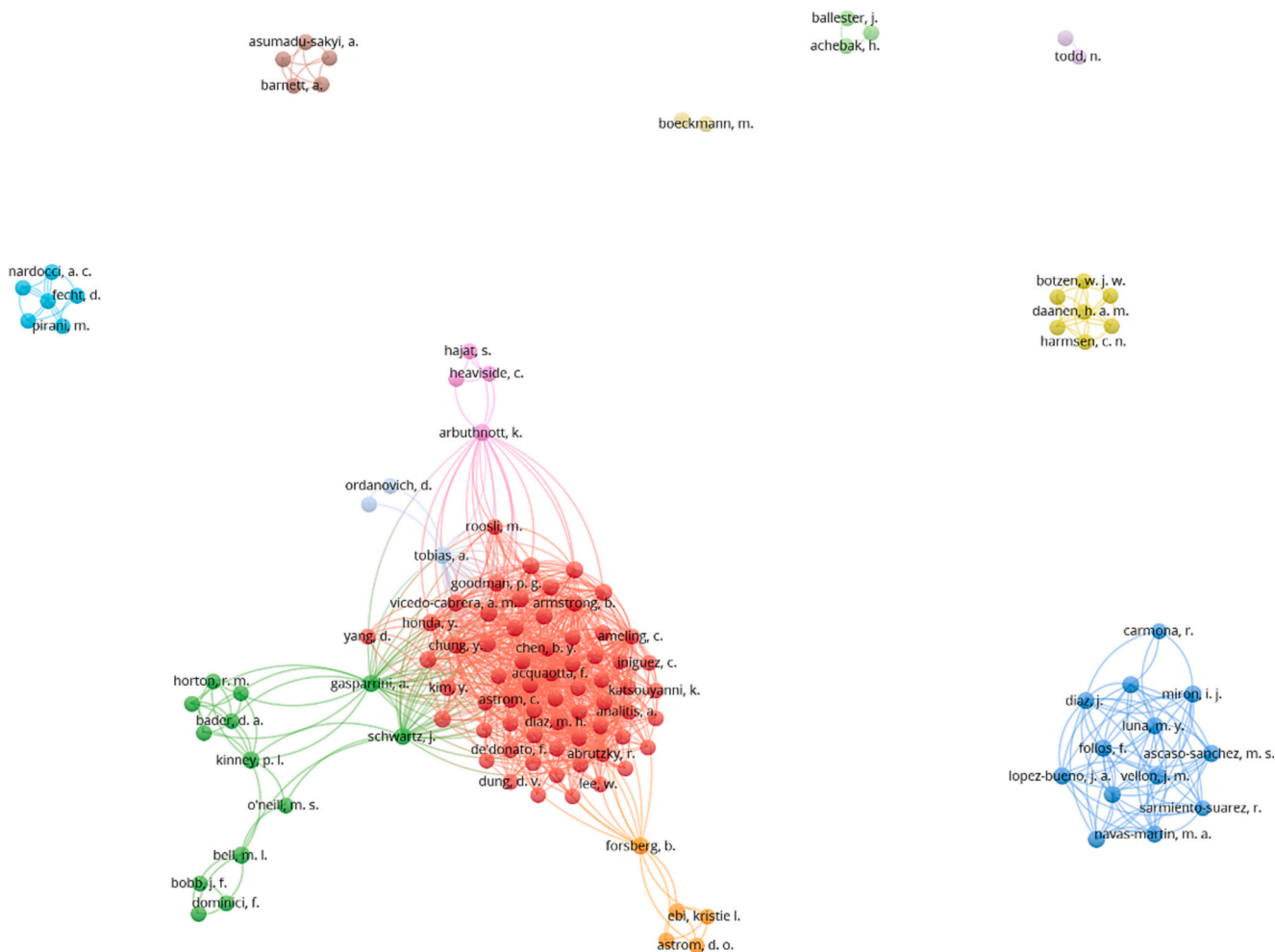


Fig. 4. Visualization of the researcher network grouped by clusters.

this crucial issue. Furthermore, the results of the limited evidence are in line with those of another two literature reviews using similar approaches, one conducted in 2014 which included 30 selected studies (Boeckmann and Rohn, 2014), and another in 2016 which covered 17 studies (Arbuthnott et al., 2016).

Similarly, most of the studies identified were characterised by being ecological studies that use different axes of inequality, such as gender, ethnicity, age or territory, to determine a given population's capacity of adaptation. These axes are those which determine the possibilities that individuals have to preserve their health and adapt to the effects of climate change and their impact on health. The results also highlight the fact that there is no single methodology to ascertain a population's long-term heat-adaptation process. Despite the fact that two of the studies located were undertaken in many cities spread across different countries, and even in different countries, most of the studies were undertaken at a smaller scale of analysis, something that highlights the fact that adaptation policies should be approached from a local rather than a global perspective (Füssel and Klein, 2006), taking into account the fact that the geographical, climatic and socio-economic characteristics of each particular area determine its adaptation (Navas-Martín et al., 2023b).

In terms of the origin of the institutions at which the studies were carried out, Spain heads the number of studies on heat adaptation and its impact on health, followed by the United Kingdom and the USA. The lack of studies in Africa and South America is notable, which underscores the fact that, despite the impact of global warming on all countries, there are few countries which are currently undertaking

research in this field.

Although the key-word analysis showed a wide diversity in the terms used, the most noteworthy elements were adaptation, the implications of climate change on health, and the use of the MMT as the most usual indicator for measuring the temperature-mortality relationship.

Insofar as the research network map is concerned, there are a significant number of groups that are not interconnected as compared to groups that do collaborate. This could account, on the one hand, for the methodological differences found in the studies. On the other hand, the characteristics of the studies require that they be conducted on a smaller scale, which means that collaborations to replicate studies between countries or cities could be determined by the problem of these studies being comparable, due to the fact that the adaptation process is influenced by the climatic, geographical and socio-economic characteristics of each particular area (Navas-Martín et al., 2023b).

In general, it can be said that, while some populations have partially succeeded in adapting to heat, many others still have to overcome difficulties to achieve this. A number of studies have indicated that in some countries, both in Europe and in other parts of the world, there has been a lessening in the effects of heat, though this reduction is neither uniform nor found everywhere (WHO Regional Office for Europe, 2021).

Lastly, while studies on heat and mortality have increased in the last two decades (Mayrhuber et al., 2018), it is not known to what degree a given population has adapted to heat spontaneously (i.e., without external intervention), or whether it has succeeded in adapting through direct or indirect interventions in the adaptive processes. It is therefore crucial to understand two important aspects: firstly, the need to

ascertain whether the rate of temperature-related mortality across time is greater or constant as compared to the rate of increase in the recorded temperature, since this may be an indicator of adaptation; and secondly, it is fundamental to identify the factors that intervene in the heat-adaptation process over time, with the aim of minimising the effects of global warming on human health.

Scoping reviews inherently come with limitations because their primary aim is to provide a wide-ranging overview rather than a detailed exploration of a specific topic ((Tricco et al., 2016). It is because of them that some relevant studies may be excluded (Pham et al., 2014).

This scoping review has some limitation. First, the searches were limited to English content published after 2003. This limitation may introduce linguistic and temporal bias that may exclude other studies published in other languages and before the indicated date. Furthermore, our search was limited to four databases: MEDLINE, Embase, Scopus and Web of Science (WOS), which may not cover all relevant literature in other databases, in addition to gray literature being excluded. Second, despite using a methodical approach, it is conceivable that not all studies were included in this review during the screening stage. Furthermore, since only articles with the search terms in the abstract or title were considered, those that mentioned the concept of considered the heat-adaptation within the content but did not explicitly name it in the title or abstract might have been left out.

Finally, regarding the various approaches that this study could encompass, it is important to highlight that adaptation is a complex phenomenon that could manifest itself in different ways, such as shifting or changing the shape of the temperature-mortality curve. In particular, adaptation could be evident as a less steep curve for warmer temperatures—an approach that has not been included in this review.

5. Conclusions

Climate change is the greatest health threat currently facing humanity, and among the measures to combat the effects of change, are mitigation and adaptation measures. With respect to the human population's capacity to adapt to heat, few studies have been carried out and there are few countries that are undertaking research in this area. This scoping review highlights a gap in research, and it is therefore crucial for those responsible for decision-making to support studies which will enable us to better understand long-term adaptation to heat and its implications for human health.

CRedit authorship contribution statement

Miguel Ángel Navas-Martín. Original idea of the study. Study design; Providing and Analysis of data; Elaboration and revision of the manuscript.

María-Antonia Ovalle-Perandones. Providing and Analysis of data; Elaboration and revision of the manuscript.

José Antonio López-Bueno. Analysis of data; Elaboration and revision of the manuscript.

Julio Díaz. Original idea of the study. Study design; Elaboration and revision of the manuscript.

Cristina Linares. Original idea of the study. Study design; Elaboration and revision of the manuscript.

Gerardo Sánchez-Martínez. Original idea of the study. Study design; Elaboration and revision of the manuscript.

Funding

This study was funded by grants from the Carlos III Institute of Health for the ENPY 436/21 and ENPY 304/20 projects. The authors would also like to thank the National Distance Education University (UNED) for funding this publication in open access.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Data availability

No data was used for the research described in the article.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168441>.

References

- Achebak, H., Devolder, D., Ballester, J., 2019. Trends in temperature-related age-specific and sex-specific mortality from cardiovascular diseases in Spain: a national time-series analysis. *Lancet Planet. Health* 3 (7), e297–e306. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(19\)30090-7/ATTACHMENT/9FF2613A-A391-4E95-B6C6-0B1E83DC2A39/MMC1.PDF](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30090-7/ATTACHMENT/9FF2613A-A391-4E95-B6C6-0B1E83DC2A39/MMC1.PDF).
- Adger, W.N., 2006. Vulnerability. *Glob. Environ. Chang.* 16 (3), 268–281. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2006.02.006>.
- Allen, M.R., Broome, J., Church, J.A., Clarke, L., Forster, P., Friedlingstein, P., Fuglestedt, J., Hegerl, G., Jiménez Cisneros, B., Kattsov, V., Kunreuther, H., Meyer, L., Minx, J., Mulugetta, Y., O'Brien, K., Oppenheimer, M., Plattner, G.-K., Reisinger, A., Scholes, R., van Vuuren, D., 2014. Annex II: Glossary. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/01/SYRAR5-Glossary_en.pdf.
- Arbuthnott, K., Hajat, S., Heaviside, C., Vardoulakis, S., 2016. Changes in population susceptibility to heat and cold over time: assessing adaptation to climate change. *Environ. Health Global Access Sci. Source* 15 (1), 73–93. <https://doi.org/10.1186/S12940-016-0102-7/FIGURES/5>.
- Åström, D.O., Tornevi, A., Ebi, K.L., Rocklöv, J., Forsberg, B., 2016. Evolution of minimum mortality temperature in Stockholm, Sweden, 1901–2009. *Environ. Health Perspect.* 124 (6), 740–744. <https://doi.org/10.1289/ehp.1509692>.
- Bakhsh, K., Rauf, S., Zulfiqar, F., 2018. Adaptation strategies for minimizing heat wave induced morbidity and its determinants. *Sustain. Cities Soc.* 41, 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.05.021>.
- Bardin, L., 2002. *El análisis de contenido* (Ediciones Akal).
- Bobb, J.F., Peng, R.D., Bell, M.L., Dominici, F., 2014. Heat-related mortality and adaptation to heat in the United States. *Environ. Health Perspect.* 122 (8), 811–816. <https://doi.org/10.1289/ehp.1307392>.
- Boeckmann, M., Rohn, I., 2014. Is planned adaptation to heat reducing heat-related mortality and illness? A systematic review. *BMC Public Health* 14 (1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-1112/FIGURES/4>.
- Center for Open Science. (n.d.). Open Science Framework. Retrieved February 22, 2023, from <https://osf.io/>.
- Chung, Y., Yang, D., Gasparrini, A., Vicedo-Cabrera, A.M., Ng, C.F.S., Kim, Y., Honda, Y., Hashizume, M., 2018. Changing susceptibility to non-optimum temperatures in Japan, 1972–2012: the role of climate, demographic, and socioeconomic factors. *Environ. Health Perspect.* 126 (5) <https://doi.org/10.1289/EHP2546> (057002-1-057002-057008).
- Díaz, J., Carmona, R., Mirón, I.J., Luna, M.Y., Linares, C., 2018. Time trend in the impact of heat waves on daily mortality in Spain for a period of over thirty years (1983–2013). *Environ. Int.* 116, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.04.001>.
- Folkerts, M.A., Bröde, P., Botzen, W.J.W., Martinius, M.L., Gerrett, N., Harmsen, C.N., Daanen, H.A.M., 2020. Long term adaptation to heat stress: shifts in the minimum mortality temperature in the Netherlands. *Front. Physiol.* 11 <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00225>.
- Follos, F., Linares, C., Vellón, J.M., López-Bueno, J.A., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Díaz, J., 2020. The evolution of minimum mortality temperatures as an indicator of heat adaptation: the cases of Madrid and Seville (Spain). *Sci. Total Environ.* 747, 141259 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141259>.
- Follos, F., Linares, C., López-Bueno, J.A., Navas, M.A., Culqui, D., Vellón, J.M., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Díaz, J., 2021. Evolution of the minimum mortality temperature (1983–2018): is Spain adapting to heat? *Sci. Total Environ.* 784, 147233 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147233>.
- Füssel, H.M., Klein, R.J.T., 2006. Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking. *Clim. Change* 75 (3), 301–329. <https://doi.org/10.1007/S10584-006-0329-3/METRICAL>.
- Granovetter, M.S., 1973. The strength of weak ties. *Am. J. Sociol.* 78 (6), 1360–1380. <http://www.jstor.org/stable/2776392>.
- Grant, M.J., Booth, A., 2009. A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Inform. Libr. J.* 26 (2), 91–108. <https://doi.org/10.1111/J.1471-1842.2009.00848.X>.
- IPCC, 2022. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>.

- Khangura, S., Konnyu, K., Cushman, R., Grimshaw, J., Moher, D., 2012. Evidence summaries: the evolution of a rapid review approach. *Syst. Rev.* 1 (1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/2046-4053-1-10>.
- Kinney, P.L., O'Neill, M.S., Bell, M.L., Schwartz, J., 2008. Approaches for estimating effects of climate change on heat-related deaths: challenges and opportunities. *Environ. Sci. Policy*, 11 (Schwartz J.) Department of Environmental Health, Harvard School of Public Health, Channing Laboratory, Boston, MA, United States), 87–96–87–96. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2007.08.001>.
- Kopp, O. (n.d.). JabRef. Retrieved May 17, 2023, from <https://www.jabref.org/>.
- Linares, C., Carmona-Alferez, R., Ortiz Burgos, C., Diaz-Jimenez, J., 2017. Temperaturas extremas y salud. Cómo nos afectan las olas de calor y de frío. <https://repisalud.isciii.es/handle/20.500.12105/9074>.
- López-Bueno, J.A., Díaz, J., Follos, F., Vellón, J.M., Navas, M.A., Culqui, D., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Linares, C., 2021. 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.* 33 (1), 101. <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00542-7>.
- Marí-Dell'olmo, M., Oliveras, L., Estefanía Barón-Miras, L., Borrell, C., Montalvo, T., Ariza, C., Ventayol, I., Mercurioli, L., Sheehan, M., Gómez-Gutiérrez, A., Villalbí, J. R., 2022. Climate change and health in urban areas with a Mediterranean climate: A conceptual framework with a social and climate justice approach. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 19 (19), 12764. <https://doi.org/10.3390/IJERPH191912764>.
- Mayrhuber, E.A.S., Dücker, M.L.A., Wallner, P., Arnberger, A., Allex, B., Wiesböck, L., Wanka, A., Kolland, F., Eder, R., Hutter, H.P., Kutalek, R., 2018. Vulnerability to heatwaves and implications for public health interventions – A scoping review. *Environ. Res.* 166, 42–54. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2018.05.021>.
- Navas-Martín, M.Á., López-Bueno, J.A., Ascaso-Sánchez, M.S., Sarmiento-Suárez, R., Follos, F., Vellón, J.M., Mirón, I.J., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Culqui, D., Linares, C., Díaz, J., 2022a. Gender differences in adaptation to heat in Spain (1983–2018). *Environ. Res.* 215, 113986 <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2022.113986>.
- Navas-Martín, M.Á., López-Bueno, J.A., Díaz, J., Follos, F., Vellón, J.M., Mirón, I.J., Luna, Y., Sánchez-Martínez, G., Culqui, D., Linares, C., 2022b. Effects of local factors on adaptation to heat in Spain (1983–2018). *Environ. Res.* 209, 112784 <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112784>.
- Navas-Martín, M.Á., López-Bueno, J.A., Ascaso-Sánchez, M.S., Follos, F., Vellón, J.M., Mirón, I.J., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Díaz, J., Linares, C., 2023a. Territory differences in adaptation to heat among persons aged 65 years and over in Spain (1983–2018). *Int. J. Environ. Res. Public Health* 20 (5), 4168. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054168>.
- Navas-Martín, M.Á., López-Bueno, J.A., Ascaso-Sánchez, M.S., Follos, F., Vellón, J.M., Mirón, I.J., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Linares, C., Díaz, J., 2023b. Heat adaptation among the elderly in Spain (1983–2018). *Int. J. Environ. Res. Public Health* 20 (2), 1314. <https://doi.org/10.3390/IJERPH20021314>.
- Navas-Martín, M.Á., Ovalle-Perandones, M.-A., López-Bueno, J.A., Sánchez, G., Díaz, J., Linares, C., 2023c. Population heat adaptation through the relationship between temperature and mortality in the context of global warming on health: A scoping review. <https://osf.io/kxzw/h/>.
- Ordanovich, D., Tobias, A., Ramiro, D., 2023. Temporal variation of the temperature-mortality association in Spain: a nationwide analysis. *Environmental Health: A Global Access Science Source* 22 (MEDLINE:36635705), 5–5–5–5.
- Paavola, J., 2017a. Health impacts of climate change and health and social inequalities in the UK. *Environmental Health: A Global Access Science Source* 16 (1), 61–68. <https://doi.org/10.1186/S12940-017-0328-Z/METRICS>.
- Paavola, J., 2017b. Health impacts of climate change and health and social inequalities in the UK. *Environmental Health: A Global Access Science Source* 16 (1), 61–68. <https://doi.org/10.1186/S12940-017-0328-Z/METRICS>.
- Peters, M.D.J., Godfrey, C., McInerney, P., Munn, Z., Tricco, A.C., Khalil, H., 2020a. Scoping reviews. In: Aromataris, E., Munn, Z. (Eds.), *JBI Manual for Evidence Synthesis*. JBI. <https://doi.org/10.46658/JBIMES-20-12>.
- Peters, M.D.J., Marnie, C., Tricco, A.C., Pollock, D., Munn, Z., Alexander, L., McInerney, P., Godfrey, C.M., Khalil, H., 2020b. Updated methodological guidance for the conduct of scoping reviews. *JBI Evidence Synthesis* 18 (10), 2119–2126. <https://doi.org/10.11124/JBIES-20-00167>.
- Petkova, E.P., Vink, J.K., Horton, R.M., Gasparrini, A., Bader, D.A., Francis, J.D., Kinney, P.L., 2017. Towards more comprehensive projections of urban heat-related mortality: Estimates for New York city under multiple population, adaptation, and climate scenarios. *Environ. Health Perspect.*, 125(Kinney P.L.) Department of Environmental Health Sciences, Mailman School of Public Health, Columbia University, New York, NY, United States), 47–55–47–55. <https://doi.org/10.1289/EHP166>.
- Pham, M.T., Rajić, A., Greig, J.D., Sargeant, J.M., Papadopoulos, A., McEwen, S.A., 2014. A scoping review of scoping reviews: advancing the approach and enhancing the consistency. *Res. Synth. Methods* 5 (4), 371–385. <https://doi.org/10.1002/JRSM.1123>.
- PRISMA, 2021. PRISMA for Scoping Reviews. American College of Physicians. <https://www.prisma-statement.org/Extensions/ScopingReviews>.
- Roca-Barceló, A., Fecht, D., Pirani, M., Piel, F.B., Nardocci, A.C., Vineis, P., 2022. Trends in temperature-associated mortality in São Paulo (Brazil) between 2000 and 2018: an example of disparities in adaptation to cold and heat. *J. Urban Health* 99 (6), 1012–1026. <https://doi.org/10.1007/S11524-022-00695-7/FIGURES/4>.
- Sánchez Martínez, G., Imai, C., Masumo, K., 2011. Local heat stroke prevention plans in Japan: characteristics and elements for public health adaptation to climate change. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 8 (12), 4563–4581. <https://doi.org/10.3390/ijerph8124563>.
- Sargeant, J.M., O'Connor, A.M., 2020. Scoping reviews, systematic reviews, and Meta-analysis: applications in veterinary medicine. *Front. Vet. Sci.* 7, 11. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00011>.
- Satgar, V., Cherry, J., 2019. Climate and food inequality: the South African Food Sovereignty Campaign response, 17(2), pp. 317–337. <https://doi.org/10.1080/14747731.2019.1652467>.
- Thai, P.K., Candido, C., Asumadu-Sakya, A., Barnett, A., Morawska, L., 2019. Variation of indoor minimum mortality temperature in different cities: evidence of local adaptations. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)* 246 (MEDLINE: 30623830), 745–752–745–752.
- Tobías, A., Hashizume, M., Honda, Y., Sera, F., Ng, C.F.S., Kim, Y., Roye, D., Chung, Y., Dang, T.N., Kim, H., Lee, W., Iniguez, C., Vicedo-Cabrera, A., Abrutzyk, R., Guo, Y., Tong, S., De Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Saldiva, P.H.N., Lavigne, E., Gasparrini, A., 2021. Geographical variations of the minimum mortality temperature at a global scale: a multicountry study. *Environ. Epidemiol.* 5 (5), E169. <https://doi.org/10.1097/EE9.0000000000000169>.
- Todd, N., Valleron, A.-J., 2015. Space-time covariation of mortality with temperature: a systematic study of deaths in France, 1968–2009. *Environ. Health Perspect.* 123 (MEDLINE:25803836), 659–64–659–64.
- Tricco, A.C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K., Colquhoun, H., Kastner, M., Levac, D., Ng, C., Sharpe, J.P., Wilson, K., Kenny, M., Warren, R., Wilson, C., Stelfox, H.T., Straus, S.E., 2016. A scoping review on the conduct and reporting of scoping reviews. *BMC Med. Res. Methodol.* 16 (1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/S12874-016-0116-4/TABLES/4>.
- Turek-Hankins, L.L., Coughlan de Perez, E., Scarpa, G., Ruiz-Diaz, R., Schwerdtle, P.N., Joe, E.T., Galappaththi, E.K., French, E.M., Austin, S.E., Singh, C., Siña, M., Siders, A. R., van Aalst, M.K., Templeman, S., Nunbogu, A.M., Berrang-Ford, L., Agrawal, T., team, of the G. A. M. I, Mach, K.J., 2021. Climate change adaptation to extreme heat: a global systematic review of implemented action. *Oxford Open Climate Change* 1 (1), 5. <https://doi.org/10.1093/OXFCLM/KGAB005>.
- United Nations Environment Programme, 2022. Adaptation gap report 2022: too little, too slow - climate adaptation failure puts world at risk. <https://www.unep.org/adaptation-gap-report-2022>.
- Vicedo-Cabrera, A.M., Sera, F., Guo, Y., Chung, Y., Arbutnot, K., Tong, S., Tobias, A., Lavigne, E., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Hilario Nascimento Saldiva, P., Goodman, P.G., Zeka, A., Hashizume, M., Honda, Y., Kim, H., Ragettli, M.S., Roosli, M., Zanobetti, A., Schwartz, J., Gasparrini, A., 2018. A multi-country analysis on potential adaptive mechanisms to cold and heat in a changing climate. *Environ. Int.* 111 (MEDLINE:29272855), 239–246–239–246.
- Weilhammer, V., Schmid, J., Mittermeier, I., Schreiber, F., Jiang, L., Pastuhovic, V., Herr, C., Heinze, S., 2021. Extreme weather events in Europe and their health consequences – a systematic review. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 233, 113688. <https://doi.org/10.1016/J.IJHEH.2021.113688>.
- WHO, 2021, October 30. Climate change and health. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>.
- WHO Regional Office for Europe, 2021. Heat and health in the WHO European Region: updated evidence for effective prevention. In: Martínez, G. Sanchez, De Donato, F., Kendrovski, V. (Eds.), WHO Regional Office for Europe. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/339462/9789289055406-eng.pdf>.



Effects of local factors on adaptation to heat in Spain (1983–2018)

Má Navas-Martín^{a,b,*}, J.A. López-Bueno^b, J. Díaz^b, F. Follos^c, Jm Vellón^c, Ij Mirón^d, My Luna^e, G. Sánchez-Martínez^f, D. Culqui^b, C. Linares^b

^a Doctorate Program in Biomedical Sciences and Public Health, National University of Distance Education, Madrid, Spain

^b National School of Public Health, Carlos III Institute of Health, Madrid, Spain

^c Tdot Soluciones Sostenibles, SL. Ferrol. A Coruña, Spain

^d Regional Health Authority of Castile La Mancha, Toledo, Spain

^e State Meteorological Agency, Madrid, Spain

^f The UNEP DTU Partnership, Copenhagen, Denmark

ARTICLE INFO

Keywords:

Adaptation
Minimum mortality temperature
Urban
Rural
Prevention plans
Local factors

ABSTRACT

The European Union is currently immersed in policy development to address the effects of climate change around the world. Key plans and processes for facilitating adaptation to high temperatures and for reducing the adverse effects on health are among the most urgent measures. Therefore, it is necessary to understand those factors that influence adaptation. The aim of this study was to provide knowledge related to the social, climate and economic factors that are related to the evolution of minimum mortality temperatures (MMT) in Spain in the rural and urban contexts, during the 1983–2018 time period. For this purpose, local factors were studied regarding their relationship to levels of adaptation to heat.

MMT is an indicator that allows for establishing a relationship to between mortality and temperature, and is a valid indicator to assess the capacity of adaptation to heat of a certain population. MMT is obtained through the maximum daily temperature and daily mortality of the study period. The evolution of MMT values for Spain was established in a previous paper.

An ecological, longitudinal and retrospective study was carried out. Generalized linear models (GLM) were performed to identify the variables that appeared to be related to adaptation. The **adaptation** was calculated as the difference in variation in MMT based on the average increase in maximum daily temperatures.

In terms of adaptation to heat, urban populations have adapted more than non-urban populations. Seventy-nine percent ($n = 11$) of urban provinces have adapted to heat, compared to twenty-one percent ($n = 3$) of rural provinces that have not adapted. In terms of urban zones, income level and habituation to heat (values over the 95th percentile) were variables shown to be related to adaptation. In contrast, among non-urban provinces, a greater number of housing rehabilitation licenses and a greater number of health professionals were variables associated with higher increases in MMT, and therefore, with adaptation.

These results highlight the need to carry out studies that allow for identifying the local factors that are most relevant and influential in population adaptation. More studies carried out at a small scale are needed.

1. Introduction

In 2015 the General Assembly of the United Nations approved the 2030 Agenda for Sustainable Development, which included 17 Sustainable Development Objectives (SDG). SDG 13 was related to adopting urgent measures to combat climate change and its effects. Currently, the European Union finds itself immersed in climate and environment-related challenges requiring resilience, reduction in vulnerability and

improvements in adaptation to climate change. The different effects of climate change include an increase in the average temperature and an increase in the intensity and frequency of heat waves (WHO Regional Office for Europe, 2021). Heat waves represent one of the most direct impacts of climate change on health (European Commission, 2020). However, this impact varies across the European continent, with differences between cities that include factors related to latitude (Kazmierczak et al., 2020).

* Corresponding author. Miguel Ángel Navas Martín National University of Distance Education, C/ Bravo Murillo, 38 3a 28015, Madrid, Spain.
E-mail address: mnavas89@alumno.uned.es (M. Navas-Martín).

This does not mean, however, that the consequences in warm zones are more mild compared to colder zones. For example, the Mediterranean region is one of the most vulnerable regions in Europe in terms of climate. Furthermore, it has been predicted to be one of the most affected by climate change (Linares et al., 2017), in addition to the western part of the European region (WHO Regional Office for Europe, 2021). Among the different consequences, worth noting is the greater impact on the health of the population (Cramer et al., 2020).

In Spain, according to predicted estimates in a climate scenario with more emissions RCP8.5 (Amblar Francés et al., 2017), annual variations in the increase in temperature could range from 4.2 °C to 6.4 °C. This supposes more marked summers and longer heat waves, whose effects will be especially important in urban areas and in terms of human health (Sanz and Galán, 2021). Along with the rest of Europe, in Spain there will be different effects among cities. For example, in terms of the increase in heat waves, consequences will be more marked in communities in the regions of Murcia, Islas Baleares and Canary Islands and less so in Galicia and La Rioja (Gobierno de España, 2020).

Prior studies on mortality have demonstrated that the temperature and its effects differ at the local level (Choi et al., 2021; Hu et al., 2019; Hu et al., 2019b; López-Bueno et al., 2019; López-Bueno et al., 2021; Wang et al., 2018). Differences in mortality between regions due to the effects of heat can be determined by differences in climatological conditions as well as individual characteristics (such as age and socioeconomic level based on income, education and employment), adaptation factors, improvements in infrastructure and services (de' Donato et al., 2015; Gasparrini et al., 2015; Son et al., 2014).

Older adults are more vulnerable to the effects of heat than younger people (Díaz et al., 2015). Education level also has an impact and is related to income level. Those with higher levels of education have an average income that is higher than people with lower levels of education (Muller, 2002). This determines, at least in part, people's living conditions, both in terms of access of medical services and access to acclimatization equipment (Yang et al., 2021).

The implementation of adaptation measures, in particular Heat Health Action Plans (HHAPs), has been shown to be effective in reducing cases of mortality associated with heat (Martínez et al., 2019). These plans include a series of key elements. Of great importance is the inclusion of communications campaigns, printed media, social media and digital media that inform about the risks related to heat and how to prevent them (de' Donato et al., 2018).

Adaptation to high temperatures is a key to reducing the adverse effects of heat on the health of residents, and MMT is a valid indicator to measure the adaptive trends of a population or territory (Folkerts et al., 2020; Follos et al., 2020, 2021; López-Bueno et al., 2021a,b,c; Yin et al., 2019). When MMT increases more quickly than average maximum daily temperatures of exposure, it indicates an adaptive population process, thanks to the combination of acclimatization and adaptation of individual factors, both physical and socioeconomic. However, in practice, our understanding of the influence of these factors on the adaptation of the population to heat is limited. Therefore, knowledge of the factors that influence adaptation is needed (Bakhsh et al., 2018) to inform policy development in local governments to protect the population from the consequences of climate change, specifically the effects related to heat (Sánchez Martínez et al., 2011).

The aim of this study was to provide knowledge related to the social, climate and economic factors (rural or urban context) that were related to the evolution of minimum mortality temperatures (MMT) in Spain during the 1983–2018 time period.

2. Materials and methods

2.1. Study area

Spain is located in southwestern Europe. It is the second largest country in the European Union.

(505,944 Km²) and the sixth largest in terms of population (47,322,614 inhabitants). It is characterized by great climate variability, due to its orography and geographical situation, with 3 types and 11 subtypes of climate regions (Eurostat, 2021a, 2021b; Moreno Rodríguez et al., 2005). Administratively, Spain is divided into 50 provinces, all of which were included in this study.

Spain's territory has been classified at the geographical level (NUTS 3) according to Regulation (EC) Number 1059/2003 on the Establishment of a Common Classification of Territorial Units for Statistics (NUTS, 2003). In Spain's case this corresponds to the administrative division of provinces.

2.2. Study variables

Population behavior in terms of the risks of extreme temperatures differs based on the rural-urban typology of the areas where people live (Gutiérrez and LePrevost, 2016). Thus, as in prior studies, the differentiation in typology was used in this study (López-Bueno et al., 2021; López-Bueno et al., 2021).

The urban-rural classification in this study used the criteria established by Eurostat (2015), which is based on the rural population as a percentage of the total; this was 20 percent for predominantly rural populations, between 20 and 50 percent for the intermediate regions and 50 percent or more for regions that are predominantly rural. For the purposes of this study, provinces were grouped into two categories: urban, which corresponds to predominantly urban regions, and non-urban, which corresponds to intermediate and predominantly rural regions (Fig. 1).

Variables of reference from other studies carried out in the context of mortality (Follos et al., 2020) were used, as well as those relating to climate, demographics, socioeconomic level and level of services and infrastructure (Barreca et al., 2016; Chung et al., 2018; López-Bueno et al., 2021). The variables used were classified into three categories: dependent, explanatory and control variables (Table 1).

2.2.1. Dependent variable

MMT was used as the principal dependent variable, according to the methodology and results obtained previously by Follos et al. (2020) (Fig. 2). MMT is an indicator that allows mortality to be linked to temperature, in addition to being a valid indicator to assess a population's capacity for adaptation to heat (Folkerts et al., 2020; Follos et al., 2020, 2021; López-Bueno et al., 2021a,b,c; Yin et al., 2019). MMT has been obtained through a deterministic method, using the maximum daily temperature and daily mortality of the study period. For each year and province, the MMT is determined using a quadratic or cubic adjustment (curvilinear regression). From the annual MMT values, a linear adjustment is made to determine the temporal evolution of the MMT. In the case that it does not fit significantly or with a polynomial of order 2 or 3, the MMT for that year are discarded (Follos et al., 2020, 2021).

These data were determined using mortality data and retrospectively predicted temperatures by the National Statistics Institute (INE) and the State Meteorological Agency (AEMET) for the 1983–2018 period.

2.2.2. Explanatory variables

Explanatory variables were preselected in a prior phase and were made up of demographic, economic, housing and health-related variables (Table 1). Each of the variables was calculated by province (equivalent to NUTS 3), accounting for the time period within which each took place during the overall period of the study. The variables used are described here.

The average of the population over 65 years of age and the total population were calculated. The data for both variables were extracted from the principal series of population data since 1971 (Instituto Nacional de Estadística, n.d.-c) and were calculated for each province for the years 1983–2018, using January 1 of each year as a reference.

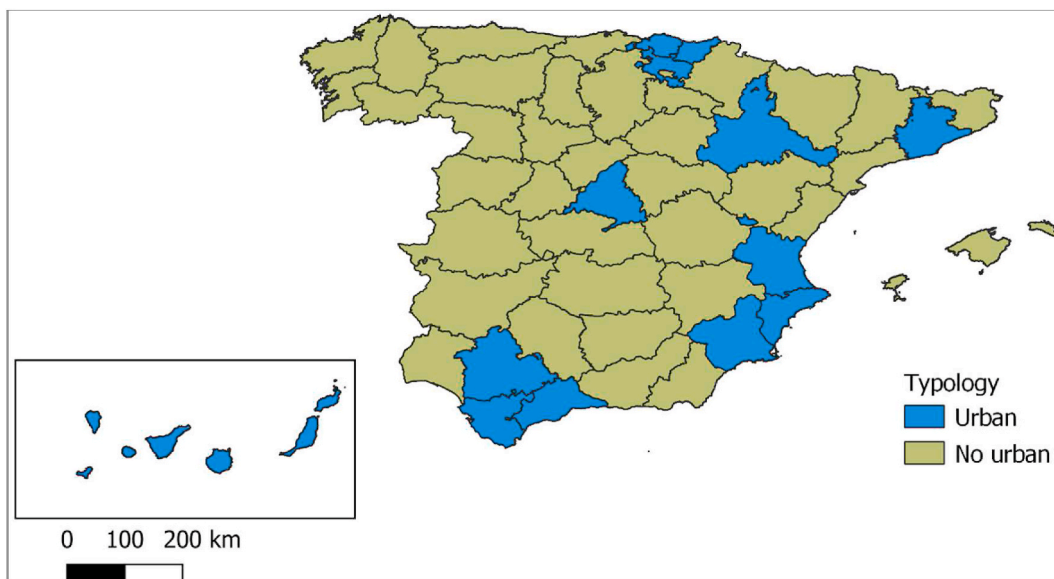


Fig. 1. Map of urban and non-urban provinces in Spain, 2015).

Table 1
Relationship of the variables by category and type.

| Type | Category | Variables |
|-------------|-------------|--|
| Dependent | Mortality | Variation in the minimum mortality temperature by degree and decade (MMT_VAR) |
| Explanatory | Demographic | Proportion of over age 65 (POP_65) and average of inhabitants (POPULATION). |
| | Economic | Income per capita (INCOME), deprivation of privileged and underprivileged groups (ECONOMIC_RESOURCES). |
| | Housing | Proportion of dwellings in good conditions (GOOD_HOUSE), proportion of dwellings built in the last 50 years (HOUSE_LESS_50), rehabilitation licenses (REHABILITATION_LICENSES). |
| Health | Health | Health expenditure per inhabitant (HEALTH_EXPENDITURE), proportion of health professionals (HEALTH_PROFESSIONALS), proportion of ambulances (AMBULANCES), ratio of health centers (HEALTH_FACILITIES) consultation facilities (MEDICAL_FACILITIES) per inhabitant. |
| | | Control |

The average income per capita for each province of the 2000–2018 series was calculated. The data were extracted from the statistical data of the Spanish regional accounting system (Instituto Nacional de Estadística, n.d.-b).

The population’s economic situation, grouped into privileged populations and underprivileged populations, was calculated (Fig. 3). The economic situation can be conditioned by the type of worker or the age of the unemployed population, in addition to education level and the access to the Internet at home. For this variable, an adapted version of the deprivation index IP2011 was used (Duque et al., 2021), which was grouped by provinces and took a dichotomous value: 1 for the most privileged populations (the grouped index value is less than zero) and 0 for the underprivileged populations (the grouped index value is greater than zero).

The proportion of dwellings in good conditions and the average number of dwellings constructed within 50 years prior were obtained. The state of housing and the date of construction were obtained from the Census of Population and Housing of 2011 (Instituto Nacional de Estadística, n.d.-a).

The number of licenses granted to buildings for rehabilitation per

10,000 inhabitants was calculated during the years 2007–2017. The data were obtained from the construction catalog of buildings with municipal licenses for construction from the Ministry of Transport, Mobility and Urban Agenda (Gobierno de España, n.d.-c).

The average municipal health expenditure was obtained for the years 2002–2018. Local entity data were obtained using statistical data related to the general budgets of local entities and their liquidation from telematic services of the General Secretariat of Autonomous and Local Financing (Gobierno de España, n.d.-a).

The proportion of health professionals was calculated using the average of the ratio of the number of physician or nurses during the 2004–2018 period. The average number of ambulances per 100,000 inhabitants in the 2012–2018 series was obtained. The number of health and primary care centers and the consultation facilities (which are not considered health centers per se, but which provide health care in the area of primary care) were calculated. The average numbers of health centers and consultation facilities were calculated using the average population per 10,000 inhabitants. Data were obtained from the Statistical Portal of the Area of Intelligence Management (Gobierno de España, n.d.-b) and the Primary Care Information System (SIAP) for each province.

2.2.3. Control variable

The variables used as a control variable for ambient exposure were temperatures at the 95th percentile for each Spanish province during the 1980–2003 period, considering that vulnerability to heat depends on the population’s exposure to heat at the maximum daily temperature (Linares et al., 2017).

2.2.4. Adaptation variable

In order to determine whether the provinces showed (or did not show) an adaptive trend during the study period, the adaptation was calculated, which corresponds to the difference in variation in MMT with the average increase in maximum daily temperatures, according to the methodology and results (Follos et al., 2020). A value of 1 was assigned to the adaptation variable for provinces with adaptation (for which the value of the level of adaptation was greater than 0), and a value of 0 was assigned in provinces without adaptation (which had an adaptation value lower than 0).

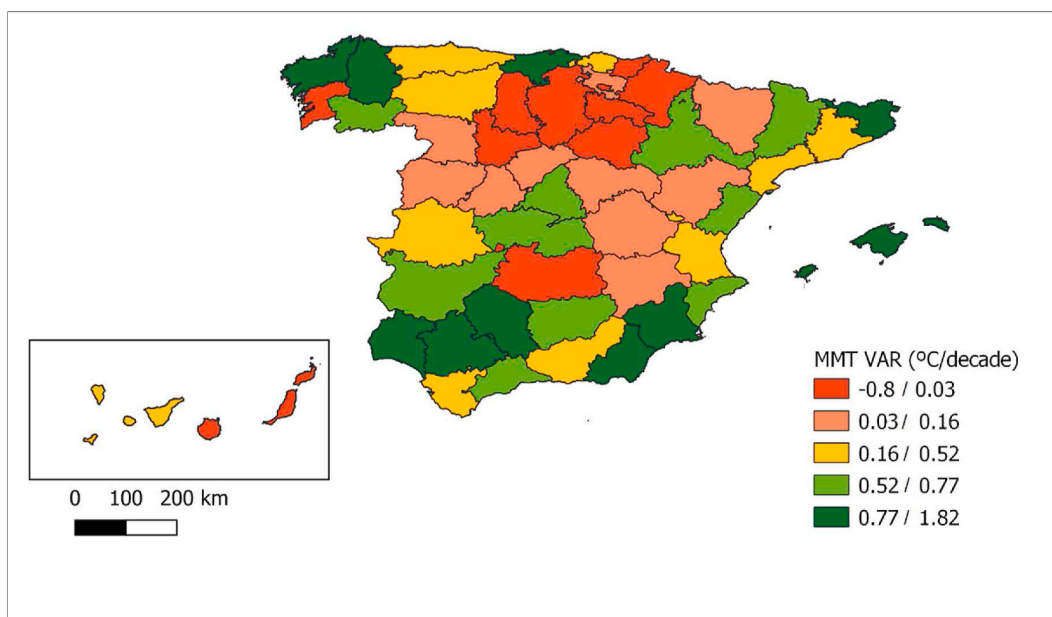


Fig. 2. Variation in the minimum mortality temperature in Spain, 1983–2018.

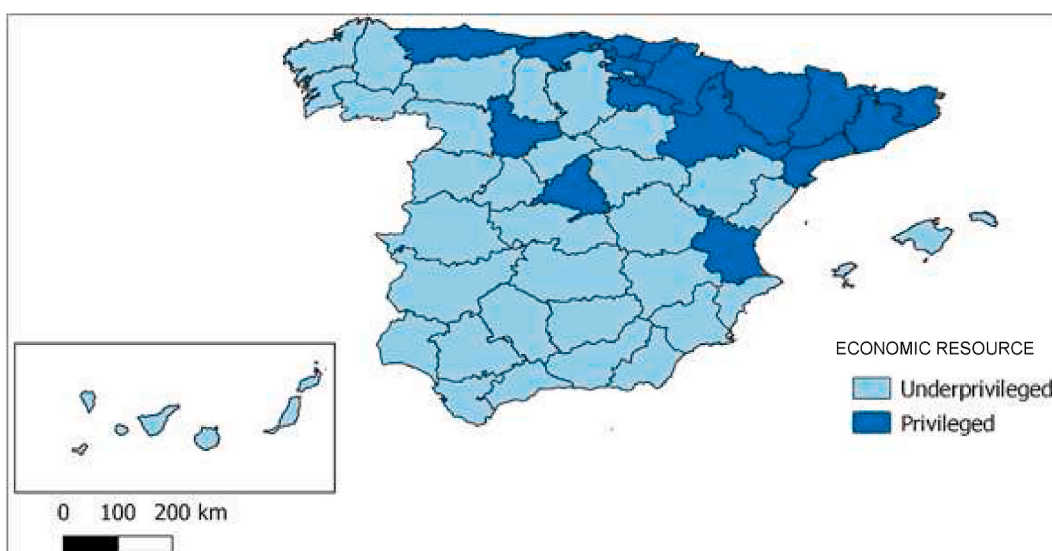


Fig. 3. Map depicting the deprivation of underprivileged and privileged populations in Spain, 2011).

2.3. Data analysis

To carry out the data analysis, we first considered the division between urban provinces (Table 2) and non-urban provinces (Table 3) for each of the variables. They were analyzed using generalized linear models (GLM).

Second, a model was generated using the variables (Table 1) selected, adjusted for each of the groups (urban and non-urban). In these models, the variables were discarded based on the biological sense of their coefficients' direction, negative or positive, and by the backward stepwise methodology, until statistical significance was reached (p-value < 0.05).

The variables INCOME, ECONOMIC RESOURCES, HOUSE_LESS_50 and HEALTH FACILITIES were used for the urban model. For the non-urban model, the variables selected were POP_65, POPULATION, INCOME, ECONOMIC RESOURCES, GOOD_HOUSE, REHABILITATION_LICENSES, HEALTH_PROFESSIONALS and MEDICAL FACILITIES.

Furthermore, the dependent variable MMT_VAR included control

variable T_95, due to its importance as a variable for climatological control for both groups.

The statistical program STATA version 15 was used to carry out the analysis. Data treatment used software R, version 4.0.2. The geographic information systems program QGIS version 3.16.0 was used for spatial representation.

3. Results

According to the classification criteria in the study, at the province level, Spain is predominantly non-urban, with 72 percent (n = 36) non-urban provinces, compared to 28 percent (n = 14) urban provinces (Fig. 1). In terms of the adaptation to heat according to the urban-rural typology, 79 percent (n = 11) of the urban provinces showed an adaptive trend (Table 2), with 21 percent (n = 3) lacking adaptation. In comparison, only 44 percent (n = 16) of non-urban provinces showed an adaptive trend (Table 3), with 56 percent (n = 20) not adapting. Both differences were statistically significant (p-value < 0.05) according to a

Table 2
Relationships between the dependent, explanatory and control variables in urban provinces.

| NAM_MUN | MMT VAR | ADAPT LEVEL | ADAPT | T_95 | POP_65 | POPULATION | INCOME | ECONOMIC RESOURCES | GOOD HOUSE | HOUSE LESS_50 | REHAB. LICENSES | HEALTH EXPENDITURE | HEALTH PROFESSIONALS | AMBULANCES | HEALTH FACILITIES | MEDICAL FACILITIES |
|------------------|---------|-------------|-------|------|--------|------------|----------|--------------------|------------|---------------|-----------------|--------------------|----------------------|------------|-------------------|--------------------|
| Alicante | 0.69 | 0.50 | 1 | 33.3 | 15.17 | 1,569,682 | 17398.21 | 0 | 0.94 | 0.89 | 7.11 | 6.64 | 2784 | 7.86 | 4.86 | 9.29 |
| Álava | 0.06 | -0.40 | 0 | 38 | 14.41 | 300,207 | 32118.95 | 1 | 0.96 | 0.86 | 12.96 | 14.70 | 2789 | 5.39 | 6.02 | 10.46 |
| Barcelona | 0.45 | 0.04 | 1 | 30.3 | 15.00 | 5,140,403 | 25885.00 | 1 | 0.94 | 0.75 | 5.20 | 15.13 | 2517 | 3.89 | 5.02 | 3.83 |
| Bizkaia | 0.20 | 0.14 | 1 | 32 | 16.00 | 1,182,241 | 26298.32 | 1 | 0.96 | 0.73 | 7.66 | 13.35 | 2527 | 3.28 | 6.36 | 8.54 |
| Cádiz | 0.49 | 0.20 | 1 | 32.4 | 11.44 | 1,171,259 | 16015.68 | 0 | 0.92 | 0.85 | 5.77 | 9.99 | 3130 | 5.10 | 4.33 | 6.13 |
| Gipuzkoa | 0.03 | -0.22 | 0 | 33.1 | 15.72 | 708,972 | 28009.00 | 1 | 0.97 | 0.67 | 4.58 | 9.37 | 3102 | 3.75 | 7.22 | 6.51 |
| Madrid | 0.58 | 0.18 | 1 | 36.5 | 13.31 | 5,736,471 | 29458.37 | 1 | 0.96 | 0.82 | 3.20 | 21.25 | 3281 | 1.35 | 4.08 | 2.53 |
| Málaga | 0.68 | 0.36 | 1 | 36.4 | 13.16 | 1,377,593 | 16361.11 | 0 | 0.96 | 0.91 | 4.67 | 8.37 | 2796 | 3.02 | 3.99 | 7.34 |
| Murcia | 1.00 | 0.83 | 1 | 37.5 | 12.87 | 1,261,196 | 18197.11 | 0 | 0.93 | 0.85 | 3.89 | 7.41 | 2671 | 5.48 | 5.65 | 12.91 |
| Las Palmas | 0.00 | -0.13 | 0 | 29.9 | 10.46 | 935,091 | 19029.58 | 0 | 0.90 | 0.84 | 2.27 | 6.28 | 2779 | 5.48 | 4.84 | 6.42 |
| S.C. de Tenerife | 0.36 | 0.14 | 1 | 31.5 | 12.61 | 864,165 | 19285.53 | 0 | 0.92 | 0.84 | 2.44 | 5.53 | 2375 | 5.86 | 5.60 | 8.60 |
| Sevilla | 1.14 | 0.83 | 1 | 41 | 12.55 | 1,791,717 | 23820.84 | 0 | 0.96 | 0.84 | 5.62 | 13.16 | 2321 | 4.98 | 4.42 | 5.53 |
| Valencia | 0.41 | 0.10 | 1 | 33.3 | 14.78 | 2,361,208 | 20494.11 | 1 | 0.93 | 0.77 | 5.75 | 6.79 | 2658 | 6.63 | 5.43 | 12.00 |
| Zaragoza | 0.61 | 0.13 | 1 | 37.3 | 17.35 | 915,979 | 23644.26 | 1 | 0.96 | 0.80 | 9.33 | 6.28 | 2471 | 3.77 | 6.52 | 30.39 |

chi-squared test.

In the selection of the candidate variables (Table 1), there was no statistically significant association found between the independent variables and variation in MMT in urban zones. In contrast, in non-urban zones five variables were found to be statistically significant, in the demographic (POP_65 y POPULATION), economic (INCOME), housing (REHABILITATION_LICENSES) and health (MEDICAL_FACILITIES) contexts.

With respect to MMT (Fig. 2), it can be observed that both the first and the second quintile correspond to low values of MMT (-0.8 to 0.16), and they are concentrated in provinces that did not show an adaptive trend. In comparison, beginning in the third quartile (0.16-1.82), with the exception of three provinces (Leon, Caceres and Granada, which did not adapt), all of the provinces showed an adaptive trend (Tables 2 and 3).

In terms of economic resources in Spain (Tables 2 and 3), there are more underprivileged provinces (34 or 68%) than privileged provinces (16 or 32%). Privileged zones are found primarily in the northern part of the country (Fig. 3). Although adaptation is not a differentiating factor among underprivileged zones in Spain, 50 percent (n = 17) of these areas did not show an adaptive trend, and the other 50 percent (n = 17) did (Tables 2 and 3). In comparison, in more privileged provinces 63 percent (n = 10) showed adaptation, compared to 37 percent (n = 6) that did not.

The analysis of the relationship between MMT and local factors in the models showed that two variables were related in a statistically significant way (p-value < 0.05) in urban zones: ECONOMIC_RESOURCES and T_95. In the first case, the rate of variation was lower among more underprivileged populations. In the second, it can be observed that MMT_VAR tended to grow with exposure to extreme heat.

In terms of the non-urban zones, the two variables related to MMT in a statistically significant way (p-value < 0.05) were REHABILITATION_LICENSES and HEALTH_PROFESSIONALS. In this case, a greater percentage of rehabilitation licenses for buildings and greater percentage of health professionals showed greater variation with the rate of population adaptation.

4. Discussion

The aim of this study was to gain knowledge about the local social, climate and resource-related factors were related to the evolution of minimum mortality temperatures (MMT) in Spain during the 1983-2018 period. This evolution can be interpreted to represent an adaptive trend among the population. This study provided two main findings. First, our results show that the adaptive trend was different by region. Urban populations adapted more than did non-urban populations. This agrees with other studies that have found differences in the behavior of heat, in which non-urban areas are more vulnerable than urban areas (Chen et al., 2017; Hu et al., 2019). This result contrasts with other studies that have found that urban areas are more vulnerable to heat than rural areas (Gabriel and Endlicher, 2011; Wang et al., 2018). In part, the greater level of adaptation observed in urban zones could be related to a better economic situation.

In this work it has been shown that those provinces whose MMT grows at a rate that is greater than maximum daily temperatures show an adaptive trend. However, this does not imply the disappearance of the health risks associated with extreme heat. Thus, the positive adaptive trend of a vulnerable province does not mean that it will cease to be vulnerable. Instead, it suggests that it will not have greater vulnerability in the future than it does currently. Therefore, this concept of adaptation is not comparable to others found in the literature that are based on risks and percentiles (Azhar et al., 2017; Chen et al., 2016; Follos et al., 2020, 2021; López-Bueno et al., 2021; López-Bueno et al., 2021; Nayak et al., 2018; Reid et al., 2009; Wolf and McGregor, 2013).

With respect to the relationship between local factors and MMT, there were only five preselection variables that were significant (p-value

Table 3
Relationships between the dependent, explanatory and control variables in non-urban provinces.

| NAM_MUN | MMT VAR | ADAPT LEVEL | ADAPT. | T_95 | POP_65 | POPULATION | INCOME | ECONOMIC RESOURCES | GOOD HOUSE | HOUSE LESS_50 | REHAB. LICENSES | HEALTH EXPENDITURE | HEALTH PROFESSIONALS | AMBULANCES | HEALTH FACILITIES | MEDICAL FACILITIES |
|----------------|---------|-------------|--------|------|--------|------------|---------|--------------------|------------|---------------|-----------------|--------------------|----------------------|------------|-------------------|--------------------|
| Albacete | 0.04 | -0.47 | 0 | 37 | 15.821 | 378,510 | 17092.6 | 0 | 0.95 | 0.81 | 6.60 | 5.66 | 2458 | 7.97 | 9.39 | 41.11 |
| Almería | 1.28 | 1.35 | 1 | 35.5 | 12.296 | 572,008 | 18254.7 | 0 | 0.93 | 0.89 | 5.45 | 22.20 | 3245 | 7.70 | 5.61 | 28.07 |
| Asturias | 0.33 | 0.15 | 1 | 27.6 | 18.958 | 1,111,002 | 19338.9 | 1 | 0.94 | 0.75 | 7.59 | 4.01 | 2056 | 4.17 | 6.47 | 13.97 |
| Ávila | 0.05 | -0.35 | 0 | 33.2 | 21.441 | 175,868 | 17055.9 | 0 | 0.96 | 0.84 | 4.88 | 7.95 | 2115 | 9.25 | 13.14 | 200.68 |
| Badajoz | 0.65 | 0.36 | 1 | 39.7 | 15.861 | 683,126 | 14994.5 | 0 | 0.97 | 0.75 | 14.17 | 9.99 | 2705 | 18.04 | 8.34 | 24.87 |
| Balears, Illes | 1.07 | 0.74 | 1 | 32.6 | 13.683 | 905,868 | 24144.4 | 0 | 0.93 | 0.77 | 14.11 | 8.47 | 3030 | 3.27 | 5.20 | 9.57 |
| Burgos | -0.06 | -0.44 | 0 | 34 | 18.436 | 369,209 | 24312.1 | 0 | 0.94 | 0.82 | 5.69 | 8.62 | 2724 | 6.68 | 9.82 | 161.99 |
| Cáceres | 0.23 | -0.11 | 0 | 38.4 | 18.03 | 421,494 | 15206.9 | 0 | 0.94 | 0.77 | 8.46 | 12.96 | 2287 | 25.55 | 12.70 | 60.06 |
| Cantabria | 0.79 | 0.51 | 1 | 27.5 | 16.755 | 565,552 | 20348.6 | 1 | 0.95 | 0.77 | 5.94 | 4.12 | 2725 | 5.32 | 7.06 | 20.65 |
| Castellón | 0.76 | 0.39 | 1 | 32.6 | 15.876 | 520,310 | 22645.6 | 0 | 0.94 | 0.84 | 6.57 | 11.96 | 2533 | 9.33 | 7.05 | 17.55 |
| Ciudad Real | -0.28 | -0.54 | 0 | 38.8 | 16.92 | 506,388 | 17864.8 | 0 | 0.95 | 0.79 | 5.59 | 5.48 | 2335 | 6.55 | 10.11 | 17.88 |
| Córdoba | 1.82 | 1.49 | 1 | 41.2 | 15.206 | 791,212 | 15432.8 | 0 | 0.95 | 0.80 | 10.11 | 4.54 | 2912 | 8.03 | 4.91 | 12.96 |
| Coruña, A | 0.83 | 0.48 | 1 | 26.2 | 17.762 | 1,142,966 | 19621.6 | 0 | 0.92 | 0.80 | 4.31 | 3.68 | 2753 | 3.43 | 11.83 | 3.71 |
| Cuenca | 0.13 | -0.48 | 0 | 35.4 | 20.814 | 213,238 | 18048.6 | 0 | 0.94 | 0.79 | 5.22 | 13.19 | 1648 | 18.12 | 16.72 | 123.24 |
| Girona | 1.18 | 0.53 | 1 | 33.6 | 15.543 | 621,840 | 25561.2 | 1 | 0.95 | 0.83 | 17.66 | 21.22 | 2444 | 6.12 | 7.10 | 25.53 |
| Granada | 0.29 | -0.13 | 0 | 38.4 | 14.337 | 865,718 | 15517.7 | 0 | 0.94 | 0.85 | 10.48 | 9.58 | 2555 | 6.70 | 5.65 | 30.81 |
| Guadalajara | 0.06 | -0.30 | 0 | 38.2 | 16.418 | 196,456 | 18052.8 | 0 | 0.98 | 0.91 | 10.22 | 10.26 | 2479 | 9.10 | 12.04 | 170.58 |
| Huelva | 1.64 | 1.32 | 1 | 37.6 | 13.661 | 486,111 | 16738.6 | 0 | 0.93 | 0.81 | 7.48 | 4.46 | 2431 | 11.06 | 5.49 | 17.84 |
| Huesca | 0.03 | -0.46 | 0 | 36.1 | 20.315 | 220,583 | 23820.8 | 1 | 0.95 | 0.79 | 12.01 | 13.01 | 2377 | 10.58 | 12.58 | 146.88 |
| Jaén | 0.61 | 0.10 | 1 | 37.6 | 15.437 | 666,812 | 15112.7 | 0 | 0.95 | 0.78 | 15.27 | 5.09 | 2594 | 10.52 | 6.21 | 23.49 |
| León | 0.18 | -0.06 | 0 | 32.5 | 20.534 | 517,151 | 18426.1 | 0 | 0.94 | 0.78 | 3.38 | 5.22 | 2081 | 5.65 | 7.77 | 150.09 |
| Lleida | 0.57 | 0.31 | 1 | 36.8 | 17.854 | 395,467 | 26056.4 | 1 | 0.94 | 0.76 | 10.95 | 10.24 | 2515 | 9.49 | 7.72 | 62.73 |
| Lugo | 1.56 | 1.37 | 1 | 31 | 23.711 | 376,658 | 18616.1 | 0 | 0.92 | 0.75 | 7.80 | 5.04 | 2562 | 6.73 | 20.97 | 3.73 |
| Navarra | -0.07 | -0.51 | 0 | 35.6 | 16.092 | 585,513 | 26947.3 | 1 | 0.99 | 0.80 | 9.01 | 13.06 | 2485 | 5.28 | 8.92 | 38.54 |
| Ourense | 0.66 | 0.20 | 1 | 36.6 | 23.985 | 357,842 | 17316.8 | 0 | 0.94 | 0.77 | 7.14 | 7.58 | 2056 | 5.21 | 30.43 | 3.35 |
| Palencia | -0.07 | -0.35 | 0 | | 19.525 | 182,273 | 22070.3 | 0 | 0.96 | 0.80 | 2.39 | 1.73 | 2306 | 7.13 | 11.77 | 182.48 |
| Pontevedra | 0.01 | -0.09 | 0 | 32 | 15.834 | 943,735 | 18442.1 | 0 | 0.94 | 0.81 | 4.35 | 4.69 | 2326 | 3.87 | 9.16 | 2.21 |
| Rioja, La | 0.00 | -0.41 | 0 | 36.4 | 17.111 | 294,031 | 23628.7 | 1 | 0.94 | 0.79 | 3.39 | 8.95 | 2726 | 5.87 | 6.35 | 55.90 |
| Salamanca | 0.07 | -0.55 | 0 | 34.8 | 20.291 | 361,774 | 17754.8 | 0 | 0.94 | 0.88 | 2.07 | 13.66 | 2298 | 5.49 | 10.38 | 119.10 |
| Segovia | 0.10 | -0.19 | 0 | 34.2 | 19.505 | 156,989 | 20500.2 | 0 | 0.94 | 0.79 | 6.90 | 13.07 | 2409 | 7.78 | 10.06 | 179.74 |
| Soria | -0.09 | -0.37 | 0 | 34 | 22.545 | 96,500 | 21705.8 | 0 | 0.95 | 0.84 | 5.11 | 21.96 | 2130 | 11.14 | 15.10 | 371.13 |
| Tarragona | 0.49 | 0.11 | 1 | 35.3 | 15.613 | 667,588 | 26198.5 | 1 | 0.88 | 0.85 | 13.42 | 17.12 | 2155 | 8.06 | 6.94 | 21.70 |
| Teruel | 0.06 | -0.36 | 0 | 35.5 | 22.168 | 146,201 | 22603.5 | 0 | 0.95 | 0.75 | 13.11 | 17.69 | 1940 | 15.87 | 19.79 | 187.33 |
| Toledo | 0.61 | 0.20 | 1 | 38.9 | 16.281 | 589,771 | 16656.8 | 0 | 0.96 | 0.87 | 4.93 | 6.44 | 2885 | 6.66 | 7.00 | 28.60 |
| Valladolid | -0.80 | -0.98 | 0 | 35.9 | 15.635 | 521,675 | 22,126 | 1 | 0.97 | 0.87 | 2.48 | 6.84 | 2889 | 3.63 | 7.80 | 43.57 |
| Zamora | 0.05 | -0.44 | 0 | 35.6 | 23.908 | 208,554 | 16869.2 | 0 | 0.95 | 0.82 | 4.18 | 10.36 | 1639 | 9.52 | 11.57 | 216.10 |

<0.05) from among all of the candidate variables in the study in the non-urban zones. This suggests that, similar to other studies, demographic factors (Miron et al., 2008), socioeconomic factors (Chung et al., 2018) and infrastructure factors related to public health are related to MMT (Cao et al., 2021), at least in non-urban regions.

On the other hand, in terms of the final model for urban zones, the results were related to economic resources and temperatures situated in the 95th percentile. This suggests that, the greater the number of privileged provinces, and with higher temperatures, the greater the increase in MMT.

People with lower levels of resources may have more difficulties in acclimatizing their housing via air conditioning systems, or they may not even have access to such systems, or have incomes that are insufficient to meet energy consumption needs (Bakhsh et al., 2018). It is also possible that their homes could be more likely to overheat in the absence of air conditioning, due to lower quality construction and insulation (WHO Regional Office for Europe, 2021). The level of deprivation determines vulnerability to heat, which is a further risk in experiencing increases in mortality specifically associated with extreme temperatures (López-Bueno et al., 2021). Along these lines, a prospective study linked changes in vulnerability to heat to different European socioeconomic scenarios. According to the authors, socioeconomic conditions will determine the level of adaptation of each population (Rohat et al., 2019).

The association found for the 95th percentile coincides with what has been reported in the literature. Prior studies have found that greater exposure tends to be associated with lower risks and vulnerability associated with heat waves (Curriero et al., 2002). This is to say that the risks are greater in the cooler zones, which are therefore less habituated to the heat.

Considering that MMT is a measure of adaptation to heat (Folkerts et al., 2020; Follos et al., 2020, 2021; López-Bueno et al., 2021a,b,c; Yin et al., 2019), it should be considered in relation to the increase in environmental temperatures. If the rate of evolution of MMT is greater than the increase in the average maximum daily temperatures in the same time period, the population would be adapting, presumably via a mix of acclimatization, self-adaptation of the population and adaptation dictated by institutions. The zones with a tendency of increasing MMT have more possibilities to adapt. This supposes that the consequences of the impact of heat on health related to extreme heat tend to be lesser (Follos et al., 2021). The group of different elements and factors that explain the process of adaptation to heat of the population in areas with higher temperatures is known as the “culture of heat” (Bobb et al., 2014).

In the final model of non-urban zones, the quality of housing was related to the level of health resources in terms of health personnel. A greater number of rehabilitated dwellings and a greater proportion of health professionals in primary care resulted in better adaptation to heat.

Health professionals in this study were made up of family doctors and nurses in the area of primary care. In the health care context, primary care nurses contribute to reducing mortality among certain groups of patients (Laurant et al., 2018) as well as decreasing social inequalities in health (Poghosyan and Carthon, 2017). Thus, family doctors allow for reductions in the use of hospital services (Fung et al., 2015) and facilitate better health for their patients (Bataineh et al., 2019). In consequence, an increase in the ratio of primary care health professionals is a protective factor.

There are different studies that highlight the importance of housing as a protective element against mortality associated with extreme heat (López-Bueno et al., 2019; López-Bueno et al., 2021; Taylor et al., 2015). Housing characteristics, such as the age of the dwelling (López-Bueno et al., 2019), the lack of insulation, the number of windows and the number of hours with sunshine, among others, determine the capacity for mitigation (Zuo et al., 2015). In Spain more than half of dwellings were built prior to the 1980's, and as such are older and poorly insulated

(Cuerdo-Vilches & Navas-Martín, 2021). The design of efficient dwellings and rehabilitation of housing could reduce the effects of heat (Ramakrishnan et al., 2017). Thus, there are numerous recommendations that aim towards improvements in buildings, from changes in roofing to cool roofs (Mahadevia et al., 2020) and painting walls with light colors for solar protection to improvements in the insulation of external walls (Porritt et al., 2011, 2012).

This study presents various limitations. On one hand, as an ecological study, its conclusions are valid only at the population level (Neuman, 2014). Nor have data on air pollution been considered, given the lack of high quality, provincial level data.

Another limitation relates to the concept of rurality used. There is currently no clear consensus or definition. There are different classification criteria based on territory, informed by demographic dimensions, services or infrastructure (López-Bueno et al., 2021).

The data were aggregated and analyzed at an intermediate level (provinces). However, provinces are not homogeneous population groups in terms of socioeconomic status, types of population or lifestyles. Therefore, it is important to consider that the results obtained here could mask the behavior of different subpopulations that live within a province. Further study of specific populations is therefore needed to help designate relatively homogenous zones based on environment, climate and meteorology, as well as in terms of the social, economic, cultural, demographic and urban structure of the population. Population studies based on non-administrative sample units described here would facilitate obtaining results that show greater consistency.

These results provide an interesting, exploratory approximation, however, the development of concrete measures and specific recommendations in public health requires the development of studies at a level smaller than the province level. This would provide more detailed results based on more homogenous population units.

5. Conclusions

This study suggests that urban provinces in Spain have better adapted to heat than non-urban provinces. Furthermore, in urban areas the increase in MMT was conditioned by the population living in more privileged areas with greater economic resources and by temperatures in the 95th percentile. In rural zones, it was related to a greater number of health personnel and rehabilitated housing. Therefore, socioeconomic and climatological factors, together with public health policies, conditioned adaptation; the greater the increase in MMT, the greater the possibilities of adaptation, given that increasing temperatures is generalized in Spain (Aemet, 2020).

Therefore, it is necessary to carry out studies that identify those factors that are the most relevant and influential in the population's adaptation with respect to MMT (Folkerts et al., 2020), considering the heterogeneity of each zone. This would permit an approach to heat prevention plans at the local level, as suggested by various authors (Bakhsh et al., 2018; Follos et al., 2021; Oudin Åström et al., 2020; Rodrigues et al., 2021; Sánchez Martínez et al., 2011).

Disclaimer

The researchers declare that they have no conflict of interest that would compromise the independence of this research work. The views expressed by the authors do not necessarily coincide with those of the institutions they are affiliated with.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the grants for projects ENPY107/18; ENPY 376/18, ENPY 470/19 and ENPY 340/20 from the Carlos III Institute of Health, and is supported by the Biodiversity Foundation of the Ministry for Ecological Transition and Demographic Challenge. Likewise, to the UNED for the financing for the publication in Open Access.

References

- Aemet, 2020. Informe sobre el estado del clima de España 2020. http://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/Informes_estado_clima/Resumen_ejecutivo_informe_clima_2020.pdf.
- Amlbar Francés, P., Calle, Casado, M J, Pastor Saavedra, A., Ramos Calzado, P., Rodríguez Camino, E., 2017. Guías de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR5. https://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/Guia_escenarios_AR5/Guia_escenarios_AR5.pdf.
- Azhar, G., Saha, S., Ganguly, P., Mavalankar, D., Madrigano, J., 2017. Heat wave vulnerability mapping for India. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 14 (4), 357. <https://doi.org/10.3390/IJERPH14040357>.
- Bakhsh, K., Rauf, S., Zulfiqar, F., 2018. Adaptation strategies for minimizing heat wave induced morbidity and its determinants. *Sustain. Cities Soc.* 41, 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.05.021>.
- Barreca, A., Clay, K., Deschenes, O., Greenstone, M., Shapiro, J.S., 2016. Adapting to climate change: the remarkable decline in the US temperature-mortality relationship over the Twentieth Century. *J. Polit. Econ.* 124 (1), 105–159. <https://doi.org/10.1086/684582>.
- Bataineh, H., Devlin, R.A., Barham, V., 2019. Social capital and having a regular family doctor: evidence from longitudinal data. *Soc. Sci. Med.* 220, 421–429. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2018.12.003>.
- Bobb, J.F., Peng, R.D., Bell, M.L., Dominici, F., 2014. Heat-related mortality and adaptation to heat in the United States. *Environ. Health Perspect.* 122 (8), 811–816. <https://doi.org/10.1289/ehp.1307392>.
- Cao, R., Wang, Y., Huang, J., He, J., Ponsawansong, P., Jin, J., Xu, Z., Yang, T., Pan, X., Prapamontol, T., Li, G., 2021. The mortality effect of apparent temperature: a multicity study in Asia. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 18 (9). <https://doi.org/10.3390/ijerph18094675>.
- Chen, K., Zhou, L., Chen, X., Ma, Z., Liu, Y., Huang, L., Bi, J., Kinney, P.L., 2016. Urbanization level and vulnerability to heat-related mortality in Jiangsu Province, China. *Environ. Health Perspect.* 124 (12), 1863–1869. <https://doi.org/10.1289/EHP204>.
- Chen, K., Horton, R.M., Bader, D.A., Lesk, C., Jiang, L., Jones, B., Zhou, L., Chen, X., Bi, J., Kinney, P.L., 2017. Impact of climate change on heat-related mortality in Jiangsu Province, China. *Environ. Pollut.* 224, 317–325. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.02.011>.
- Choi, H.M., Chen, C., Son, J.-Y., Bell, M.L., 2021. Temperature-mortality relationship in North Carolina, USA: regional and urban-rural differences. *Sci. Total Environ.* 787 (147672) <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147672>.
- Chung, Y., Yang, D., Gasparrini, A., Vicedo-Cabrera, A.M., Ng, C.F.S., Kim, Y., Honda, Y., Hashizume, M., 2018. Changing susceptibility to non-optimum temperatures in Japan, 1972–2012: the role of climate, demographic, and socioeconomic factors. *Environ. Health Perspect.* 126 (5) <https://doi.org/10.1289/EHP2546>, 057002–1–057002–057008.
- Cramer, W., Guiot, J., Marini, K., 2020. Resumen de MedECC 2020 para los responsables de la formulación de políticas. En: Cambio climático y ambiental en la cuenca mediterránea: situación actual y riesgos para el futuro. Primer informe de evaluación del Mediterráneo.
- Cuerdo-Vilches, M.T., Navas-Martín, M.A., 2021. January 15). Filomena, covid-19 y pobreza energética: un triplete imbatible para los más vulnerables. The Conversation. <https://theconversation.com/filomena-covid-19-y-pobreza-energetica-un-triplete-imbatible-para-los-mas-vulnerables-153272>.
- Curriero, F.C., Heiner, K.S., Samet, J.M., Zeger, S.L., Strug, L., Patz, J.A., 2002. Temperature and mortality in 11 cities of the eastern United States. *Am. J. Epidemiol.* 155 (1), 80–87. <https://doi.org/10.1093/AJE/155.1.80>.
- de' Donato, F., Scortichini, M., De Sario, M., de Martino, A., Michelozzi, P., 2018. Temporal variation in the effect of heat and the role of the Italian heat prevention plan. *Publ. Health* 161, 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2018.03.030>.
- Díaz, J., Carmona, R., Mirón, I.J., Ortiz, C., Linares, C., 2015. 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.* 143, 186–191. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2015.10.018>.
- de' Donato, F.K., Leone, M., Scortichini, M., De Sario, M., Katsouyanni, K., Lanki, T., Basagana, X., Ballester, F., Åström, C., Paldy, A., Pascal, M., Gasparrini, A., Menne, B., Michelozzi, P., 2015. Changes in the effect of heat on mortality in the last 20 years in nine European cities. Results from the PHASE project. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 12 (12), 15567–15583. <https://doi.org/10.3390/ijerph121215006>.
- Duque, I., Domínguez-Berjón, M.F., Cebrecos, A., Prieto-Salceda, M.D., Esnaola, S., Calvo Sánchez, M., Mari-Dell'Olmo, M., 2021. Deprivation index by enumeration district in Spain, 2011. *Gac. Sanit.* 35 (2), 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2019.10.008>.
- España, Gobierno de, 2020. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021–2030.
- España, Gobierno de, April 12, 2021. (n.d.-a). CONPREL: Consulta Presupuestos y Liquidaciones de EELL. <https://serviciostelematicosexthacienda.gob.es/SGFAL/CONPREL>.
- España, Gobierno de, April 9, 2021. (n.d.-b). Consulta Interactiva del SNS. Retrieved from. <https://pestatistico.inteligenciadigestion.mscbs.es/publicoSNS/S/>.
- España, Gobierno de, April 8, 2021. (n.d.-c). Publicaciones de construcción de edificios (licencias municipales de obra). Retrieved from. <https://www.mitma.gob.es/informacion-para-el-ciudadano/informacion-estadistica/construccion/construccion-de-edificios/publicaciones-de-construccion-de-edificios-licencias-municipales-de-obra>.
- European Commission, 2020. Adaptation to Health Effects of Climate Change in Europe. In Group of Chief Scientific Advisors. Publications Office of The European Union.
- Eurostat, 2015. Regional Yearbook 2015, 117,CNTOVL&o=1,1,0.7&ch=11,27,113,114¢er=40.52285,0.40096,4&lclis=117&i=117,43.10,-108.35&. <https://ec.europa.eu/eurostat/statistical-atlas/gis/viewer/?config=RYB-2015.json&mids=2>.
- Eurostat, 2021a. February 8). NUTS 3 Region. <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>.
- Eurostat, 2021b. April 27). Population on 1 January. <https://ec.europa.eu/eurostat/da/tabrowser/view/TPS00001/bookmark/table?lang=en&bookmarkId=c0aa2b16-607c-4429-abb3-a4c8d74f7d1e>.
- Folkerts, M.A., Bröde, P., Botzen, W.J.W., Martini, M.L., Gerrett, N., Harmsen, C.N., Daanen, H.A.M., 2020. Long term adaptation to heat stress: shifts in the minimum mortality temperature in The Netherlands. *Front. Physiol.* 11 <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00225>.
- Follos, F., Linares, C., Vellón, J.M., López-Bueno, J.A., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Díaz, J., 2020. The evolution of minimum mortality temperatures as an indicator of heat adaptation: the cases of Madrid and Seville (Spain). *Sci. Total Environ.* 747 (141259) <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141259>.
- Follos, F., Linares, C., López-Bueno, J.A., Navas, M.A., Culqui, D., Vellón, J.M., Luna, M. Y., Sánchez-Martínez, G., Díaz, J., 2021. Evolution of the minimum mortality temperature (1983–2018): is Spain adapting to heat? *Sci. Total Environ.* 784 (147233) <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147233>.
- Fung, C.S.C., Wong, C.K.H., Fong, D.Y.T., Lee, A., Lam, C.L.K., 2015. Having a family doctor was associated with lower utilization of hospital-based health services. *BMC Health Serv. Res.* 15 (1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s12913-015-0705-7>.
- Gabriel, K.M.A., Endlicher, W.R., 2011. Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany. *Environ. Pollut.* 159 (8–9), 2044–2050. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.016>.
- Gasparrini, A., Guo, Y., Hashizume, M., Kinney, P.L., Petkova, E.P., Lavigne, E., Zanobetti, A., Schwartz, J.D., Tobias, A., Leone, M., Tong, S., Honda, Y., Kim, H., Armstrong, B.G., 2015. Temporal variation in heat-mortality associations: a multicountry study. *Environ. Health Perspect.* 123 (11), 1200–1207. <https://doi.org/10.1289/ehp.1409070>.
- Gutiérrez, K.S., LePrevoist, C.E., 2016. Climate justice in rural southeastern United States: a review of climate change impacts and effects on human health. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 13 (2). <https://doi.org/10.3390/IJERPH13020189>.
- Hu, K., Guo, Y., Hochrainer-Stigler, S., Liu, W., See, L., Yang, X., Zhong, J., Fei, F., Chen, F., Zhang, Y., Zhao, Q., Chen, G., Chen, Q., Zhang, Y., Ye, T., Ma, L., Li, S., Qi, J., 2019a. Evidence for urban-rural disparity in temperature-mortality relationships in Zhejiang Province, China. *Environ. Health Perspectives* 127 (3). <https://doi.org/10.1289/EHP3556>.
- Hu, K., Guo, Y., Yang, X., Zhong, J., Fei, F., Chen, F., Zhao, Q., Zhang, Y., Chen, G., Chen, Q., Ye, T., Li, S., Qi, J., 2019b. Temperature variability and mortality in rural and urban areas in Zhejiang province, China: an application of a spatiotemporal index. *Sci. Total Environ.* 647, 1044–1051. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.095>.
- Instituto Nacional de Estadística, April 9, 2021. (n.d.-a). *Censos de Población y Viviendas 2011. Edificios*. Retrieved Resultados Municipales. from. <https://www.ine.es/dynt3/inebase/index.htm?type=pcaxis&path=/t20/e244/edificios/p04/&file=pcaxis&L=0>.
- Instituto Nacional de Estadística, April 9, 2021. (n.d.-b). Contabilidad regional de España. Retrieved from. https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736167628&menu=resultados&idp=1254735576581.
- Instituto Nacional de Estadística, April 8, 2021. (n.d.-c). Principales series de población desde 1971. Retrieved from. <https://www.ine.es/dynt3/inebase/index.htm?padre=1949&capsel=1949>.
- Kazmierczak, A., Bittner, S., Breil, M., Coninx, I., Johnson, K., Kleinenkuhnen, L., Kochova, T., Lauwaet, D., Nielsen, H.O., Smith, H., Zandersen, M., 2020. Urban adaptation in Europe: how cities and towns respond to climate change. European Environment Agency (EEA). <https://doi.org/10.2800/324620>.
- Laurant, M., van der Biezen, M., Wijers, N., Watananirun, K., Kontopantelis, E., van Vught, A.J.A.H., 2018. Nurses as substitutes for doctors in primary care. In: Cochrane Database of Systematic Reviews, vol. 2018. John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD001271.pub3>. Issue 7.
- Linares, C., Carmona-Alferez, R., Ortiz Burgos, C., Diaz-Jimenez, J., 2017. Temperaturas extremas y salud. Cómo nos afectan las olas de calor y de frío. <https://repisalud.isciii.es/handle/20.500.12105/9074>.
- López-Bueno, J.A., Díaz, J., Linares, C., 2019. Differences in the impact of heat waves according to urban and peri-urban factors in Madrid. *Int. J. Biometeorol.* 63 (3), 371–380. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01670-9>.
- López-Bueno, J.A., Navas-Martín, M.A., Díaz, J., Mirón, I.J., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Culqui, D., Linares, C., 2021a. The effect of cold waves on mortality in urban and rural areas of Madrid. *Environ. Sci. Europe*, 33(1) 72. <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00512-z>.

- López-Bueno, J.A., Navas-Martín, M.A., Linares, C., Mirón, I.J., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Culqui, D., Díaz, J., 2021b. Analysis of the impact of heat waves on daily mortality in urban and rural areas in Madrid. *Environ. Res.* 195 (110892) <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110892>.
- López-Bueno, J.A., Díaz, J., Follos, F., Vellón, J.M., Navas, M.A., Culqui, D., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Linares, C., 2021c. 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.* 33 (1), 101. <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00542-7>.
- Mahadevia, D., Pathak, M., Bhatia, N., Patel, S., 2020. Climate change, heat waves and thermal comfort—reflections on housing policy in India. *Environ. Urbanization ASIA* 11 (1), 29–50. <https://doi.org/10.1177/0975425320906249>.
- Martínez, Sánchez, Gerardo Linares, C., Ayuso, A., Kendrovski, V., Boeckmann, M., Diaz, J., 2019. Heat-health action plans in Europe: challenges ahead and how to tackle them. *Environ. Res.* Vol. 176, 108548. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108548>. Academic Press Inc.
- Miron, I.J., Criado-Alvarez, J.J., Diaz, J., Linares, C., Mayoral, S., Montero, J.C., 2008. Time trends in minimum mortality temperatures in Castile-La Mancha (Central Spain): 1975–2003. *Int. J. Biometeorol.* 52 (4), 291–299. <https://doi.org/10.1007/s00484-007-0123-6>.
- Muller, A., 2002. Education, income inequality, and mortality: a multiple regression analysis. *Br. Med. J.* 324 (7328), 23–25. <https://doi.org/10.1136/bmj.324.7328.23>.
- Nayak, S.G., Shrestha, S., Kinney, P.L., Ross, Z., Sheridan, S.C., Pantea, C.L., Hsu, W.H., Muscatello, N., Hwang, S.A., 2018. Development of a heat vulnerability index for New York State. *Publ. Health* 161, 127–137. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2017.09.006>.
- Neuman, W.L., 2014. *Social research methods: qualitative and quantitative approaches*. In: Pearson Education, seventh ed. (Pearson Education).
- Oudin Åström, D., Åström, C., Forsberg, B., Vicedo-Cabrera, A.M., Gasparrini, A., Oudin, A., Sundquist, K., 2020. Heat wave-related mortality in Sweden: a case-crossover study investigating effect modification by neighbourhood deprivation. *Scand. J. Publ. Health* 48 (4), 428–435. <https://doi.org/10.1177/1403494818801615>.
- Poghosyan, L., Carthon, J.M.B., 2017. The untapped potential of the nurse practitioner workforce in reducing health disparities. *Pol. Polit. Nurs. Pract.* 18 (2), 84–94. <https://doi.org/10.1177/1527154417721189>.
- Porritt, S., Shao, L., Cropper, P., Goodier, C., 2011. Adapting dwellings for heat waves. *Sustain. Cities Soc.* 1 (2), 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2011.02.004>.
- Porritt, S., Cropper, P.C., Shao, L., Goodier, C.I., 2012. Ranking of interventions to reduce dwelling overheating during heat waves. *Energy Build.* 55, 16–27. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.01.043>.
- Ramakrishnan, S., Wang, X., Sanjayam, J., Wilson, J., 2017. Thermal performance of buildings integrated with phase change materials to reduce heat stress risks during extreme heatwave events. *Appl. Energy* 194, 410–421. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.04.084>.
- Reid, C.E., O'Neill, M.S., Gronlund, C.J., Brines, S.J., Brown, D.G., Diez-Roux, A.v., Schwartz, J., 2009. Mapping community determinants of heat vulnerability. *Environ. Health Perspect.* 117 (11), 1730–1736. <https://doi.org/10.1289/EHP.0900683>.
- Rodrigues, M., Santana, P., Rocha, A., 2021. Modelling of temperature-attributable mortality among the elderly in Lisbon metropolitan area, Portugal: a contribution to local strategy for effective prevention plans. *J. Urban Health.* <https://doi.org/10.1007/s11524-021-00536-z>.
- Rodríguez, Moreno, Manuel, J., Cruz Treviño, A., Martínez Lope, C., 2005. *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático: proyecto ECCE-informe final*. Centro de Publicaciones, Ministerio de Medio Ambiente.
- Rohat, G., Flacke, J., Dosio, A., Pedde, S., Dao, H., van Maarseveen, M., 2019. Influence of changes in socioeconomic and climatic conditions on future heat-related health challenges in Europe. *Global Planet. Change* 172, 45–59. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.09.013>.
- Sánchez Martínez, G., Imai, C., Masumo, K., 2011. Local heat stroke prevention plans in Japan: characteristics and elements for public health adaptation to climate change. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 8 (12), 4563–4581. <https://doi.org/10.3390/ijerph8124563>.
- Sanz, M.J., Galán, E., 2021. *Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España*.
- Son, J.Y., Bell, M.L., Lee, J.T., 2014. The impact of heat, cold, and heat waves on hospital admissions in eight cities in Korea. *Int. J. Biometeorol.* 58 (9), 1893–1903. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0791-y>.
- Taylor, J., Wilkinson, P., Davies, M., Armstrong, B., Chalabi, Z., Mavrogianni, A., Symonds, P., Oikonomou, E., Bohnenstengel, S.I., 2015. Mapping the effects of urban heat island, housing, and age on excess heat-related mortality in London. *Urban Clim.* 14, 517–528. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.08.001>.
- Wang, C., Zhang, Z., Zhou, M., Wang, P., Yin, P., Ye, W., Zhang, L., 2018. Different response of human mortality to extreme temperatures (MoET) between rural and urban areas: a multi-scale study across China. *Health Place* 50, 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2018.01.011>.
- Who Regional Office for Europe, 2021. *Heat and health in the WHO European Region: updated evidence for effective prevention*. In: Sanchez Martínez, G., De'Donato, F., Kendrovski, V. (Eds.), WHO Regional Office for Europe.
- Wolf, T., McGregor, G., 2013. The development of a heat wave vulnerability index for London, United Kingdom. *Weather and Climate Extremes* 1, 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2013.07.004>.
- Yang, J., Zhou, M., Ren, Z., Li, M., Wang, B., Liu, D.L., Ou, C.Q., Yin, P., Sun, J., Tong, S., Wang, H., Zhang, C., Wang, J., Guo, Y., Liu, Q., 2021. Projecting heat-related excess mortality under climate change scenarios in China. *Nat. Commun.* 12 (1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21305-1>.
- Yin, Q., Wang, J., Ren, Z., Li, J., Guo, Y., 2019. Mapping the increased minimum mortality temperatures in the context of global climate change. *Nat. Commun.* 10 (1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12663-y>.
- Zuo, J., Pullen, S., Palmer, J., Bennetts, H., Chileshe, N., Ma, T., 2015. Impacts of heat waves and corresponding measures: a review. In: *Journal of Cleaner Production*, vol. 92. Elsevier Ltd, pp. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.078>.



Gender differences in adaptation to heat in Spain (1983–2018)

M.Á. Navas-Martín^{a,b,*}, J.A. López-Bueno^a, M.S. Ascaso-Sánchez^a, R. Sarmiento-Suárez^c,
F. Follos^d, J.M. Vellón^d, I.J. Mirón^e, M.Y. Luna^f, G. Sánchez-Martínez^g, D. Culqui^a, C. Linares^a,
J. Díaz^a

^a National School of Public Health, Carlos III Institute of Health, Madrid, Spain

^b Doctorate Program in Biomedical Sciences and Public Health, National University of Distance Education, Madrid, Spain

^c Medicine School, University of Applied and Environmental Sciences. Bogotá, Colombia

^d Tdot Soluciones Sostenibles, SL. Ferrol. A Coruña, Spain

^e Regional Health Authority of Castile La Mancha, Toledo, Spain

^f State Meteorological Agency, Madrid, Spain

^g The UNEP DTU Partnership, Copenhagen, Denmark

ARTICLE INFO

Keywords:

Adaptation
Vulnerability
Minimum mortality temperature
Gender
Sex

ABSTRACT

In Spain the average temperature has increased by 1.7 °C since pre-industrial times. There has been an increase in heat waves both in terms of frequency and intensity, with a clear impact in terms of population health. The effect of heat waves on daily mortality presents important territorial differences. Gender also affects these impacts, as a determinant that conditions social inequalities in health. There is evidence that women may be more susceptible to extreme heat than men, although there are relatively few studies that analyze differences in the vulnerability and adaptation to heat by sex. This could be related to physiological causes. On the other hand, one of the indicators used to measure vulnerability to heat in a population and its adaptation is the minimum mortality temperature (MMT) and its temporal evolution.

The aim of this study was to analyze the values of MMT in men and women and its temporal evolution during the 1983–2018 period in Spain's provinces. An ecological, longitudinal retrospective study was carried out of time series data, based on maximum daily temperature and daily mortality data corresponding to the study period. Using cubic and quadratic fits between daily mortality rates and the temperature, the minimum values of these functions were determined, which allowed for determining MMT values. Furthermore, we used an improved methodology that provided for the estimation of missing MMT values when polynomial fits were inexistent. This analysis was carried out for each year. Later, based on the annual values of MMT, a linear fit was carried out to determine the rate of evolution of MMT for men and for women at the province level.

Average MMT for all of Spain's provinces was 29.4 °C in the case of men and 28.7 °C in the case of women. The MMT for men was greater than that of women in 86 percent of the total provinces analyzed, which indicates greater vulnerability among women. In terms of the rate of variation in MMT during the period analyzed, that of men was 0.39 °C/decade, compared to 0.53 °C/decade for women, indicating greater adaptation to heat among women, compared to men. The differences found between men and women were statistically significant. At the province level, the results show great heterogeneity.

Studies carried out at the local level are needed to provide knowledge about those factors that can explain these differences at the province level, and to allow for incorporating a gender perspective in the implementation of measures for adaptation to high temperatures.

1. Introduction

In Spain the average temperature has increased by 1.7 °C since preindustrial times. This increase has manifest with greater intensity

during the past decade (Gobierno de España, 2020). Maximum temperatures have increased between 1983 and 2018 by 0.34 °C/decade, affecting the health of the most vulnerable population groups (Follos et al., 2021; Gobierno de España, 2020; Watts et al., 2018).

* Corresponding author. National University of Distance Education, C/ Bravo Murillo, 38, 28015, Madrid, Spain.

E-mail address: mnavas89@alumno.uned.es (M.Á. Navas-Martín).

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113986>

Received 18 February 2022; Received in revised form 3 June 2022; Accepted 22 July 2022

Available online 2 September 2022

0013-9351/© 2022 The Authors. Published by Elsevier Inc. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Some of the direct effects of climate change on population health are related to mortality due to extreme temperatures, especially due to heat waves (Watts et al., 2018). It is known that heat waves do not affect the whole population in the same way. Different studies conclude that there is great geographic variability in the effects of heat on daily mortality (Follos et al., 2021; Navas-Martín et al., 2022; Zhao et al., 2021). These geographic differences in population vulnerability to heat could be related to social, environmental and behavioral factors as well as differences in adaptation to high temperatures (Barrett, 2015; Gasparrini et al., 2016).

Other factors that may have an influence include public health prevention plans to address heat in different zones, availability of air conditioning, better health services, insulation of housing and the age of buildings (López-Bueno et al., 2020) as well as climate-related factors such as humidity, which can modify the impact of heat on daily mortality. The percentage of population over age 65, income level, employment rates, and the rural/urban nature of each province may also have an influence (Huertas et al., 2021; López-Bueno et al., 2020).

There is evidence that women may be more vulnerable to extreme heat than men (Follos et al., 2020). Some research has suggested an effect 20 times greater in women (Yu et al., 2010), primarily in people of advanced ages (Folkerts et al., 2021) and due to circulatory system issues (Díaz et al., 2015). This different vulnerability between men and women could be due to physiological and biological causes or gender differences. Among biological and physiological causes, it is notable that women dissipate less heat when sweating (Kaciuba-Uscilko and Grucza, 2001), have thicker subcutaneous fat which makes elimination of heat more difficult, and react to high temperatures with increases in the production of vasoactive substances and in blood viscosity, which can change blood flow and blood pressure (Charkoudian et al., 2017; Sorensen et al., 2018). Female hormones influence the regulation of body temperature (Barry et al., 2020; Charkoudian and Stachenfeld, 2014). Both women's menstrual cycles as well as menopause are biological processes that alter women's body temperature (Charkoudian et al., 2017; Charkoudian and Stachenfeld, 2016; Kaciuba-Uscilko and Grucza, 2001; Monteleone et al., 2018). When work is carried out in conditions of extreme heat, it affects men and women differently. While men experience higher rates of heat stroke, women can experience higher rates of other diseases (Kazman et al., 2015).

Some of the differences between men and women due to gender issues could be related to the different roles that men and women play (Kabeer, 2008), differences in access to resources and inequalities in power and in participation in decision making (Gobierno de España, 2020).

One way to quantify adaptation to heat is by evaluating the minimum mortality temperature (MMT) (Folkerts et al., 2020; Yin et al., 2019). MMT can be understood as the temperature at which mortality is minimized on the association curve of temperature/estimated mortality (Lee et al., 2017). This MMT coincides with the vertex of the traditional V form in the temperature/mortality relationship (Folkerts et al., 2020; Follos et al., 2020).

Studies carried out in Spain show that, on average, MMT has increased at a rate of 0.57 °C/decade, while maximum summer temperatures have increased at a lower rate, as previously described, indicating an adaptation to heat that is even greater than the increase in the maximum temperature experienced (Follos et al., 2021). It should be noted that there is important geographic heterogeneity (Navas-Martín et al., 2022), probably due to sociodemographic and economic factors (López-Bueno et al., 2021) and ecological and cultural conditions in different locations (Susan Solomon et al., 2021).

Although studies have been carried out on the differences in MMT in different geographic zones (Åström et al., 2016; Chung et al., 2018; Folkerts et al., 2020; Follos et al., 2021), and despite significant evidence on the impact of the different physiological response mechanisms of men and women to high temperatures (Barry et al., 2020; Charkoudian and Stachenfeld, 2014), there are practically no studies that provide results

about different behavior and the evolution of MMT in men and women (Follos et al., 2020). Information is needed that provides knowledge about the behavior of MMT at the geographic level.

The aim of this study was to analyze the values of MMT in men and women and their evolution over the 1983–2018 time period in all of the provinces of Spain.

2. Material and methods

2.1. Study variables

An ecological time series study was carried out for the years 1983–2018 in 50 provinces that represent the administrative divisions of Spain. The variables of province code, year and sex were used (corresponding to men and women) for data classification and grouping (Table 1).

2.2. Calculation of MMT

Daily mortality data coded by all causes of death (ICD X: A00-R99) and according to sex occurred in each province during the period considered were used. The corresponding rates per 100,000 inhabitants were calculated from the daily mortality and population data. These data were provided by the National Statistics Institute (INE) through the agreement signed for the transfer of microdata.

With respect to the meteorological data corresponding to maximum daily temperatures, the data recorded for the maximum daily temperature corresponding to the reference observatories in each province were used. These data were supplied by the State Meteorological Agency (AEMET).

Null mortality and temperature records were eliminated, as well as annual series with no more than 10% of valid records.

For each province and for each year, an X_Y diagram was drawn up in which the X axis corresponds to the maximum daily temperature distributed in intervals of 1 °C and the Y axis corresponds to the daily mortality rate occurring in that temperature interval. A quadratic or cubic fit was then performed. The minimum of these functions corresponds to the so-called MMT for that year.

This procedure was carried out for each province and for males and females. In each case, both curves were fit to establish the most appropriate, statistically significant regression (p-value <0.05) (Follos et al., 2020).

2.2.1. Estimation of MMT missing values

In the absence of a significant quadratic or cubic fit, the MMT was estimated as follows. The days on which the daily mortality rate was below the 5th percentile of the series of daily mortality rates occurring that year were determined. The daily maximum temperatures were determined for the days to which these rates corresponded. The average of these temperatures gives the MMT value for that year.

The quality of the MMT values estimated using this approximation were grouped into three levels. First, they were calculated only for those provinces whose TMAX registries were at least 90 percent complete. Second, the concordance of new MMT values with those calculated numerically was analyzed. Finally, those that were not biologically plausible were discarded.

After validating the results, the methodology of imputing lost values provided for an increase of 30 percent in valid observations.

2.3. Determination of the level of adaptation based on the slope of the line representing the temporal evolution of MMT

From the annual values of MMT for each province and for men and women, a linear adjustment was made. The slope of this line represents the annual change in MMT. Multiplying this slope by ten gives the MMT

Table 1

Average of the annual MMT values at the province level for men and women (°C) corresponding to MMT; Average maximum daily temperature corresponding to MEAN (°C); Rate of variation in maximum daily temperature corresponding to TMAX rise (°C/decade); the rate of variation in MMT for men and women corresponding to MMT Variation and Adaptation level, for men and women (°C/decade). Period of analysis: 1983–2018. *p < 0.05.

| Province | | MMT | | Temperature | | MMT Variation (°C/decade) | | Adaptation level (MMT Variation-TMAX rise) | |
|----------|----------------|-------|-------|-------------|-----------------------|---------------------------|---------|--|--------|
| Cod | Name | Men | Women | Mean (°C) | TMAX rise (°C/decade) | Men | Women | Men | Women |
| 1 | Araba | 29.57 | 27.57 | 17.4 | 0.459 | -0.643 | -1.203 | -1.102 | -1.662 |
| 2 | Albacete | 29.40 | 30.29 | 21 | 0.509 | -0.848 | 0.189 | -1.357 | -0.320 |
| 3 | Alicante | 29.73 | 29.49 | 23.5 | 0.19 | 0.267 | 0.824* | 0.077 | 0.634 |
| 4 | Almería | 31.28 | 30.62 | 23.4 | -0.07 | 0.607 | 1.242 | 0.677 | 1.312 |
| 5 | Ávila | 26.20 | 26.65 | 17.2 | 0.394 | 0.554 | 1.551 | 0.160 | 1.157 |
| 6 | Badajoz | 32.65 | 31.56 | 24 | 0.286 | 0.561 | 1.007* | 0.275 | 0.721 |
| 7 | Balears, Illes | 28.90 | 27.75 | 22 | 0.33 | 0.716 | 0.679 | 0.386 | 0.349 |
| 8 | Barcelona | 27.03 | 26.00 | 20.6 | 0.414 | 0.569* | 0.311 | 0.155 | -0.103 |
| 9 | Burgos | 27.75 | 28.61 | 16.8 | 0.372 | 0.812 | -0.128 | 0.440 | -0.500 |
| 10 | Cáceres | 31.98 | 30.11 | 22.1 | 0.336 | 0.855 | 1.341* | 0.519 | 1.005 |
| 11 | Cádiz | 28.03 | 27.98 | 21.7 | 0.287 | 0.292 | 0.490 | 0.005 | 0.203 |
| 12 | Castellón | 29.52 | 28.85 | 22.5 | 0.37 | 0.415 | 1.198 | 0.045 | 0.828 |
| 13 | Ciudad Real | 31.28 | 28.70 | 22 | 0.267 | 0.404 | 0.995 | 0.137 | 0.728 |
| 14 | Córdoba | 34.71 | 33.36 | 25.4 | 0.332 | 1.532* | 2.293* | 1.200 | 1.961 |
| 15 | Coruña, A | 24.32 | 23.46 | 18 | 0.351 | 0.333 | 0.784* | -0.018 | 0.433 |
| 16 | Cuenca | 29.36 | 27.19 | 19.6 | 0.617 | 0.292 | 0.583 | -0.325 | -0.034 |
| 17 | Girona | 29.11 | 28.63 | 21.1 | 0.656 | 0.813 | 1.229* | 0.157 | 0.573 |
| 18 | Granada | 31.20 | 30.99 | 22.6 | 0.416 | 0.117 | 0.825 | -0.299 | 0.409 |
| 19 | Guadalajara | 31.15 | 29.29 | 20.5 | 0.367 | -1.054 | 0.939 | -1.421 | 0.572 |
| 20 | Gipuzkoa | 27.18 | 26.59 | 16.6 | 0.244 | 0.860 | 0.197 | 0.616 | -0.047 |
| 21 | Huelva | 31.22 | 30.26 | 24.1 | 0.322 | 2.729* | 1.584* | 2.407 | 1.262 |
| 22 | Huesca | 30.56 | 29.52 | 19.8 | 0.489 | 0.581 | -1.178 | 0.092 | -1.667 |
| 23 | Jaén | 31.86 | 30.07 | 21.8 | 0.516 | 0.644 | 1.373* | 0.128 | 0.857 |
| 24 | León | 27.51 | 27.80 | 16.9 | 0.243 | -0.662 | 0.345 | -0.905 | 0.102 |
| 25 | Lleida | 31.63 | 29.85 | 21.7 | 0.264 | 1.152 | 0.404 | 0.888 | 0.140 |
| 26 | Rioja, La | 28.48 | 27.86 | 19.8 | 0.416 | 0.321 | 1.766 | -0.095 | 1.350 |
| 27 | Lugo | 28.17 | 27.63 | 17.8 | 0.189 | 0.069 | 1.986 | -0.120 | 1.797 |
| 28 | Madrid | 30.60 | 28.31 | 20.2 | 0.394 | 0.639 | 0.564* | 0.245 | 0.170 |
| 29 | Málaga | 30.34 | 31.11 | 23.5 | 0.32 | 1.079* | -0.187 | 0.759 | -0.507 |
| 30 | Murcia | 29.32 | 29.24 | 22.4 | 0.172 | 1.177* | 0.267 | 1.005 | 0.095 |
| 31 | Navarra | 29.73 | 28.09 | 18.6 | 0.442 | -0.559 | -0.161 | -1.001 | -0.603 |
| 32 | Ourense | 30.66 | 30.51 | 21.6 | 0.457 | -0.431 | 0.944 | -0.888 | 0.487 |
| 33 | Asturias | 25.01 | 24.48 | 17.5 | 0.184 | 0.586 | 0.359 | 0.402 | 0.175 |
| 34 | Palencia | 28.92 | 25.32 | 16.8 | 0.286 | -0.661 | 0.078 | -0.947 | -0.208 |
| 35 | Palmas, Las | 30.41 | 30.32 | 24.3 | 0.128 | -0.299 | 0.199 | -0.427 | 0.071 |
| 36 | Pontevedra | 25.54 | 25.50 | 19.1 | 0.099 | -0.301 | 0.731 | -0.400 | 0.632 |
| 37 | Salamanca | 27.83 | 27.14 | 19 | 0.613 | 0.487 | 0.857 | -0.126 | 0.244 |
| 38 | S.C. Tenerife | 31.30 | 30.48 | 24.7 | 0.225 | -0.454 | -1.258* | -0.679 | -1.483 |
| 39 | Cantabria | 27.47 | 26.31 | 18.7 | 0.277 | -0.607 | 0.337 | -0.884 | 0.060 |
| 40 | Segovia | 29.18 | 26.97 | 18.1 | 0.298 | -0.123 | -0.354 | -0.421 | -0.652 |
| 41 | Sevilla | 34.84 | 33.03 | 25.6 | 0.31 | 0.956* | 0.901* | 0.646 | 0.591 |
| 42 | Soria | 22.97 | 23.74 | 17.3 | 0.28 | 1.428 | 0.632 | 1.148 | 0.352 |
| 43 | Tarragona | 29.05 | 27.36 | 21.3 | 0.38 | 0.502 | 0.145 | 0.122 | -0.235 |
| 44 | Teruel | 30.11 | 29.45 | 19.9 | 0.42 | 0.637 | 0.883 | 0.217 | 0.463 |
| 45 | Toledo | 31.24 | 30.64 | 22.4 | 0.412 | 0.020 | 1.586* | -0.392 | 1.174 |
| 46 | Valencia | 30.05 | 29.48 | 22.9 | 0.313 | 0.139 | 0.769* | -0.174 | 0.456 |
| 47 | Valladolid | 27.82 | 26.44 | 17.8 | 0.186 | -0.100 | 0.840 | -0.286 | 0.654 |
| 48 | Bizkaia | 28.64 | 29.36 | 19.7 | 0.062 | -0.382 | -0.651 | -0.444 | -0.713 |
| 49 | Zamora | 28.66 | 28.00 | 19.2 | 0.491 | -0.363 | -0.191 | -0.854 | -0.682 |
| 50 | Zaragoza | 31.53 | 29.50 | 21.3 | 0.472 | 0.275 | 0.215 | -0.197 | -0.257 |
| | (ES) | 29.45 | 28.67 | 20.63 | 0.34 | 0.32 | 0.58 | -0.02 | 0.25 |

variation in °C/decade. Using the same procedure for TMAX its decadal variation was calculated. The result was expressed in degrees/decade (TMAX rise). The ADAPTATION level was obtained from the difference between MMT variation and TMAX rise. Adaptation exists when MMT variation is higher than TMAX rise, i.e. positive values of ADAPTATION level.

Annual MMT values were calculated for males and females in each province (Table 1) according to the methodology described above.

Statistical differences (p-value <0.05) were then determined using a

Table 2

Bivariate model for MMT with sex and year variables.

| MMT | Coef. | Std. Err. | z | P > z | [95% conf. interval] |
|------|--------|-----------|-------|-------|----------------------|
| Year | 0.047 | 0.007 | 6.35 | 0.000 | 0.033 0.062 |
| Sex | -0.784 | 0.155 | -5.06 | 0.000 | -1.088 -0.481 |

bivariate model (Table 2).

In this model, the dependent variable was MMT and the independent variables were year and sex.

In addition, multilevel linear regression mode was used (Table 3) with adaptation level as the dependent variable and sex as the independent variable.

R software version 4.0.2 was used for the treatment and analysis of the data, as was STATA BE-Basic Edition version 17, IBM SPSS Statistics version 27 and Excel (with the Power Query editor) from the Microsoft

Table 3

Multi-level linear regression model of adaptation by province based on sex.

| ADAPTATION Level | Coef. | Std. Err. | z | P > z | [95% conf. interval] |
|------------------|-------|-----------|------|-------|----------------------|
| Sex | 0.047 | 0.007 | 6.35 | 0.000 | 0.0328 0.062 |

Office Professional Plus 2019 package.

3. Results

Due to gaps in the daily mortality or Tmax series of the 3600 possible MMT values, a total of 2662 MM were calculated, of which 1650 (62.0%) correspond to a cubic adjustment; 860 (32.3%) to estimation and 152 (5.7%) to quadratic adjustment.

Table 1 shows the values of MMT at the province level for men and women during the 1983–2018 period (°C), the average maximum daily temperature (TMAX) (°C), the rate of variation in maximum daily temperature (°C/decade), and the rate of variation in MMT for men and women. The final column shows the level of adaptation to high temperatures for men and women (°C/decade), considering that positive values indicate that MMT has increased more rapidly than has TMAX, that is to say, there has been adaptation. Negative values signify that MMT has increased less than has TMAX, thus, there has not been adaptation. The final row of the table shows the average values for all of Spain. The average maximum daily temperature in Spain was 20.6 °C, with an increasing trend across time of 0.34 (°C/decade).

At the province level the values of MMT were higher for men in 86 percent of the provinces, with an average value for the whole country of 29.4 °C in the case of men and 28.7 °C in the case of women. However, the rates of variation in TMM were greater in the case of women than of men, given that in 62 percent of Spanish provinces this rate was higher in women. In order to know whether these differences were statistically significant, bivariate models were developed for MMT, including the variables year and sex, as shown in Table 2. The results indicate that the annual variation in MMT was significant as were the differences found by sex.

Fig. 1 shows the MMT regression lines for the whole of Spain. It can be seen that the rate of growth in MMT for men was 0.39 °C/decade, while for women it was 0.53 °C/decade. According to Table 1, TMAX has grown during the studied period at a rate of 0.34 °C/decade. Thus, it can be said that both sexes have adapted to high temperatures, and that this adaptation has been much clearer in the case of women.

At the province level, Table 1 shows that 68 percent of the provinces evidence adaptation among women, compared to 52 percent among men. In 40 percent of provinces there has been adaptation among both men and women. The values of the adaptation variable by sex show

differences that are statistically significant, as can be seen in the results of the multi-level linear regression that appear in Table 3.

Fig. 2 shows various examples of the regression lines and the rate of growth of MMT throughout the 1983–2018 time period in the provinces of Córdoba, Barcelona and A Coruña.

Figs. 3 and 4 show a dispersion diagram in which the x-axis shows the rate of variation in maximum daily temperature, and the y-axis shows the rate of increase in MMT. The shaded zone shows those values for which the rate of variation in MMT surpasses the increase observed in TMAX; such values signify adaptation. Fig. 3 represents men, and Fig. 4 represents women. It can be observed in both figures that there is great geographic heterogeneity at the province level, and a greater number of provinces evidence adaptation of women, compared to men.

4. Discussion

This research was a study of the evolution of MMT between 1983 and 2018 in terms of the level of adaptation by gender in each of Spain's provinces. Prior studies have analyzed the adaptation of MMT in different provinces of Spain, without focusing on gender differences or other socioeconomic variables (Follos et al., 2021). In the present study, a greater number of MMT values were included than was the case in Follos et al. for the general population. This inclusion of more MMT values is the reason why the rate of change in MMT obtained here -both in the case of men (0.39 °C/decade) as well as women (0.53 °C/decade)- are slightly different from those obtained for the general population, which established this value at 0.64 °C/decade.

On the other hand, there are few studies around the world that evaluate the vulnerability to climate change based on gender (McCall et al., 2018). The results of our study show relevant information related to the adaptation of the Spanish population to the increase in temperature that has occurred over the past 30 years. The following findings are worth highlighting:

4.1. Women are more vulnerable to heat

As shown previously, the average MMT in the whole of Spain was greater among men than among women (men: 29.4 °C; women: 28.7 °C), and this occurred in 86 percent of the provinces.

This finding is consistent with various prior studies carried out at the

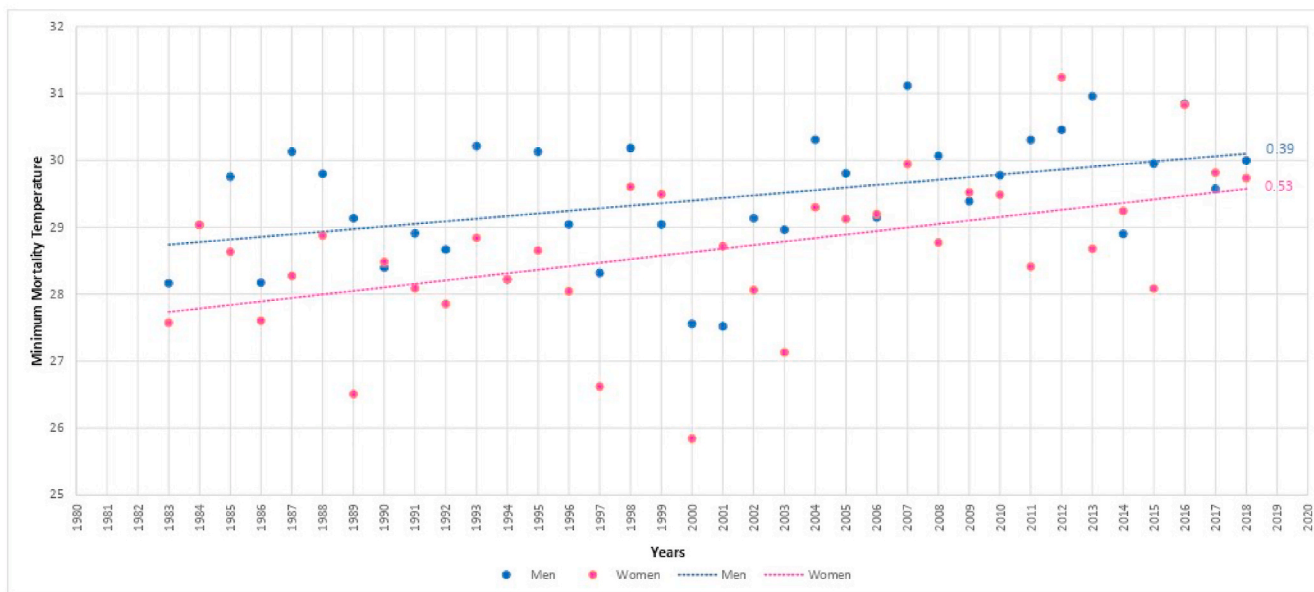


Fig. 1. Evolution of the minimum mortality temperature (MMT) by year in men and women in Spain (1983–2018). See the values of the slopes of the regression lines to the right (°C/decade).

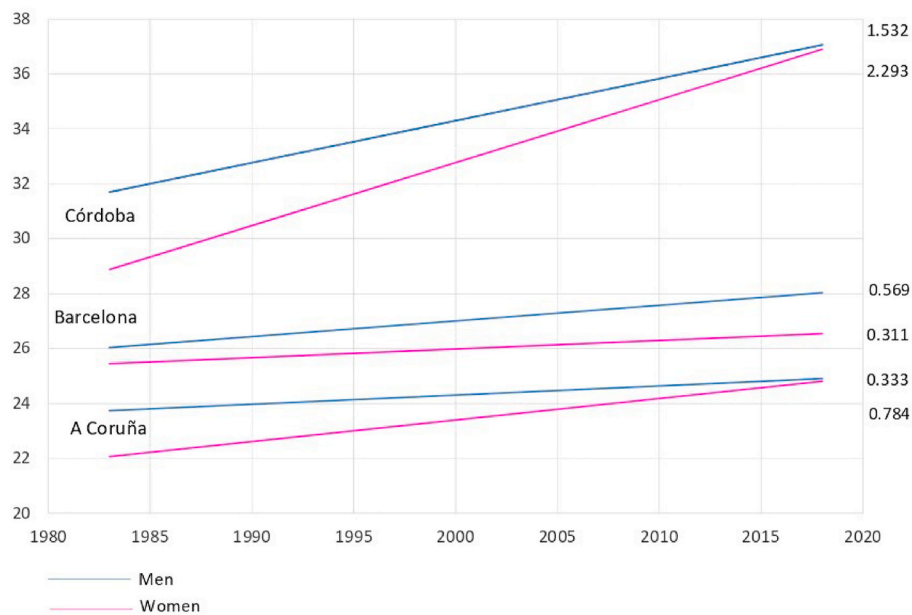


Fig. 2. Linear fits for the minimum mortality temperatures (MMT) in the provinces of A Coruña, Barcelona and Córdoba for men and women (1983–2018). See the values of the slopes of the regression lines by sex for the different provinces (°C/decade) to the right.

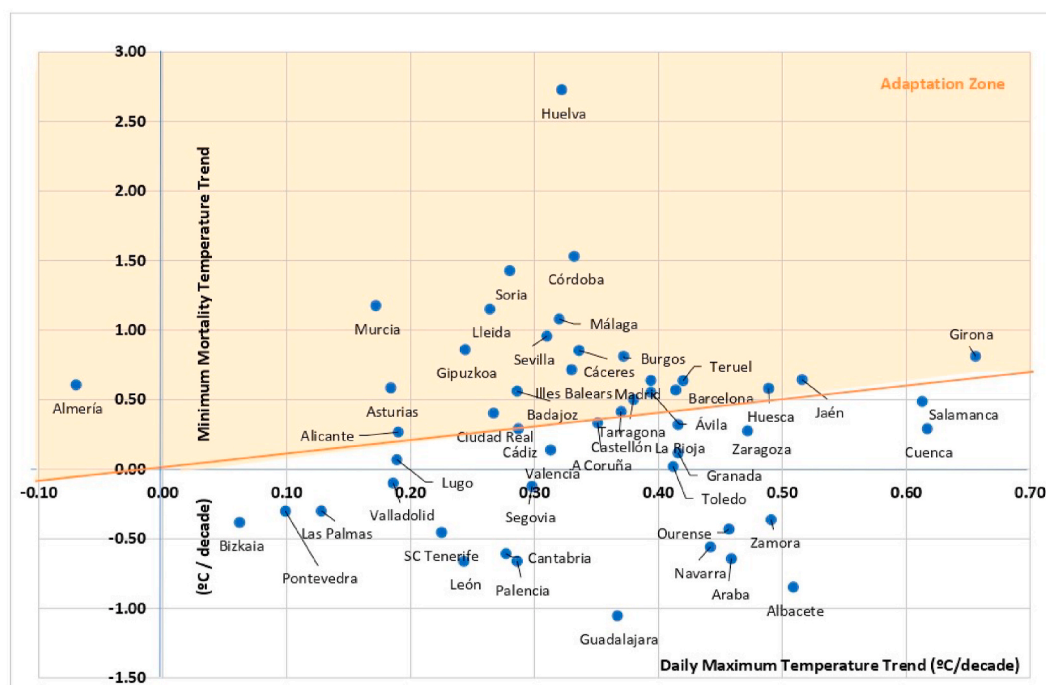


Fig. 3. Dispersion diagram of the minimum mortality temperature (MMT) with respect to the variations in maximum daily temperatures for men in Spain (1983–2018). The shaded area represents those provinces in which there was adaptation to heat.

regional and national levels.

For example, several studies conducted in Spain, found greater MMT values in men when analyzing cardiovascular mortality (Achebak et al., 2019) and mortality from circulatory and respiratory causes (Achebak et al., 2018). On the other hand, some studies carried out in Madrid have shown that women present greater risk, both in terms of death as well as hospital admissions due to natural causes, during a heat wave (Díaz et al., 2018; García-Herrera et al., 2005). Also, in Barcelona that women showed a higher relative risk of mortality compared to men with summer temperature extremes (Ingole et al., 2020). Two other regional studies carried out in Cantabria and Galicia (Northern Spain) found

greater sensitivity to high temperatures among women (DeCastro et al., 2011; Gómez Acebo et al., 2011). Research studies carried out outside Spain have also reported greater heat-related mortality among women than among men (Folkerts et al., 2021; Kuchcik, 2021; Son et al., 2011; Stafoggia et al., 2006).

There are various physiological mechanisms that could explain this greater vulnerability to high temperatures among women, including lower heat evaporation through sweat, greater presence of adipose tissue (body fat) and decreased peripheral blood perfusion (Gagnon and Kenny, 2012; Kaciuba-Uscilko and Grucza, 2001). This vulnerability increases after menopause, as the lack of estrogen production makes it

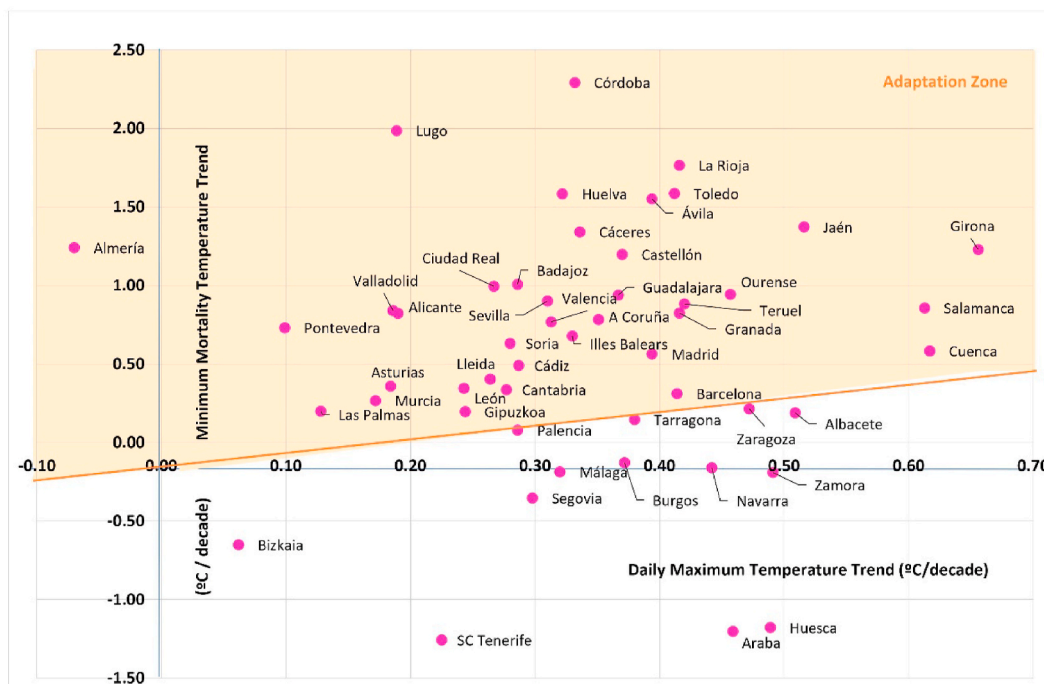


Fig. 4. Dispersion diagram of the minimum mortality temperature (MMT) with respect to variations in the maximum daily temperatures of women in Spain (1983–2018). The shaded area represents provinces in which there was adaptation to heat.

more difficult to adapt to sudden temperature increases (Charkoudian et al., 2017), given that estrogen could favor the activation of thermoregulatory centers which contribute to the dissipation of heat (Székely and Garai, 2018). Furthermore, for women to reach the same physiological adaptation to heat as men, they require greater intensity, frequency and duration of the exposure to heat (Wickham et al., 2020).

It is also important to note that other research has not found significant differences that identify which sex would be more vulnerable. This is the case in a systematic review and meta-analysis that evaluated women's vulnerability to heat and whose authors observed a lower risk among men. However, these results were not significant (Benmarhnia et al., 2015).

4.2. There is greater adaptation to heat among women than among men

According to our results, during the study period MMT among women grew at a more rapid rate than among men (0.53 °C/decade vs 0.39 °C/decade). This result was similar in 66 percent of the provinces.

Although there are few studies related to the adaptation to heat by sex, there are a few studies that coincide with the results found here.

Similar results have been found previously in Spain in the provinces of Seville and Madrid (Follos et al., 2020). On the other hand, a study carried out in Kuwait suggested that men are more vulnerable during a heat wave and have worse adaptation to variations in temperature than women (Alahmad et al., 2020). Other studies indicate that local factors may have a role in explaining the different adaptation levels of the sexes (Bell et al., 2008).

4.3. Other factors are important, including great geographic variability

The results shown in Figs. 3 and 4 and Table 1 indicate that there is great geographic heterogeneity in the adaptation of the sexes, as has been shown at the level of the whole population (Follos et al., 2021). In general terms, a good part of the provinces located in the South and East of the Mediterranean Peninsula (Mediterranean zone) show greater adaptation than those located in the country center, the North and in the Canary Islands. In other words, those provinces that tend to experience

higher temperatures show greater adaptation. This pattern could be related to findings from human physiology studies that focus on acclimatization to heat (Tyler et al., 2016). It could also be explained by technological adaptation, mainly with the prevalence of air conditioning equipment being higher in the southern regions of Spain, which have more air conditioning than in the north (Instituto Nacional de Estadística, 2008). The provinces with a lower level of adaptation in Spain include Guadalajara, Araba and Albacete for men and Tenerife, Araba and Huesca for women.

Future studies should investigate the sociodemographic issues that could imply greater vulnerability to climate change and global warming, such as migration, urban-rural disruption, socioeconomic level (Gouveia et al., 2003) and age (Benmarhnia et al., 2015; van Steen et al., 2019). This could bring clarity to some of the findings observed in this study, where it was shown that in some provinces there is a greater level of adaptation among men, despite that in general terms women seem to adapt much better to increasing global temperatures.

Studies should be carried out that include a gender perspective that promotes gender equality and women's empowerment, given that the United Nations promotes both the Sustainable Development Objectives as well as climate action (United Nations, 2020; Desai & Zhang, 2021). In terms of global warming, human beings utilize different adaptation mechanisms to address temperature increases. These mechanisms can be grouped based on sex and gender. Sex is related to the biological and physiological characteristics of human beings, while gender relates to social constructive characteristics, such as roles, behaviors, attributes and activities that are considered to be related to being a man or a woman. This is an important difference, because sex is determined by biological differences, while gender is determined by society (Charkoudian and Stachenfeld, 2014). However, differences in mortality and disease may be due in part to biological sex differences. In contrast, explanations for biological differences are limited in explaining different health outcomes by sex. These could be explained by the social phenomenon of gender (Manandhar et al., 2018). Therefore, this allows us to establish two large groups of adaptation mechanisms: those that are determined by sex (physiological adaptation) and those that are determined by gender (behavioral, cultural and constructive characteristics).

Physiological adaptation or acclimatization refers to mechanisms related to the human body, for example, the production of sweat (Mcgregor et al., 2019). Behavioral adaptation is determined by the way we behave, for example, the way we dress (Nakagawa and Nakaya, 2021; Weitensfelder and Moshhammer, 2020) or the way we eat. There is also cultural adaptation, for example, the way we organize work or rest. Finally, constructive adaptation refers to aspects such as housing as a means of protection (Weitensfelder and Moshhammer, 2020). Environmental and behavioral adaptation in buildings, e.g., workplaces, differ depending on the weight, age and gender of the occupants (Indraganti et al., 2015). In general, women prefer higher ambient temperature at home and in the workplace than men. This difference in thermal acceptability and temperature comfort could be explained as indoor climate regulations are based on standard values in men without taking women into account in the design of theoretical models (Kingma and van Marken Lichtenbelt, 2015).

The results found here related to adaptation to heat related to gender may be modulated primarily by social mechanisms that generate differences between men and women, such as socioeconomic differences, access to production resources (Chanana-Nag and Aggarwal, 2020), and access to technology and information. For example, in Pakistan poor women do not have access to television and radio and depend on men to be informed about public service announcements (Susan Solomon et al., 2021).

4.4. Study limitations

This study presents some limitations. First, the sources of primary data used were not completely representative for all years and provinces, as there was scarce information available for certain provinces. Although it was not possible to analyze the total number of registrations due to methodological reasons mentioned previously, the use of a combined methodology in calculating MMT resulted in an increase in valid data and greater representativeness of the results compared to prior studies (Follos et al., 2021). The absence of 26 percent of the registrations had an influence, in some cases, in the evolution of MMT, and specifically that it did not show significant differences in a greater number of provinces.

Second, given that this was an ecological time series study, the results cannot be extrapolated at the individual level (Morgenstern, 1995). In addition, given that we used data at the province level, we were unable to know the potential impact of MMT related to the urban-rural gradient, which varies based on demographic, social and cultural differences in each province. Therefore, local level characteristics should be explored with greater depth to identify the most appropriate adaptation strategies (Park et al., 2019), taking into account the great heterogeneity found in prior studies on the impact of heat on populations at the national level (Follos et al., 2021; Navas-Martín et al., 2022) and even at the municipal level (López-Bueno et al., 2020).

Finally, there is no universal methodology for relating mortality attributable to temperature. Many studies have addressed the climate sensitivity of health and its potential impact in different parts of the world and with different methods (Baccini et al., 2011; Błażejczyk et al., 2017; Hayhoe et al., 2010; Honda et al., 2014; Laschewski and Jendritzky, 2002; Rocklöv et al., 2011). Although the results found with respect to women's vulnerability to heat are consistent with other studies carried out in Spain and other countries. Despite these methodological differences in relating mortality to temperature, the use of the MMT as an indicator to determine the level of adaptation of a given population is recommended.

5. Conclusions

MMT values were greater in men compared to women, which indicates greater vulnerability of women to high temperatures. Even though MMT increased for both sexes over time, the rate of increase in

MMT was greater in women than in men. Therefore, we can say that women in Spanish provinces have better adapted to heat than men. The differences found were statistically significant.

On the other hand, the estimation of missing values for MMT permitted greater representativeness in the analysis, using more precise indicators.

Finally, due to the differences found in levels of adaptation in the different provinces, local level studies are needed in order to know which factors are keys to reducing social inequalities in health, and which therefore can allow for application of adaptation measures that include a gender perspective.

Credit author statement

Miguel Ángel Navas-Martín. Original idea of the study. Study design; Providing and Analysis of data; Elaboration and revision of the manuscript. José Antonio López-Bueno. Providing and Analysis of data; Elaboration and revision of the manuscript. María Soledad Ascaso-Sánchez. Providing and Analysis of data; Elaboration and revision of the manuscript. Rodrigo Sarmiento-Suárez. Providing and Analysis of data; Elaboration and revision of the manuscript. Fernando Follos. Providing and Analysis of data; Elaboration and revision of the manuscript. José Manuel Vellón. Providing and Analysis of data; Elaboration and revision of the manuscript. Isidro Mirón. Providing and Analysis of data; Elaboration and revision of the manuscript. Yolanda Luna. Providing and Analysis of data; Elaboration and revision of the manuscript. Gerardo Sánchez-Martínez. Study design; Elaboration and revision of the manuscript. Dante Culqui. Providing and Analysis of data; Elaboration and revision of the manuscript. Cristina Linares. Original idea of the study. Study design; Elaboration and revision of the manuscript. Julio Díaz. Original idea of the study. Study design; Elaboration and revision of the manuscript.

Disclaimer

The researchers declare that they have no conflict of interest that would compromise the independence of this research work. The views expressed by the authors do not necessarily coincide with those of the institutions they are affiliated with.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgements

The authors wish to thank the funding provided by the ENPY 304/20, ENPY 376/18 and ENPY 107/18 projects of the Carlos III Health Institute III (ISCIII). They also wish to thank the UNED for funding this publication in open access.

References

- Achebak, H., Devolder, D., Ballester, J., 2018. Heat-related mortality trends under recent climate warming in Spain: a 36-year observational study. *PLoS Med.* 15 (7), e1002617 <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PMED.1002617>.
- Achebak, H., Devolder, D., Ballester, J., 2019. Trends in temperature-related age-specific and sex-specific mortality from cardiovascular diseases in Spain: a national time-series analysis. *Lancet Planet. Health* 3 (7), e297–e306. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(19\)30090-7/ATTACHMENT/9FF2613A-A391-4E95-B6C6-0B1E83DC2A39/MMC1.PDF](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30090-7/ATTACHMENT/9FF2613A-A391-4E95-B6C6-0B1E83DC2A39/MMC1.PDF).
- Alahmad, B., Shakarchi, A.F., Khraishah, H., Alseaidan, M., Gasana, J., Al-Hemoud, A., Koutrakis, P., Fox, M.A., 2020. Extreme temperatures and mortality in Kuwait: who is vulnerable? *Sci. Total Environ.* 732, 139289 <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.139289>.

- Åström, D.O., Tornevi, A., Ebi, K.L., Rocklöv, J., Forsberg, B., 2016. Evolution of minimum mortality temperature in Stockholm, Sweden, 1901–2009. *Environ. Health Perspect.* 124 (6), 740–744. <https://doi.org/10.1289/ehp.1509692>.
- Baccini, M., Kosatsky, T., Analitis, A., Anderson, H.R., D'Ovidio, M., Menne, B., Michelozzi, P., Biggeri, A., Kirchmayer, U., de' Donato, F., D'Ovidio, M., D'Ippoliti, D., Marino, C., McGregor, G., Accetta, G., Katsouyanni, K., Kassomenos, P., Sunyer, J., Atkinson, R., et al., 2011. Impact of heat on mortality in 15 European cities: attributable deaths under different weather scenarios. *J. Epidemiol. Commun. Health* 65 (1), 64–70. <https://doi.org/10.1136/jech.2008.085639>.
- Barrett, J.R., 2015. Increased minimum mortality temperature in France: data suggest humans are adapting to climate change. *Environ. Health Perspect.* 123 (7), A184. <https://doi.org/10.1289/ehp.123-A184>.
- Barry, H., Chaseling, G.K., Moreault, S., Sauvageau, C., Behzadi, P., Gravel, H., Ravaneli, N., Gagnon, D., 2020. Improved neural control of body temperature following heat acclimation in humans. *J. Physiol.* 598 (6), 1223–1234. <https://doi.org/10.1113/jp279266>.
- Bell, M.L., O'Neill, M.S., Ranjit, N., Borja-Aburto, V.H., Cifuentes, L.A., Gouveia, N.C., 2008. Vulnerability to heat-related mortality in Latin America: a case-crossover study in São Paulo, Brazil, Santiago, Chile and Mexico City, Mexico. *Int. J. Epidemiol.* 37 (4), 796. <https://doi.org/10.1093/ije/dyn094>.
- Benmarhnia, T., Deguen, S., Kaufman, J.S., Smargiassi, A., 2015. Review article: vulnerability to heat-related mortality: a systematic review, meta-analysis, and meta-regression analysis. *Epidemiology* 26 (6), 781–793. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000375>.
- Błażejczyk, A., Błażejczyk, K., Baranowski, J., Kuchcik, M., 2017. Heat stress mortality and desired adaptation responses of healthcare system in Poland. *Int. J. Biometeorol.* 62 (3), 307–318. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1423-0>, 2017 62:3.
- Chanana-Nag, N., Aggarwal, P.K., 2020. Woman in agriculture, and climate risks: hotspots for development. *Climatic Change* 158 (1), 13–27. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2233-Z/FIGURES/4>.
- Charkoudian, N., Stachenfeld, N.S., 2014. Reproductive hormone influences on thermoregulation in women. *Compr. Physiol.* 4 (2), 793–804. <https://doi.org/10.1002/cphy.c130029>.
- Charkoudian, N., Stachenfeld, N., 2016. Sex hormone effects on autonomic mechanisms of thermoregulation in humans. *Auton. Neurosci.* 196, 75–80. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2015.11.004>.
- Charkoudian, N., Hart, E.C.J., Barnes, J.N., Joyner, M.J., 2017. Autonomic control of body temperature and blood pressure: influences of female sex hormones. *Clin. Auton. Res.* 27 (3), 149–155. <https://doi.org/10.1007/s10286-017-0420-Z>, 2017 27:3.
- Chung, Y., Yang, D., Gasparrini, A., Vicedo-Cabrera, A.M., Ng, C.F.S., Kim, Y., Honda, Y., Hashizume, M., 2018. Changing susceptibility to non-optimum temperatures in Japan, 1972–2012: the role of climate, demographic, and socioeconomic factors. *Environ. Health Perspect.* 126 (5) <https://doi.org/10.1289/EHP2546>, 057002-1-057002-057008.
- de España, Gobierno, 2020. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021–2030. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/pnacc-2021-2030_tcm30-512163.pdf.
- DeCastro, M., Gomez-Gesteira, M., Ramos, A.M., Álvarez, I., DeCastro, P., 2011. Effects of heat waves on human mortality, Galicia, Spain. *Clim. Res.* 48 (2–3), 333–341. <https://doi.org/10.3354/CR00988>.
- Díaz, J., Carmona, R., Mirón, I.J., Ortiz, C., León, I., Linares, C., 2015. Geographical variation in relative risks associated with heat: update of Spain's Heat Wave Prevention Plan. *Environ. Int.* 85, 273–283. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.09.022>.
- Díaz, J., López, I.A., Carmona, R., Mirón, I.J., Luna, M.Y., Linares, C., 2018. Short-term effect of heat waves on hospital admissions in Madrid: analysis by gender and comparison with previous findings. *Environ. Pollut.* 243, 1648–1656. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.09.098>.
- Folkerts, M.A., Bröde, P., Botzen, W.J.W., Martinius, M.L., Gerretts, N., Harmsen, C.N., Daanen, H.A.M., 2020. Long term adaptation to heat stress: shifts in the minimum mortality temperature in The Netherlands. *Front. Physiol.* 11, 225. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00225>.
- Folkerts, M.A., Bröde, P., Botzen, W.J.W., Martinius, M.L., Gerretts, N., Harmsen, C.N., Daanen, H.A.M., 2021. Sex differences in temperature-related all-cause mortality in The Netherlands. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 1–10. <https://doi.org/10.1007/s00420-021-01721-Y/FIGURES/2>.
- Follos, F., Linares, C., Vellón, J.M., López-Bueno, J.A., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Díaz, J., 2020. The evolution of minimum mortality temperatures as an indicator of heat adaptation: the cases of Madrid and Seville (Spain). *Sci. Total Environ.* 747, 141259. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141259>.
- Follos, F., Linares, C., López-Bueno, J.A., Navas, M.A., Culqui, D., Vellón, J.M., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Díaz, J., 2021. Evolution of the minimum mortality temperature (1983–2018): is Spain adapting to heat? *Sci. Total Environ.* 784, 147233. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147233>.
- Gagnon, D., Kenny, G.P., 2012. Does sex have an independent effect on thermoeffector responses during exercise in the heat? *J. Physiol.* 590 (23), 5963–5973. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.240739>.
- García-Herrera, R., Díaz, J., Trigo, R.M., Hernández, E., 2005. Extreme summer temperatures in Iberia: health impacts and associated synoptic conditions. *Ann. Geophys.* 23 (2), 239–251. <https://doi.org/10.5194/angeo-23-239-2005>.
- Gasparrini, A., Guo, Y., Hashizume, M., Lavigne, E., Tobias, A., Zanobetti, A., Schwartz, J.D., Leone, M., Michelozzi, P., Kan, H., Tong, S., Honda, Y., Kim, H., Armstrong, B.G., 2016. Changes in susceptibility to heat during the summer: a multicountry analysis. *Am. J. Epidemiol.* 183 (11), 1027–1036. <https://doi.org/10.1093/aje/kwv260>.
- Gómez Acebo, I., Llorca, J., Rodríguez Cundín, P., Dierssen Sotos, T., 2011. Extreme temperatures and mortality in the North of Spain. *Int. J. Publ. Health* 57 (2), 305–313. <https://doi.org/10.1007/s00038-010-0229-1>, 2011 57:2.
- Gouveia, N., Hajat, S., Armstrong, B., 2003. Socioeconomic differentials in the temperature-mortality relationship in São Paulo, Brazil. *Int. J. Epidemiol.* 32 (3), 390–397. <https://doi.org/10.1093/ije/dyg077>.
- Hayhoe, K., Sheridan, S., Kalkstein, L., Greene, S., 2010. Climate change, heat waves, and mortality projections for Chicago. *J. Great Lakes Res.* 36 (Suppl. 2), 65–73. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2009.12.009>.
- Honda, Y., Kondo, M., McGregor, G., Kim, H., Guo, Y.L., Hijioka, Y., Yoshikawa, M., Oka, K., Takano, S., Hales, S., Kovats, R.S., 2014. Heat-related mortality risk model for climate change impact projection. *Environ. Health Prev. Med.* 19 (1), 56–63. <https://doi.org/10.1007/s12199-013-0354-6/TABLES/4>.
- Huertas, S., Rodrigo-Cano, D., de la Osa Tomás, J., Alcañiz Roy, G., 2021. Aclimatarnos. El cambio climático. Un problema de salud pública. Guía didáctica sobre adaptación al calor. <https://www.isciii.es/Noticias/Noticias/Documents/GuiaAclimatarnos.pdf>.
- Indraganti, M., Ooka, R., Rijal, H.B., 2015. Thermal comfort in offices in India: behavioral adaptation and the effect of age and gender. *Energy Build.* 103, 284–295. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.05.042>.
- Ingole, V., Mari-Dell'Olmo, M., Deluca, A., Quijal, M., Borrell, C., Rodríguez-Sanz, M., Achebak, H., Lauwaet, D., Gilbert, J., Murage, P., Hajat, S., Basagaña, X., Ballester, J., 2020. Spatial variability of heat-related mortality in Barcelona from 1992–2015: a case crossover study design. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 17 (7), 2553. <https://doi.org/10.3390/IJERPH17072553>, 2020, Vol. 17, Page 2553.
- Kabeer, N., 2008. Mainstreaming gender in social protection for the informal economy. In: *Mainstreaming Gender in Social Protection for the Informal Economy*. Commonwealth Secretariat.
- Kaciuba-Uscilko, H., Gruzca, R., 2001. Gender differences in thermoregulation. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* 4 (6), 533–536. <https://doi.org/10.1097/00075197-200111000-00012>.
- Kazman, J.B., Purvis, D.L., Heled, Y., Lisman, P., Atias, D., van Arsdale, S., Deuster, P.A., 2015. Women and Exertional Heat Illness: Identification of Gender Specific Risk Factors. *U.S. Army Medical Department Journal*, pp. 58–66.
- Kingma, B., van Marken Lichtenbelt, W., 2015. Energy consumption in buildings and female thermal demand. *Nat. Clim. Change* 5 (12), 1054–1056. <https://doi.org/10.1038/nclimate2741>, 2015 5:12.
- Kuchcik, M., 2021. Mortality and thermal environment (UTCI) in Poland—long-term, multi-city study. *Int. J. Biometeorol.* 65 (9), 1529. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01995-W>.
- Laschewski, G., Jendritzky, G., 2002. Effects of the thermal environment on human health: an investigation of 30 years of daily mortality data from SW Germany. *Clim. Res.* 21 (1), 91–103. <https://doi.org/10.3354/CR021091>.
- Lee, W., Kim, H., Hwang, S., Zanobetti, A., Schwartz, J.D., Chung, Y., 2017. Monte Carlo simulation-based estimation for the minimum mortality temperature in temperature-mortality association study. *BMC Med. Res. Methodol.* 17 (1), 137. <https://doi.org/10.1186/s12874-017-0412-7>.
- López-Bueno, J.A., Díaz, J., Sánchez-Guevara, C., Sánchez-Martínez, G., Franco, M., Gullón, P., Núñez Peiró, M., Valero, I., Linares, C., 2020. The impact of heat waves on daily mortality in districts in Madrid: the effect of sociodemographic factors. *Environ. Res.* 190, 109993. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109993>.
- López-Bueno, J.A., Navas-Martín, M.A., Díaz, J., Mirón, I.J., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Culqui, D., Linares, C., 2021. Analysis of vulnerability to heat in rural and urban areas in Spain: what factors explain Heat's geographic behavior? *Environ. Res.* 112213. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112213>.
- Manandhar, M., Hawkes, S., Buse, K., Nosrati, E., Magar, V., 2018. Gender, health and the 2030 agenda for sustainable development. *Bull. World Health Organ.* 96 (9), 644. <https://doi.org/10.2471/BLT.18.211607>.
- McCall, T., Beckmann, S., Kawe, C., Abel, F., Hornberg, C., 2018. <https://doi.org/10.1080/17565529.2018.1529551>. In: *Climate change adaptation and mitigation – a hitherto neglected gender-sensitive public health perspective*, 11, pp. 735–744. <https://doi.org/10.1080/17565529.2018.1529551>, 9.
- Mcgregor, G.R., Bessmoulin, P., Ebi, K., Menne, B., 2019. Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3371.
- Monteleone, P., Mascagni, G., Giannini, A., Genazzani, A.R., Simoncini, T., 2018. Symptoms of menopause - global prevalence, physiology and implications. *Nat. Rev. Endocrinol.* 14 (4), 199–215. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2017.180>.
- Morgenstern, H., 1995. Ecologic studies in epidemiology: concepts, principles, and methods. *Annu. Rev. Publ. Health* 16, 61–81. <https://doi.org/10.1146/annurev.pu.16.050195.000425>.
- Nacional de Estadística, Instituto, 2008. Encuesta de Hogares y Medio Ambiente. Año 2008. <https://www.ine.es/prensa/np547.pdf>.
- Nakagawa, A., Nakaya, T., 2021. A survey of clothing insulation for university students in Japan: effect of clothing insulation distribution between the upper and lower body in the winter. *J. Build. Eng.* 44, 103287. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103287>.
- Navas-Martín, M.Á., López-Bueno, J.A., Díaz, J., Follos, F., Vellón, J.M., Mirón, I.J., Luna, Y., Sánchez-Martínez, G., Culqui, D., Linares, C., 2022. Effects of Local Factors on Adaptation to Heat in Spain (1983–2018). *Environmental Research*.
- Park, C.Y., Lee, D.K., Hyun, J.H., 2019. The effects of extreme heat adaptation strategies under different climate change mitigation scenarios in Seoul, Korea. *Sustainability* 11 (14), 3801. <https://doi.org/10.3390/su11143801>, 2019, Vol. 11, Page 3801.

- Rocklöv, J., Ebi, K., Forsberg, B., 2011. Mortality related to temperature and persistent extreme temperatures: a study of cause-specific and age-stratified mortality. *Occup. Environ. Med.* 68 (7), 531–536. <https://doi.org/10.1136/OEM.2010.058818>.
- Son, J.Y., Lee, J.T., Anderson, G.B., Bell, M.L., 2011. Vulnerability to temperature-related mortality in Seoul, Korea. *Environ. Res. Lett. : ERL [Web Site]* 6 (3). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/3/034027>.
- Sorensen, C., Saunik, S., Sehgal, M., Tewary, A., Govindan, M., Lemery, J., Balbus, J., 2018. Climate change and women's health: impacts and opportunities in India. *GeoHealth* 2 (10), 283–297. <https://doi.org/10.1029/2018GH000163>.
- Stafoggia, M., Forastiere, F., Agostini, D., Biggeri, A., Bisanti, L., Cadum, E., Caranci, N., De'Donato, F., de Lisi, S., de Maria, M., Michelozzi, P., Miglio, R., Pandolfi, P., Picciotto, S., Roggoni, M., Russo, A., Scarnato, C., Perucci, C.A., 2006. Vulnerability to heat-related mortality: a multicity, population-based, case-crossover analysis. *Epidemiology* 17 (3), 315–323. <https://doi.org/10.1097/01.ede.0000208477.36665.34>.
- Susan Solomon, D., Singh, C., Islam, F., 2021. Examining the outcomes of urban adaptation interventions on gender equality using SDG 5. *Clim. Dev.* 1–12. <https://doi.org/10.1080/17565529.2021.1939643>.
- Székely, M., Garai, J., 2018. Thermoregulation and age. *Handb. Clin. Neurol.* 156, 377–395. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63912-7.00023-0>.
- Tyler, C.J., Reeve, T., Hodges, G.J., Cheung, S.S., 2016. The effects of heat adaptation on physiology, perception and exercise performance in the heat: a meta-analysis. *Sports Med.* 46 (11), 1699–1724. <https://doi.org/10.1007/S40279-016-0538-5>.
- United Nations, 2020. The Sustainable Development Goals Report. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2020.pdf>.
- van Steen, Y., Ntarladima, A.M., Grobbee, R., Karssenber, D., Vaartjes, I., 2019. Sex differences in mortality after heat waves: are elderly women at higher risk? *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 92 (1), 37–48. <https://doi.org/10.1007/S00420-018-1360-1>.
- Watts, N., Amann, M., Ayeb-Karlsson, S., Belesova, K., Bouley, T., Boykoff, M., Byass, P., Cai, W., Campbell-Lendrum, D., Chambers, J., Cox, P.M., Daly, M., Dasandi, N., Davies, M., Depledge, M., Depoux, A., Dominguez-Salas, P., Drummond, P., Ekins, P., et al., 2018. The Lancet Countdown on health and climate change: from 25 years of inaction to a global transformation for public health. *Lancet (London, England)* 391 (10120), 581–630. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32464-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32464-9).
- Weitensfelder, L., Moshammer, H., 2020. Evidence of adaptation to increasing temperatures. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 17 (1). <https://doi.org/10.3390/IJERPH17010097>.
- Wickham, K.A., Wallace, P.J., Cheung, S.S., 2020. Sex differences in the physiological adaptations to heat acclimation: a state-of-the-art review. *Eur. J. Appl. Physiol.* 121 (2), 353–367. <https://doi.org/10.1007/S00421-020-04550-Y>, 2020 121:2.
- Yin, Q., Wang, J., Ren, Z., Li, J., Guo, Y., 2019. Mapping the increased minimum mortality temperatures in the context of global climate change. *Nat. Commun.* 10 (1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12663-y>.
- Yu, W., Vaneckova, P., Mengersen, K., Pan, X., Tong, S., 2010. Is the association between temperature and mortality modified by age, gender and socio-economic status? *Sci. Total Environ.* 408 (17), 3513–3518. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2010.04.058>.
- Zhao, Q., Guo, Y., Ye, T., Gasparrini, A., Tong, S., Overcenco, A., Urban, A., Schneider, A., Entezari, A., Vicedo-Cabrera, A.M., Zanobetti, A., Analitis, A., Zeka, A., Tobias, A., Nunes, B., Alahmad, B., Armstrong, B., Forsberg, B., Pan, S.C., et al., 2021. Global, regional, and national burden of mortality associated with non-optimal ambient temperatures from 2000 to 2019: a three-stage modelling study. *Lancet Planet. Health* 5 (7), e415–e425. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00081-4/ATTACHMENT/5B4AC3E6-A90B-4BEA-8EB1-70876594DAC4/MMC1.PDF](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00081-4/ATTACHMENT/5B4AC3E6-A90B-4BEA-8EB1-70876594DAC4/MMC1.PDF).



Article

Heat Adaptation among the Elderly in Spain (1983–2018)

Miguel Ángel Navas-Martín ^{1,2,*} , José Antonio López-Bueno ¹ , María Soledad Ascaso-Sánchez ¹,
Fernando Follos ³ , José Manuel Vellón ³, Isidro Juan Mirón ⁴ , María Yolanda Luna ⁵ ,
Gerardo Sánchez-Martínez ⁶, Cristina Linares ¹ and Julio Díaz ¹

- ¹ National School of Public Health, Carlos III Institute of Health, 28029 Madrid, Spain
² Doctorate Program in Biomedical Sciences and Public Health, National University of Distance Education, 28015 Madrid, Spain
³ Tdot Soluciones Sostenibles, SL., Ferrol, 15401 A Coruña, Spain
⁴ Regional Health Authority of Castile La Mancha, 45500 Torrijos, Spain
⁵ State Meteorological Agency, 28071 Madrid, Spain
⁶ The UNEP DTU Partnership, 2100 Copenhagen, Denmark
* Correspondence: manavas@isciii.es

Abstract: The capacity for adaptation to climate change is limited, and the elderly rank high among the most exposed population groups. To date, few studies have addressed the issue of heat adaptation, and little is known about the long-term effects of exposure to heat. One indicator that allows the ascertainment of a population's level of adaptation to heat is the minimum mortality temperature (MMT), which links temperature and daily mortality. The aim of this study was to ascertain, firstly, adaptation to heat among persons aged ≥ 65 years across the period 1983 to 2018 through analysis of the MMT; and secondly, the trend in such adaptation to heat over time with respect to the total population. A retrospective longitudinal ecological time series study was conducted, using data on daily mortality and maximum daily temperature across the study period. Over time, the MMT was highest among elderly people, with a value of 28.6 °C (95%CI 28.3–28.9) versus 28.2 °C (95%CI 27.83–28.51) for the total population, though this difference was not statistically significant. A total of 62% of Spanish provinces included populations of elderly people that had adapted to heat during the study period. In general, elderly persons' level of adaptation registered an average value of 0.11 (°C/decade).

Keywords: adaptation; MMT; age; prevention plan; mortality; health



Citation: Navas-Martín, M.Á.; López-Bueno, J.A.; Ascaso, M.S.; Follos, F.; Vellón, J.M.; Mirón, I.J.; Luna, M.Y.; Sánchez-Martínez, G.; Linares, C.; Díaz, J. Heat Adaptation among the Elderly in Spain (1983–2018). *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2023**, *20*, 1314. <https://doi.org/10.3390/ijerph20021314>

Academic Editors: Qingxiang Li, Steve Hung Lam Yim and Yonghong Li

Received: 25 November 2022
Revised: 2 January 2023
Accepted: 6 January 2023
Published: 11 January 2023



Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) predicts that if current human activity continues, there will be a 1.5 °C increase in global warming [1]. This rise in temperature is expected to lead to increased mortality and morbidity risks [2]. Populations with high vulnerability and exposure to heat, such as the elderly, chronic patients, and children [2–4], must prioritize adaptation measures [5]. However, there is little information on how the population is adapting to climate change [6].

An indicator that makes it possible to measure whether a given population is adapting to heat is the time trend in the minimum mortality temperature (MMT) [6–8]. The MMT is characterised by linking temperature and daily mortality [8–11], this association usually has a shape depicted graphically as a U-, V- or J-shaped curve [7,12–16].

Effective heat health action plans that are adapted to local conditions must be implemented by all nations, local communities, and institutions. To minimize the impact of heat, some governments have implemented action plans to address heat-related health [17]. These action plans include alert systems to reduce vulnerability to heat [2]. In Spain, the National Heat Wave Prevention Plan (Plan Nacional de Actuaciones Preventivas de los Efectos del Exceso de Temperaturas Sobre la Salud) was created in 2004 as an instrument to combat the effects of high temperatures on health [18].

The best way of establishing that an action plan is working is to ascertain whether heat-related mortality is decreasing. Yet the way of assessing mortality differs according to the place and type of population involved, which, coupled with the use of different methods, hinders comparison and interpretation of results [9,19]. Use of the time trend in the MMT is thus key to assessing the effectiveness of such plans [9].

There are few studies that analyse the population impact of climate change adaptation to extreme heat [20]. Similarly, little is known about human beings' capacity for adaptation to long-term exposure to heat [6]. Furthermore, ranking high among the groups most vulnerable to the effects of heat are the elderly [3], bearing in mind that the MMT could be altered by further population ageing [21].

Ageing affects people's thermal response, in that they lose the capacity for thermoregulation, sweating and sensation of thirst. As ageing advances, vulnerability rises, becoming greatest after 65 years of age [6,22].

This study thus sought to ascertain, firstly, elderly persons' (age ≥ 65 years) adaptation to heat across the period 1983–2018, through analysis of the MMT, and secondly, the differences with respect to the total population. A retrospective longitudinal ecological time series study was conducted, using data on daily mortality and maximum daily temperature during the study period.

2. Materials and Methods

We conducted a retrospective longitudinal ecological time series study on the population aged ≥ 65 years in Spain's provinces, across the period 1983–2018.

Daily mortality was calculated using microdata furnished by the National Statistics Institute (Instituto Nacional de Estadística/INE) under an institutional agreement. We used daily mortality data, coded by all natural causes of death, covering elderly persons in towns of over 10,000 inhabitants, broken down by province, during the study period.

Temperature was calculated using data registered at reference observatories in each province across the study period and supplied by the State Meteorological Agency (Agencia Estatal de Meteorología/AEMET).

The following were discarded: any record that lacked data on mortality and/or temperature; and any year of any given provincial time series for which more than 10% of the annual records were missing.

2.1. Calculation of MMT

The MMT was calculated using the deterministic methodology proposed by authors [9–11]. To this end, average mortality, grouped into intervals of two degrees Celsius, was calculated by province for each year of the time series for the elderly population. We then fitted a cubic or quadratic regression model of mortality aggregated with temperature, selecting the MMT values that were significant (p -value < 0.05). In cases where the MMT was not significant, MMT estimates were made to complement the calculations, using the method applied by Navas-Martin et al. [11]. This new methodology makes it possible to complement the calculation of MMTs by using the average of the maximum daily temperatures observed under the 5th percentile of mortality. Lastly, in any case where MMTs were not obtained by estimation, these were discarded. MMTs were calculated for each year and province.

To ascertain the time trend in MMT for the elderly versus the total population according to a previous study [10], the linear regressions of the MMT were calculated for the entire study period (Figure 1), for the period 1983–2003 (Figure 2) which corresponded to the study years when there was no public health prevention plan, and for the period 2004–2018 (Figure 3), which was when the first public health sponsored heat wave prevention plan was introduced in Spain to combat the effects of excess temperatures on health.

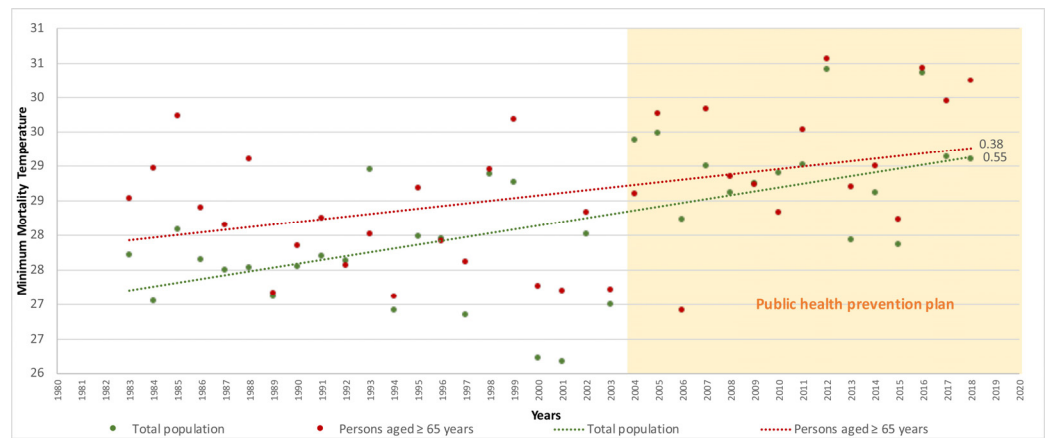


Figure 1. Trend in minimum mortality temperature (MMT) by year for age groups ≥ 65 years and the total population in Spain (1983–2018).

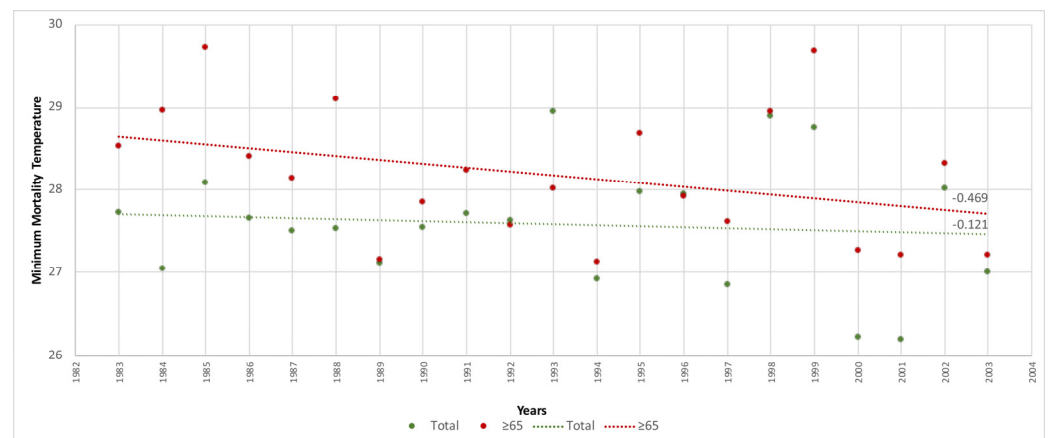


Figure 2. Trend in minimum mortality temperature (MMT) by year for age groups ≥ 65 years and the total population in Spain (1983–2003).

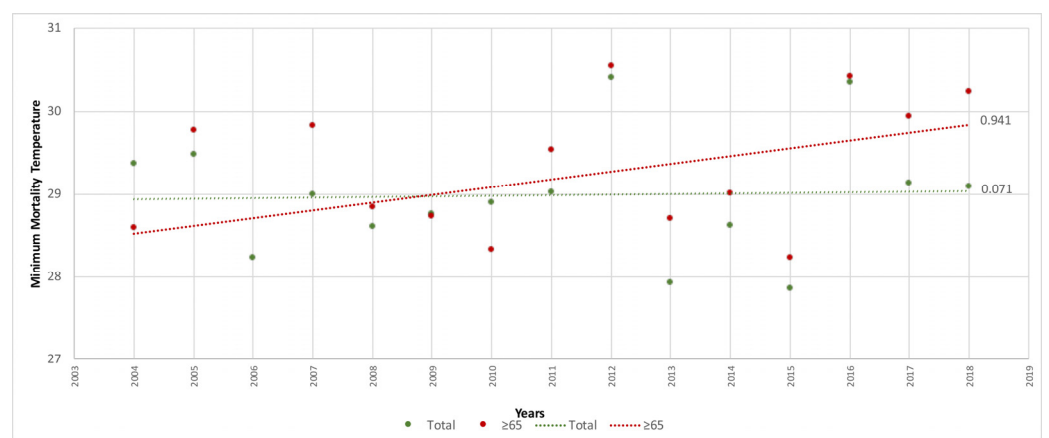


Figure 3. Trend in minimum mortality temperature (MMT) by year for age groups ≥ 65 years and the total population in Spain (2004–2018).

2.2. Determination of Heat Adaptation Levels

To determine the elderly population’s level of adaptation, we calculated the variations in maximum daily temperature (TMAX Rise) and (MMT Variation) expressed in $^{\circ}\text{C}/\text{decade}$, by fitting linear regression models.

The adaptation level was then established as the difference between MMT Variation and TMAX Rise.

This made it possible to obtain (Table 1) the variations in maximum daily temperature, MMT, and the adaptation levels of the elderly population age group.

Table 1. Relationship of variables, by province, between minimum mortality temperature (MMT) in persons aged 65 years or over, maximum daily temperature (TMAX), mean TMAX, increase by decade in TMAX, variations in MMT and adaptation levels. * p -value < 0.05.

| Code | Name | MMT | Mean (°C) | TMAX Rise (°C/Decade) | MMT Variation (°C/Decade) | Adaptation Level (MMT Variation-Tmax Rise) |
|------|----------------|------|-----------|-----------------------|---------------------------|--|
| 1 | Araba | 28.2 | 17.4 | 0.459 | −0.299 | −0.758 |
| 2 | Albacete | 30.4 | 21 | 0.509 | 0.337 | −0.172 |
| 3 | Alicante | 30.2 | 23.5 | 0.190 | 0.817 | 0.627 * |
| 4 | Almería | 31.3 | 23.4 | −0.070 | 0.531 | 0.601 |
| 5 | Avila | 23.1 | 17.2 | 0.394 | −0.737 | −1.131 |
| 6 | Badajoz | 32.8 | 24 | 0.286 | 0.490 | 0.204 |
| 7 | Balearic Isles | 28.6 | 22 | 0.330 | 1.449 | 1.119 * |
| 8 | Barcelona | 26.9 | 20.6 | 0.414 | 0.483 | 0.069 * |
| 9 | Burgos | 27.4 | 16.8 | 0.372 | 1.611 | 1.239 |
| 10 | Cáceres | 29.7 | 22.1 | 0.336 | 0.623 | 0.287 |
| 11 | Cádiz | 28.2 | 21.7 | 0.287 | −0.230 | −0.517 |
| 12 | Castellón | 29.9 | 22.5 | 0.370 | 0.757 | 0.387 |
| 13 | Ciudad Real | 29.5 | 22 | 0.267 | 0.341 | 0.074 |
| 14 | Córdoba | 34.3 | 25.4 | 0.332 | 1.887 | 1.555 * |
| 15 | Corunna | 24.7 | 18 | 0.351 | 0.832 | 0.481 |
| 16 | Cuenca | 26.1 | 19.6 | 0.617 | −0.245 | −0.862 |
| 17 | Girona | 29.5 | 21.1 | 0.656 | 0.980 | 0.324 |
| 18 | Granada | 31.7 | 22.6 | 0.416 | 1.018 | 0.602 * |
| 19 | Guadalajara | 26.4 | 20.5 | 0.367 | −1.054 | −1.421 |
| 20 | Gipuzkoa | 26.3 | 16.6 | 0.244 | 0.328 | 0.084 |
| 21 | Huelva | 30.4 | 24.1 | 0.322 | 0.916 | 0.594 |
| 22 | Huesca | 27.8 | 19.8 | 0.489 | 0.442 | −0.047 |
| 23 | Jaén | 30.2 | 21.8 | 0.516 | 1.299 | 0.783 * |
| 24 | León | 26.4 | 16.9 | 0.243 | 0.516 | 0.273 |
| 25 | Lleida | 30.3 | 21.7 | 0.264 | 0.499 | 0.235 |
| 26 | Rioja, La | 27.5 | 19.8 | 0.416 | 0.091 | −0.325 |
| 27 | Lugo | 27.9 | 17.8 | 0.189 | 1.060 | 0.871 |
| 28 | Madrid | 29.2 | 20.2 | 0.394 | 0.816 | 0.422 * |
| 29 | Malaga | 31.5 | 23.5 | 0.320 | 0.327 | 0.007 |
| 30 | Murcia | 30.3 | 22.4 | 0.172 | 1.510 | 1.338 * |
| 31 | Navarre | 27.2 | 18.6 | 0.442 | −0.344 | −0.786 |
| 32 | Ourense | 31.4 | 21.6 | 0.457 | 0.973 | 0.516 |
| 33 | Asturias | 25.3 | 17.5 | 0.184 | −0.047 | −0.231 |
| 34 | Palencia | 24.0 | 16.8 | 0.286 | 1.953 | 1.667 |
| 35 | Palmas, Las | 29.4 | 24.3 | 0.128 | −0.495 | −0.623 |
| 36 | Pontevedra | 26.4 | 19.1 | 0.099 | 0.455 | 0.356 |
| 37 | Salamanca | 27.4 | 19 | 0.613 | −0.442 | −1.055 |
| 38 | S.C. Tenerife | 30.1 | 24.7 | 0.225 | −0.342 | −0.567 |
| 39 | Cantabria | 26.6 | 18.7 | 0.277 | −0.175 | −0.452 |
| 40 | Segovia | 23.8 | 18.1 | 0.298 | −0.450 | −0.748 |
| 41 | Seville | 34.0 | 25.6 | 0.310 | 1.425 | 1.115 * |
| 42 | Soria | 24.3 | 17.3 | 0.280 | 0.035 | −0.245 |
| 43 | Tarragona | 28.8 | 21.3 | 0.380 | 0.484 | 0.104 |
| 44 | Teruel | 23.8 | 19.9 | 0.420 | −0.122 * | −0.542 |
| 45 | Toledo | 30.2 | 22.4 | 0.412 | 1.197 | 0.785 * |
| 46 | Valencia | 31.0 | 22.9 | 0.313 | 0.359 | 0.046 |
| 47 | Valladolid | 26.5 | 17.8 | 0.186 | 0.225 * | 0.039 |
| 48 | Bizkaia | 29.1 | 19.7 | 0.062 | 0.210 | 0.148 |
| 49 | Zamora | 25.9 | 19.2 | 0.491 | −0.194 | −0.685 |
| 50 | Zaragoza | 30.0 | 21.3 | 0.472 | 0.377 | −0.095 |
| | (Spain) | 28.4 | 20.6 | 0.34 | 0.45 | 0.11 |

2.3. Data Analysis

Data processing was performed using the R version 4.0.2, IBM SPSS Statistics version 28, STATA BE-Basic Edition version 17, and Excel 2019 (with the Power Query add-in) computer software programs.

3. Results

A total of 92.4% ($n = 1596$) of MMTs were obtained, with only 7.6% ($n = 132$) of these being discarded. Of the total MMTs calculated, 8.6% ($n = 149$) corresponded to a quadratic fit, 12.6% ($n = 218$) to an estimation-based fit, and 71.1% ($n = 1229$) to a cubic fit.

With respect to the time trend in the MMT for the population aged ≥ 65 years versus the total population, the MMT of the elderly population group was higher in all periods. Across the entire study period (Figure 1), the elderly had a mean value of 28.6 °C (95%CI 28.3–28.9) while the total population had a mean value of 28.2 °C (95%CI 27.83–28.51), though this difference was not statistically significant. During the years in which there were no prevention plans (Figure 2), elderly persons had a mean value of 28.2 °C (95%CI 27.8–28.5) versus 27.6 °C (95%CI 27.2–27.9) for the total population. In the years when plans were already being implemented (Figure 3), the elderly population had a mean value of 29.2 °C (95%CI 28.6–29.7) versus 29 °C (95%CI 28.6–29.4) for the total population. Here too, the differences found were not statistically significant.

In terms of the MMT trend by year, this was higher in the total population than in the elderly population group, with figures of 0.55 (°C/decade) versus 0.38 (°C/decade) respectively. During the period when there were no prevention plans, and despite the trend being downward in both groups, the MMT was again higher in the total population, with -0.12 (°C/decade) versus -0.47 (°C/decade) in the elderly population. In contrast, this trend changed during the period when prevention plans already existed in Spain, with 0.94 (°C/decade) among the elderly versus 0.07 (°C/decade) among the total population.

Taking the MMT (Figure 4) by province, the mean value (Table 1) of the elderly population was 28.4 °C (95%CI 27.7–29.2) for Spain as a whole, with Avila being the province that registered the lowest value (23.1 °C) and Cordoba the highest value (34.3 °C). The average level of variation in MMT for all provinces was 0.45 (°C/decade).

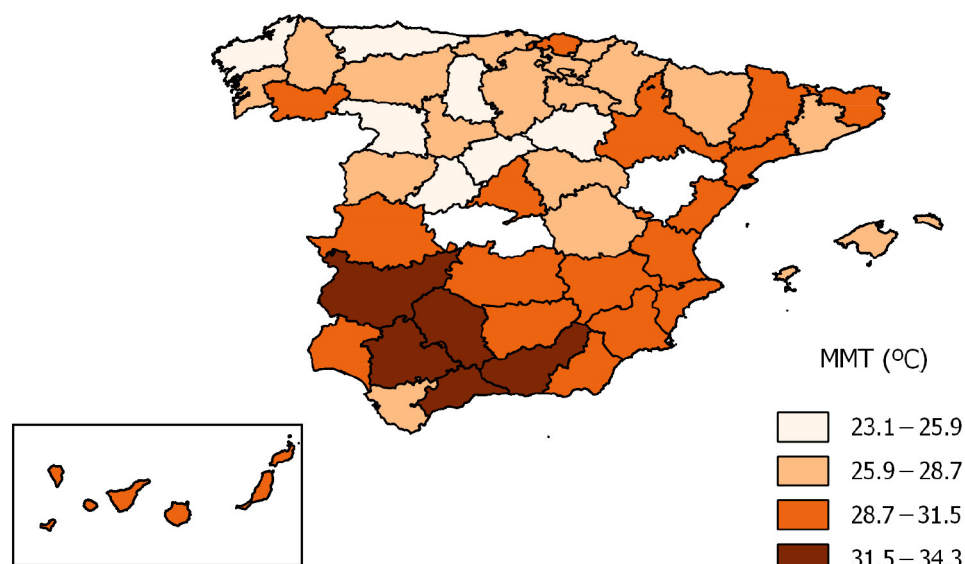


Figure 4. MMT by province for age groups ≥ 65 years in Spain (1983–2018).

Analysis of the elderly population's adaptation level by province (Figure 5) showed that 62% of provinces ($n = 31$) adapted versus 38% ($n = 19$) which did not. The average adaptation level was 0.11 (°C/decade).

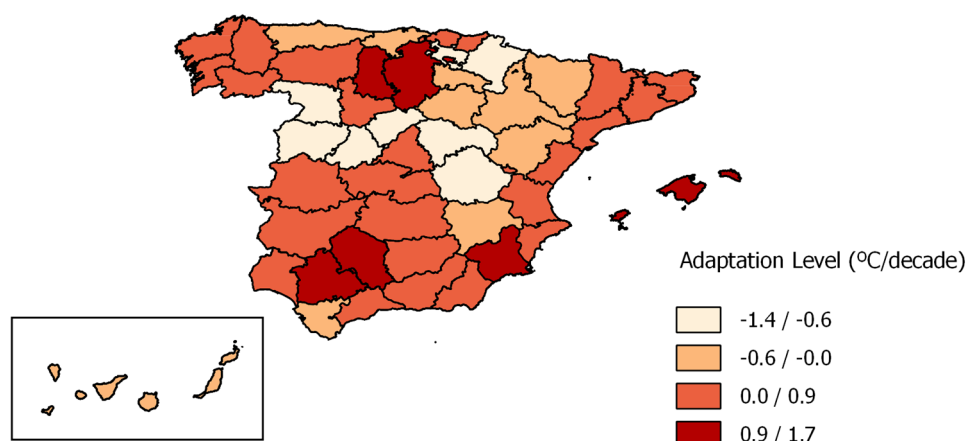


Figure 5. Adaptation level by province for age groups ≥ 65 years in Spain (1983–2018).

4. Discussion

There is little evidence as to how the population will adapt or is adapting to heat due to climate change [6,20]. This is coupled with the fact that vulnerability to climate change comes about in different ways, causing different responses in the population's adaptation [23].

This study analysed heat adaptation with reference to the MMT of the population aged ≥ 65 years in Spain across the period 1983–2018. It is only logical that the best way of ascertaining how the MMT will affect a given population's adaptation to heat in the future, is by studying its effects in the past.

4.1. Vulnerability to Heat in the Elderly

The elderly population's average MMT value was found to be $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ higher than the general population's. If the MMT is used as an indicator of heat vulnerability, it appears that the population aged ≥ 65 years is less vulnerable to heat than the general population, although no statistically significant difference was found. This finding is consistent with a recent study that found that the 18–44-year-old age group had a higher percentage risk of heat-related mortality than other age groups, and that this risk had increased over time [24]. It also agrees with another study on several Spanish cities, which reported that mortality among persons aged ≥ 70 years was similar to mortality in the total population [25].

Although elderly persons are more susceptible to non-optimal temperatures than the young and middle-aged adult populations [26], there are a range of factors which could account for the fact that the elderly population has reduced its vulnerability to heat. Improvements in dwellings, infrastructures, use of air-conditioning equipment, heightened awareness of and sensitivity to prevention campaigns [6,27] and behavioural changes, such as opening and closing windows to improve airflow and change the indoor temperature [28], have meant that older persons may be more resistant to heat.

Similarly, it was observed that during the years when there were no plans, the difference in the MMT between the elderly and total populations was $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, whereas during the years when plans were implemented, the gap closed, with the difference in their respective MMTs being only $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$. This may be due to the fact that not only were the plans effective for the population as a whole, but that with the passage of years and thanks to previous campaigns, the elderly population has also become more successful at internalising the heat culture.

At a provincial level, the average variation in the MMT of the elderly population was $0.45\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{decade}$, with this being similar to that obtained for general population, i.e., $0.41\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ according to a previous study [10]. The fact that in Spain the average proportion of persons aged ≥ 65 years across the study period was 40% of the country's population, with this figure being 28.89% in 1983 and 53.43% in 2018 [29], added to the fact that the mortality rate was 27 times higher in the elderly than in the young and middle-

aged populations, means that the population aged ≥ 65 years may be over-represented in mortality [30] and, by extension, in its relationship with temperature.

With respect to the trend in MMT over time in persons aged ≥ 65 years and in the total population, this was higher in the total population group than in the elderly population, though during the period when there were no prevention plans, the trend was downward in the elderly population group. This finding suggests, as do others studies in various countries, as well as a study conducted in Spain [31], that prevention plans contribute to the decrease in heat-related mortality [32–34].

4.2. Adaptation to Heat in the Elderly Population

As regards the elderly population's level of adaptation, most of the provinces showed adaptation, and in general, the elderly Spanish population has adapted to heat. This is in line with the trend in other countries in the region, such as France, where with the passage of time, the general population has shown adaptation to heat due to global warming [35]. The effects of heat have declined over time [36], and in the ≥ 65 age group in particular [27].

The elderly population is not only more vulnerable to heat, it also has a lower response in terms of sweating and hydration needs and is also more physically debilitated. In contrast, however, it has a greater capacity for acclimatisation to heat. This could be accounted for by an enhancement in living conditions, such as improved health services, socio-economic factors, adapted dwellings, use of air-conditioning equipment, heightened awareness of the risks, and a greater receptive capacity with regard to heat prevention campaigns [6,27,36,37].

This highlights the need for studies into the possible links between global warming and population ageing, in order to improve public health policies and the planning of heat adaptation strategies focused on elderly populations [37].

Likewise, there is a need for more studies to explore the relationship between mortality and temperature in localized [5,38,39], and so allow for more in-depth studies to be undertaken for eventual application to public health prevention plans.

5. Limitations

This study has several limitations, due firstly to its being the type of ecological study in which the results cannot be interpreted at an individual level [40], and secondly, due to the lack of quality of certain data from some provinces or the absence of other data, such as the air pollution data that could not be included in the study.

Lastly, there is no universal methodology for calculating MMT. Although there is a clear relationship between the temperature-mortality association, with this being graphically depicted as a U-, V- or J-shaped curve [7,12–16], there are nonetheless differences in its analysis, with some researchers using the absolute or relative MMT value, or both [21].

While many studies use distributed lag non-linear models (DLNMs) [41], their use is not free of bias [42]. Similarly, there are differences in criteria for obtaining MMTs: for the calculation of risk, some studies use percentile values above the 50th percentile [43], the 84th percentile [44], the 95th percentile [45,46], or the 99th percentile [42,47]. Other authors do not include lag [48] or include two days [49] or twenty-one days [26] in their studies.

6. Conclusions

Although the Spanish provincial population aged ≥ 65 years showed adaptation to heat, heterogeneities were found among the various provinces, highlighting the fact that in a given country vulnerability to ambient temperature varies, and that its relationship with the process of adaptation is thus influenced by the geographical, climatic and socio-economic characteristics of each particular area.

Author Contributions: Conceptualization, M.Á.N.-M., C.L. and J.D.; Data curation, M.Á.N.-M., J.A.L.-B., M.S.A.-S., F.F., J.M.V., I.J.M. and M.Y.L.; Methodology, M.Á.N.-M., G.S.-M., C.L. and J.D.; Writing—original draft, M.Á.N.-M.; Writing—review and editing, M.Á.N.-M., J.A.L.-B., M.S.A.-S.,

FF, J.M.V., I.J.M., M.Y.L., G.S.-M., C.L. and J.D. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by the Carlos III Institute of Health, the grants for the ENPY 436/21 and ENPY 304/20.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Data sharing not applicable.

Acknowledgments: The authors would like to express their gratitude the Carlos III Institute of Health and the Biodiversity Foundation, Ministry for Ecological Transition and Demographic Challenge.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. IPCC Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability—IPCC. 2022. Available online: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> (accessed on 25 April 2022).
2. Ebi, K.L.; Capon, A.; Berry, P.; Broderick, C.; de Dear, R.; Havenith, G.; Honda, Y.; Kovats, R.S.; Ma, W.; Malik, A.; et al. Hot weather and heat extremes: Health risks. *Lancet* **2021**, *398*, 698–708. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
3. Benmarhnia, T.; Deguen, S.; Kaufman, J.S.; Smargiassi, A. Vulnerability to heat-related mortality: A systematic review, meta-analysis, and meta-regression analysis. *Epidemiology* **2015**, *26*, 781–793. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
4. Yang, J.; Zhou, M.; Ren, Z.; Li, M.; Wang, B.; Liu, D.L.; Ou, C.Q.; Yin, P.; Sun, J.; Tong, S.; et al. Projecting heat-related excess mortality under climate change scenarios in China. *Nat. Commun.* **2021**, *12*, 1039. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
5. Estoque, R.C.; Ooba, M.; Seposo, X.T.; Togawa, T.; Hijioka, Y.; Takahashi, K.; Nakamura, S. Heat health risk assessment in Philippine cities using remotely sensed data and social-ecological indicators. *Nat. Commun.* **2020**, *11*, 1581. [[CrossRef](#)]
6. Folkerts, M.A.; Bröde, P.; Botzen, W.J.W.; Martinius, M.L.; Gerrett, N.; Harmsen, C.N.; Daanen, H.A.M. Long Term Adaptation to Heat Stress: Shifts in the Minimum Mortality Temperature in the Netherlands. *Front. Physiol.* **2020**, *11*, 225. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
7. Yin, Q.; Wang, J.; Ren, Z.; Li, J.; Guo, Y. Mapping the increased minimum mortality temperatures in the context of global climate change. *Nat. Commun.* **2019**, *10*, 4640. [[CrossRef](#)]
8. López-Bueno, J.A.; Díaz, J.; Follos, F.; Vellón, J.M.; Navas, M.A.; Culqui, D.; Luna, M.Y.; Sánchez-Martínez, G.; Linares, C. 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.* **2021**, *33*, 101. [[CrossRef](#)]
9. Follos, F.; Linares, C.; Vellón, J.M.; López-Bueno, J.A.; Luna, M.Y.; Sánchez-Martínez, G.; Díaz, J. The evolution of minimum mortality temperatures as an indicator of heat adaptation: The cases of Madrid and Seville (Spain). *Sci. Total Environ.* **2020**, *747*, 141259. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
10. Follos, F.; Linares, C.; López-Bueno, J.A.; Navas, M.A.; Culqui, D.; Vellón, J.M.; Luna, M.Y.; Sánchez-Martínez, G.; Díaz, J. Evolution of the minimum mortality temperature (1983–2018): Is Spain adapting to heat? *Sci. Total Environ.* **2021**, *784*, 147233. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
11. Navas-Martín, M.Á.; López-Bueno, J.A.; Ascaso-Sánchez, M.S.; Sarmiento-Suárez, R.; Follos, F.; Vellón, J.M.; Mirón, I.J.; Luna, M.Y.; Sánchez-Martínez, G.; Culqui, D.; et al. Gender differences in adaptation to heat in Spain (1983–2018). *Environ. Res.* **2022**, *215*, 113986. [[CrossRef](#)]
12. Arbuthnott, K.; Hajat, S.; Heaviside, C.; Vardoulakis, S. What is cold-related mortality? A multi-disciplinary perspective to inform climate change impact assessments. *Environ. Int.* **2018**, *121*, 119–129. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
13. Rai, M.; Breitner, S.; Wolf, K.; Peters, A.; Schneider, A.; Chen, K. Impact of climate and population change on temperature-related mortality burden in Bavaria, Germany. *Environ. Res. Lett.* **2019**, *14*, 124080. [[CrossRef](#)]
14. Pascal, M.; Wagner, V.; Corso, M.; Laaidi, K.; Ung, A.; Beaudou, P. Heat and cold related-mortality in 18 French cities. *Environ. Int.* **2018**, *121*, 189–198. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
15. Song, B.-G.; Park, K.-H.; Kim, G.-A.; Kim, S.-H.; Park, G.-U.; Mun, H.-S. Analysis of Relationship between the Spatial Characteristics of the Elderly Population Distribution and Heat Wave based on GIS—Focused on Changwon City. *J. Korean Assoc. Geogr. Inf. Stud.* **2020**, *23*, 68–84.
16. Pyrgou, A.; Santamouris, M. Probability Risk of Heat- and Cold-Related Mortality to Temperature, Gender, and Age Using GAM Regression Analysis. *Climate* **2020**, *8*, 40. [[CrossRef](#)]
17. The Lancet Health in a world of extreme heat. *Lancet* **2021**, *398*, 641. [[CrossRef](#)]
18. Gobierno de España. Plan Nacional de Actuaciones Preventivas de los Efectos del Exceso de Temperatura sobre la Salud. 2021. Available online: https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/planAltasTemp/2021/docs/Plan_Calor_2021.pdf (accessed on 10 May 2022).
19. Hanna, E.G.; Tait, P.W. Limitations to Thermoregulation and Acclimatization Challenge Human Adaptation to Global Warming. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2015**, *12*, 8034–8074. [[CrossRef](#)]

20. Turek-Hankins, L.L.; Coughlan de Perez, E.; Scarpa, G.; Ruiz-Diaz, R.; Schwerdtle, P.N.; Joe, E.T.; Galappaththi, E.K.; French, E.M.; Austin, S.E.; Singh, C.; et al. Climate change adaptation to extreme heat: A global systematic review of implemented action. *Oxf. Open Clim. Chang.* **2021**, *1*, 5. [CrossRef]
21. Åström, D.O.; Tornevi, A.; Ebi, K.L.; Rocklöv, J.; Forsberg, B. Evolution of Minimum Mortality Temperature in Stockholm, Sweden, 1901–2009. *Environ. Health Perspect.* **2016**, *124*, 740–744. [CrossRef]
22. WHO Regional Office for Europe. *Heat and Health in the WHO European Region: Updated Evidence for Effective Prevention*; Sanchez Martinez, G., De'Donato, F., Kendrovski, V., Eds.; WHO: Copenhagen, Denmark, 2021; Available online: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/339462/9789289055406-eng.pdf> (accessed on 28 May 2021).
23. Jonsson, A.C.; Lundgren, L. Vulnerability and adaptation to heat in cities: Perspectives and perceptions of local adaptation decision-makers in Sweden. *Local Environ.* **2015**, *20*, 442–458. [CrossRef]
24. 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. *Environ. Res.* **2015**, *143*, 186–191. [CrossRef] [PubMed]
25. Iñiguez, C.; Ballester, F.; Ferrandiz, J.; Pérez-Hoyos, S.; Sáez, M.; López, A. Relation between Temperature and Mortality in Thirteen Spanish Cities. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2010**, *7*, 3196–3210. [CrossRef] [PubMed]
26. Huang, Y.; Yang, J.; Chen, J.; Shi, H.; Lu, X. Association between ambient temperature and age-specific mortality from the elderly: Epidemiological evidence from the Chinese prefecture with most serious aging. *Environ. Res.* **2022**, *211*, 113103. [CrossRef] [PubMed]
27. Petkova, E.P.; Gasparrini, A.; Kinney, P.L. Heat and mortality in New York City since the beginning of the 20th century. *Epidemiology* **2014**, *25*, 554–560. [CrossRef]
28. Jiao, Y.; Yu, H.; Wang, T.; An, Y.; Yu, Y. Thermal comfort and adaptation of the elderly in free-running environments in Shanghai, China. *Build Environ.* **2017**, *118*, 259–272. [CrossRef]
29. Instituto Nacional de Estadística Proporción de Personas Mayores de Cierta Edad por Provincia. Available online: <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=1488> (accessed on 12 May 2022).
30. Pérez Díaz, J.; Abellán García, A.; Aceituno Nieto, P.; Ramiro Fariñas, D. *Un Perfil de las Personas Mayores en España 2020*; No. 25; Informes Envejecimiento en Red: Madrid, Spain, 2020.
31. Martínez-Solanas, E.; Basagaña, X. Temporal changes in temperature-related mortality in Spain and effect of the implementation of a Heat Health Prevention Plan. *Environ. Res.* **2019**, *169*, 102–113. [CrossRef]
32. Boeckmann, M.; Rohn, I. Is planned adaptation to heat reducing heat-related mortality and illness? A systematic review. *BMC Public Health* **2014**, *14*, 1112. [CrossRef]
33. Schifano, P.; Leone, M.; de Sario, M.; Dedonato, F.; Bargagli, A.M.; Dippoliti, D.; Marino, C.; Michelozzi, P. Changes in the effects of heat on mortality among the elderly from 1998–2010: Results from a multicenter time series study in Italy. *Environ. Health* **2012**, *11*, 58. [CrossRef]
34. Benmarhnia, T.; Bailey, Z.; Kaiser, D.; Auger, N.; King, N.; Kaufman, J.S. A Difference-in-Differences Approach to Assess the Effect of a Heat Action Plan on Heat-Related Mortality, and Differences in Effectiveness According to Sex, Age, and Socioeconomic Status (Montreal, Quebec). *Environ. Health Perspect.* **2016**, *124*, 1694–1699. [CrossRef]
35. Barrett, J.R. Increased Minimum Mortality Temperature in France: Data Suggest Humans Are Adapting to Climate Change. *Environ. Health Perspect.* **2015**, *123*, A184. [CrossRef]
36. Díaz, J.; Carmona, R.; Mirón, I.J.; Luna, M.Y.; Linares, C. Time trend in the impact of heat waves on daily mortality in Spain for a period of over thirty years (1983–2013). *Environ. Int.* **2018**, *116*, 10–17. [CrossRef] [PubMed]
37. Li, T.; Horton, R.M.; Bader, D.A.; Zhou, M.; Liang, X.; Ban, J.; Sun, Q.; Kinney, P.L. Aging Will Amplify the Heat-related Mortality Risk under a Changing Climate: Projection for the Elderly in Beijing, China. *Sci. Rep.* **2016**, *6*, 28161. [CrossRef] [PubMed]
38. Botzen, W.J.W.; Martinus, M.L.; Bröde, P.; Folkerts, M.A.; Ignjacevic, P.; Estrada, F.; Harmsen, C.N.; Daanen, H.A.M. Economic valuation of climate change-induced mortality: Age dependent cold and heat mortality in the Netherlands. *Clim. Chang.* **2020**, *162*, 545–562. [CrossRef]
39. Navas-Martín, M.Á.; López-Bueno, J.A.; Díaz, J.; Follos, F.; Vellón, J.M.; Mirón, I.J.; Luna, Y.; Sánchez-Martínez, G.; Culqui, D.; Linares, C. Effects of Local Factors on Adaptation to Heat in Spain (1983–2018). *Environ. Res.* **2022**, *209*, 112784. [CrossRef] [PubMed]
40. Morgenstern, H. Ecologic studies in epidemiology: Concepts, principles, and methods. *Annu. Rev. Public Health* **1995**, *16*, 61–81. [CrossRef] [PubMed]
41. Luo, Q.; Li, S.; Guo, Y.; Han, X.; Jaakkola, J.J.K. A systematic review and meta-analysis of the association between daily mean temperature and mortality in China. *Environ. Res.* **2019**, *173*, 281–299. [CrossRef] [PubMed]
42. Aboubakri, O.; Khanjani, N.; Jahani, Y.; Bakhtiari, B. Attributable risk of mortality associated with heat and heat waves: A time-series study in Kerman, Iran during 2005–2017. *J. Biol.* **2019**, *82*, 76–82. [CrossRef] [PubMed]
43. Lo, Y.T.E.; Mitchell, D.M.; Thompson, R.; O'Connell, E.; Gasparrini, A. Estimating heat-related mortality in near real time for national heatwave plans. *Environ. Res. Lett.* **2022**, *17*, 024017. [CrossRef]
44. Honda, Y.; Onozuka, D. Heat-Related Mortality/Morbidity in East Asia. *Extreme Weather Events and Human Health*. 2020, pp. 131–144. Available online: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-23773-8_10 (accessed on 6 April 2022).

45. Masselot, P.; Ouarda, T.B.M.J.; Charron, C.; Campagna, C.; Lavigne, É.; St-Hilaire, A.; Chebana, F.; Valois, P.; Gosselin, P. Heat-related mortality prediction using low-frequency climate oscillation indices: Case studies of the cities of Montréal and Québec, Canada. *Environ. Epidemiol.* **2022**, *6*, e206. [[CrossRef](#)]
46. Åström, D.O.; Veber, T.; Martinsone, Ž.; Kalužnaja, D.; Indermitte, E.; Oudin, A.; Orru, H. Mortality Related to Cold Temperatures in Two Capitals of the Baltics: Tallinn and Riga. *Medicina* **2019**, *55*, 429. [[CrossRef](#)]
47. Péres, W.E.; Ribeiro, A.F.S.; Russo, A.; Nunes, B. The Association between Air Temperature and Mortality in Two Brazilian Health Regions. *Climate* **2020**, *8*, 16. [[CrossRef](#)]
48. Todd, N.; Valleron, A.J. Space-Time Covariation of Mortality with Temperature: A Systematic Study of Deaths in France, 1968–2009. *Environ. Health Perspect* **2015**, *123*, 659–664. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
49. Hajat, S.; Armstrong, B.; Baccini, M.; Biggeri, A.; Bisanti, L.; Russo, A.; Paldy, A.; Menne, B.; Kosatsky, T. Impact of high temperatures on mortality: Is there an added heat wave effect? *Epidemiology* **2006**, *17*, 632–638. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

Disclaimer/Publisher’s Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.



Article

Territory Differences in Adaptation to Heat among Persons Aged 65 Years and Over in Spain (1983–2018)

Miguel Ángel Navas-Martín ^{1,2,*}, José Antonio López-Bueno ¹, María Soledad Ascaso-Sánchez ¹, Fernando Follos ³, José Manuel Vellón ³, Isidro Juan Mirón ⁴, María Yolanda Luna ⁵, Gerardo Sánchez-Martínez ⁶, Julio Díaz ^{1,*} and Cristina Linares ¹

- ¹ National School of Public Health, Carlos III Institute of Health, 28029 Madrid, Spain
² Doctorate Program in Biomedical Sciences and Public Health, National University of Distance Education, 28015 Madrid, Spain
³ Tdot Soluciones Sostenibles, SL. Ferrol, 15401 A Coruña, Spain
⁴ Regional Health Authority of Castile La Mancha, 45500 Torrijos, Spain
⁵ State Meteorological Agency, 28071 Madrid, Spain
⁶ The UNEP DTU Partnership, 2100 Copenhagen, Denmark
* Correspondence: manavas@isciii.es (M.Á.N.-M.); j.diaz@isciii.es (J.D.)

Abstract: Climate change is currently regarded as the greatest global threat to human health, and its health-related consequences take different forms according to age, sex, socioeconomic level, and type of territory. The aim of this study is to ascertain the differences in vulnerability and the heat-adaptation process through the minimum mortality temperature (MMT) among the Spanish population aged ≥ 65 years by territorial classification. A retrospective, longitudinal, ecological time-series study, using provincial data on daily mortality and maximum daily temperature across the period 1983–2018, was performed, differentiating between urban and nonurban populations. The MMTs in the study period were higher for the ≥ 65 -year age group in urban provinces, with a mean value of 29.6 °C (95%CI 29.2–30.0) versus 28.1 °C (95%CI 27.7–28.5) in nonurban provinces. This difference was statistically significant ($p < 0.05$). In terms of adaptation levels, higher average values were obtained for nonurban areas, with values of 0.12 (95%CI -0.13 – 0.37), than for urban areas, with values of 0.09 (95%CI -0.27 – 0.45), though this difference was not statistically significant ($p < 0.05$). These findings may contribute to better planning by making it possible to implement more specific public health prevention plans. Lastly, they highlight the need to conduct studies on heat-adaptation processes, taking into account various differential factors, such as age and territory.

Keywords: adaptation; MMT; age; elderly; rural; nonurban; urban; mortality; health



Citation: Navas-Martín, M.Á.; López-Bueno, J.A.; Ascaso-Sánchez, M.S.; Follos, F.; Vellón, J.M.; Mirón, I.J.; Luna, M.Y.; Sánchez-Martínez, G.; Díaz, J.; Linares, C. Territory Differences in Adaptation to Heat among Persons Aged 65 Years and Over in Spain (1983–2018). *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2023**, *20*, 4168. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054168>

Academic Editors: Bao-Jie He, Linchuan Yang and Junqing Tang

Received: 29 December 2022
Revised: 23 February 2023
Accepted: 23 February 2023
Published: 25 February 2023



Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Climate change continues to wreak havoc in many regions of the world and is now currently regarded as the greatest global threat to human health [1,2]. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) estimates that global temperatures will rise by 1.5 °C above preindustrial levels over the next decade. One of the many effects of climate change is the increase in average temperatures and heatwaves, which are more intense, more frequent, and longer [3,4]. Therefore, human activity has brought about changes in the climate, causing serious harm to nature and persons, especially in the most vulnerable groups [5].

The risk of heat exposure is a global issue, with population exposure to heatwaves increasing by 57% on average between 2010 and 2019 compared to the previous decade. This increase puts vulnerable populations, such as older people, young children, and those with chronic health conditions, at high risk of heat-related morbidity and mortality. Additionally, global warming has been associated with an estimated temperature-related mortality increase in most regions, causing an average of 15.1 additional deaths per million inhabitants per decade. Heat exposure not only has direct health impacts, but it also

undermines people's livelihoods and social determinants of health by reducing labor capacity. In Europe, where there are aging populations, urbanization, and a high prevalence of chronic diseases, the risk of heat-related health problems has increased across all regions, with a relative increase of 9.8% observed in central Europe. Although northern Europe is the most vulnerable region, all areas are affected [6].

The rise in temperatures has led to growing concern about the association between temperature, morbidity, and mortality. High temperatures increase the risk of cardiovascular and respiratory disorders, heat stroke, exacerbation of kidney and neurodegenerative diseases, and even death [7–9], with the risk varying according to age, sex, socioeconomic level, and type of territory. Several studies in different continents have reported greater vulnerability to heat among women and the elderly [10–14], with the elderly being considered the principal susceptible group affected by nonoptimal temperatures and the ensuing conclusion that more attention should be paid to climates with high, or even moderate, temperatures [15].

Several research studies have determined that the impact of nonoptimal temperatures on mortality can be influenced by various demographic characteristics, including age. There is a consistent association between elderly people and increased vulnerability to the risks of heat exposure [16–18]. Individuals over the age of 65 are highly susceptible to temperature-induced fatalities, primarily due to changes in their thermoregulatory system. Specifically, their sweat response and thirst sensation are reduced. Moreover, older adults are typically less physically fit and have more illnesses and disabilities, which further increase their vulnerability to heat-related morbidity and mortality [19].

The factors that make a person vulnerable to heat stress are unique to each individual. When heat waves occur, certain groups of people are more at risk of experiencing negative health outcomes, including mortality and morbidity. This susceptibility is often seen in individuals who have impaired physiological and behavioral responses to heat, which can be attributed to their advanced age [20]. Nonetheless, advanced age is not the only factor that contributes to heat susceptibility in older individuals. Other contributing factors are physiological, socioeconomic, and behavioral issues. Physiological factors include conditions such as low fitness levels, cardiovascular and renal insufficiencies, pre-existing chronic health conditions, psychogeriatric and neurocognitive disorders, and certain medications, among others. Socioeconomic factors include social isolation and financial concerns related to energy costs. Additionally, older housing, the perception that heat does not pose a health risk, and reluctance to change behavior are other contributing factors that increase the risk of heat events [21].

The world's aging population is increasing both in absolute numbers and as a percentage of the total population. By 2050, it is projected that 16% of the global population will be aged 65 or above, with Europe and Northern America having the largest proportion of older persons in 2022. The projected growth rates of populations in different regions will result in a significant shift in the regional distribution of the global population by 2050, with one in every four persons in Europe and Northern America being aged 65 years or over [22].

The European Union is concerned about demographic shifts. Population growth trends are not the same in urban and rural areas, as the average annual growth rate of the rural population is declining in all world regions and is expected to decrease even further to about -2% by the year 2025 in Europe. Rural areas in Southern Europe are particularly affected by aging and depopulation, with a predicted decrease of 18.5% in the rural population from 2015 to 2030 [23].

The problem of the rural–urban gradient becomes more critical with the aging of the population, in particular, southern and Mediterranean countries stand out for having a high proportion of elderly people residing in rural areas. The population over 65 years old exceeds 20% and even a quarter of the total in some regions. Spain and Portugal are among the countries with the highest rural aging rates. The aging population in rural

areas presents challenges, such as an increased need for personal assistance due to chronic pathologies, leading to greater dependency compared to urban areas [24].

The population lives in urban areas, in particular, have significant concentrations of elderly residents and are the dwelling places for 43.2% of the older populace, where the impacts of heat on health are exacerbated by the characteristics of buildings and infrastructures, the effects of heat islands, and air pollution [5,25–28], with these areas, thus being hotter than rural areas [8,29,30]. In an increasingly more urbanized world, the number of people living in settings affected by urban heat islands is expected to increase in the future [29,31]. In a large proportion of towns and cities, health centers, such as hospitals, nursing homes, and social housing, are located in areas that experience the urban heat-island effect, thereby increasing the exposure of vulnerable groups [8,32]. Furthermore, the inequalities between urban and rural populations in terms of socioeconomic status, lifestyle, or access to health care can make for different vulnerabilities to environmental stress [33].

In certain measures, populations that are acclimatized tend to be technically and behaviorally adapted to their local climate. That said, however, heat-related mortality continues to occur because adaptation is not complete, coupled with the fact that there are differences between regions [34] and a lack of information about how quickly the population is adapting to the increase in temperatures caused by climate change [35,36].

A good indicator for measuring a given population's vulnerability and capacity for adaptation to heat is the minimum mortality temperature (MMT). The temperature-mortality relationship is graphically represented by a U-shaped curve, where the minimum coincides with the temperature at which the risk of mortality is lowest, reflecting the optimal and most comfortable temperature for human beings [1]. The MMT is influenced by numerous factors [34], including age group [37] and type of territory [38].

The vulnerability is the risk to which a system is vulnerable to negative consequences of climate change, including climate unpredictability and extremes [39]. Heat vulnerability is determined by both environmental (such as the frequency of heat waves) and individual factors. Factors such as age, pre-existing diseases, the level of hydration, or housing conditions, among others [40]. In contrast, adaptation is the process of adjusting human systems to the effects of the current or predicted climate in order to minimize harm or take advantage of advantageous chances [41]. Through a variety of targeted measures, adaptation primarily tries to moderate the negative consequences of unavoidable climate change [42].

In extreme heat, it is crucial for older adults to engage in adaptive behaviors to prevent the onset of heat-related illnesses. Many older adults spend a significant amount of time at home, which is vital to their well-being, but older homes may not provide adequate thermal comfort. To maintain a comfortable temperature, adaptive measures such as moving to a cooler location, wearing light clothing, increasing fluid intake, taking cool showers or baths, reducing physical activity, or using cooling devices can be helpful. However, the willingness and ability to adopt these behaviors depend on individuals' heat perception and health knowledge. Overall, older adults need to understand the importance of adaptive behavior during heat episodes and make informed decisions about which measures they can adopt to protect themselves from heat stress [21].

There are a number of studies investigating the relationship between mortality and temperature and the risk of vulnerability in the elderly [9,43–45] and vulnerability to heat between rural and urban populations [46,47]. In contrast, there are fewer studies on heat adaptation [48] and fewer in the elderly or between rural and urban populations, and even fewer still that quantify adaptation by age and territory simultaneously.

This study thus sought to use the time trend in the MMT to ascertain differences in the Spanish elderly population's adaptation to heat by type of territory. To this end, a retrospective, longitudinal, ecological time-series study was conducted, using the mortality rates of the population aged ≥ 65 years and maximum daily temperatures from 1983 to 2018.

2. Materials and Methods

To achieve the above objective, we conducted a retrospective, longitudinal, ecological study in Spain across the period 1983–2018. The basis for performing a comparative analysis by territory was the classification proposed by Eurostat in 2015 to define types of areas as urban (i.e., predominantly urban) or nonurban (i.e., corresponding to intermediate and predominantly rural regions) [38,49] (Figure 1).

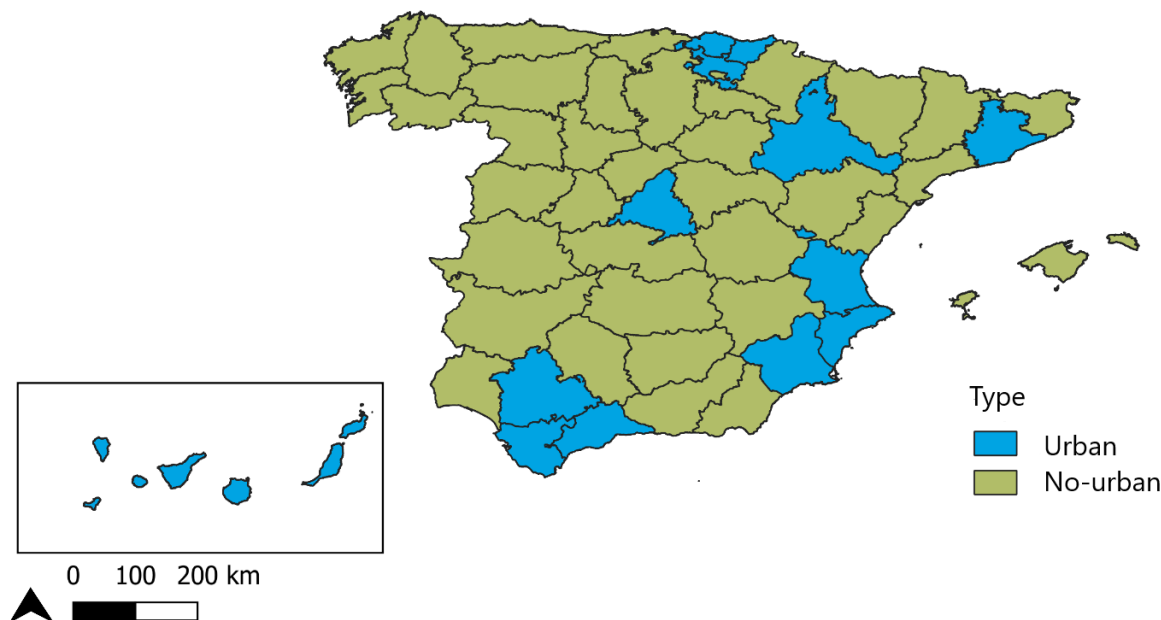


Figure 1. Map of urban and nonurban (intermediate and rural) provinces in Spain, 2015.

We used daily mortality data, coded by all causes of death (ICD 10: A00–R99), covering the ≥ 65 -year age group, aggregated by town. These mortality data corresponded to towns of over 10,000 inhabitants. Daily mortality and population data, furnished by the National Statistics Institute (Instituto Nacional de Estadística (INE)) under a Microdata Access Agreement, were used to calculate the relevant rates per 100,000 population.

For meteorological information on maximum daily temperatures, we used data registered at reference observatories in each province. These data were supplied by the State Meteorological Agency (Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)).

The following were discarded: any record lacking mortality and temperature data, and any annual series in respect of which more than 10% of valid records were missing.

2.1. Calculation of MMT

Applying a previously described deterministic method [10,50,51], MMTs were calculated for each year and province, using daily mortality and maximum daily temperature grouped into intervals of two degrees Celsius. We then fitted a cubic or quadratic regression model of mortality with temperature, selecting the MMT values that were statistically significant ($p < 0.05$). In cases where the MMT was not significant, estimates were made to calculate the remaining MMTs. The calculation of MMTs by estimation is performed by using the average of the maximum daily temperature observed under the 5th percentile of mortality. This is a methodology that has been used in previous studies to complement MMT values not yielded by a cubic or quadratic fit. In any case where MMTs were not obtained by estimation, the MMTs for that year were discarded and deemed to be null.

2.2. Determination of Heat-Adaptation Levels

Based on the annual MMTs, we calculated the line of fit over time for each province. The slope determines the MMT's rate of variation over time in $^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ (MMT Variation). The same was then done with the annual mean of the maximum daily temperature,

obtaining TMAX's rate of variation in °C/decade (TMAX Rise). The adaptation level was obtained as the difference between the respective rates of variation, in °C/decade, for MMT (MMT Variation) and TMAX (TMAX Rise), namely, Adaptation Level = MMT Variation – TMAX Rise.

If the adaptation level is >0, this would indicate that the MMT has risen more rapidly than the TMAX, and could thus be considered a process of adaptation to heat. Once the MMTs had been calculated for each province, the provinces were grouped according to the definition of the territory, namely, urban and nonurban.

2.3. Data Analysis

To ascertain the trend in the MMT across the study period, a linear regression model was fitted for MMT by year, according to the type of territory. To represent the provinces according to the territories that did or did not show adaptation to heat, we drew up a scatter plot of MMT with respect to TMAX, indicating the area of the adaptation zone. Data processing was performed using the IBM SPSS Statistics version 28, R version 4.0.2, STATA BE-Basic Edition version 17, and Excel 2019 (with the Power Query add-in) computer software programs.

3. Results

A total of 92.4% ($n = 1596$) of MMTs were obtained: 71.1% ($n = 1229$) by cubic fit, 12.6% ($n = 218$) by estimation-based fit, and 8.6% ($n = 149$) by quadratic fit, with 7.6% ($n = 132$) classified as null. The MMTs in the study period were higher for the elderly group aged ≥ 65 years in urban provinces (Table 1), with a mean value of 29.6 °C (95%CI 29.2–30.0) versus 28.1 °C (95%CI 27.7–28.5) in nonurban provinces (Table 2). This difference was statistically significant ($p < 0.05$).

Table 1. Relationship of variables, by urban province, between minimum mortality temperature (MMT) in persons aged 65 years or over, showing MMT mean, TMAX mean, trend by decade in TMAX, variations in MMT, and adaptation levels. * $p < 0.05$.

| Province | MMT Mean | TMAX Mean (°C) | TMAX Rise (°C/Decade) | MMT Variation (°C/Decade) | Adaptation Level (MMT Variation-Tax Rise) |
|------------------|----------|----------------|-----------------------|---------------------------|---|
| Arabia | 28.2 | 17.4 | 0.459 | −0.299 | −0.758 |
| Alicante | 30.2 | 23.5 | 0.190 | 0.817 | 0.627 * |
| Barcelona | 26.9 | 20.6 | 0.414 | 0.483 | 0.069 * |
| Cadiz | 28.2 | 21.7 | 0.287 | −0.230 | −0.517 |
| Gipuzkoa | 26.3 | 16.6 | 0.244 | 0.328 | 0.084 |
| Madrid | 29.2 | 20.2 | 0.394 | 0.816 | 0.422 * |
| Malaga | 31.5 | 23.5 | 0.320 | 0.327 | 0.007 |
| Murcia | 30.3 | 22.4 | 0.172 | 1.510 | 1.338 * |
| Palmas, Las | 29.4 | 24.3 | 0.128 | −0.495 | −0.623 |
| S.C. Tenerife | 30.1 | 24.7 | 0.225 | −0.342 | −0.567 |
| Seville | 34.0 | 25.6 | 0.310 | 1.425 | 1.115 * |
| Valencia | 31.0 | 22.9 | 0.313 | 0.359 | 0.046 |
| Bizkaia (Biscay) | 29.1 | 19.7 | 0.062 | 0.210 | 0.148 |
| Zaragoza | 30.0 | 21.3 | 0.472 | 0.377 | −0.095 |
| (Spain) | 29.6 | 21.74 | 0.29 | 0.38 | 0.09 |

The MMT rate of variation (°C/decade) among the elderly population recorded a higher average value in nonurban areas (Table 2), 0.48 °C/decade (95%CI 0.2–0.7), than in urban areas (Table 1), 0.38 °C/decade (95%CI 0.0–0.7), though this difference was not statistically significant. In terms of adaptation levels, a higher average value was obtained for nonurban areas (Table 2) than for urban areas (Table 1), with figures of 0.12 (95%CI −0.13–0.37) versus 0.09 (95%CI −0.27–0.45), respectively. Here again, the difference was not statistically significant.

Table 2. Relationship of variables, by nonurban province, between minimum mortality temperature (MMT) in persons aged 65 years or over, MMT mean, TMAX mean, trend by decade in TMAX, variations in MMT, and adaptation levels. * $p < 0.05$.

| Province | MMT Mean | TMAX Mean (°C) | TMAX Rise (°C/Decade) | MMT Variation (°C/Decade) | Adaptation Level (MMT Variation-Tmax Rise) |
|----------------|----------|----------------|-----------------------|---------------------------|--|
| Albacete | 30.4 | 21 | 0.509 | 0.337 | −0.172 |
| Almería | 31.3 | 23.4 | −0.070 | 0.531 | 0.601 |
| Avila | 23.1 | 17.2 | 0.394 | −0.737 | −1.131 |
| Badajoz | 32.8 | 24 | 0.286 | 0.490 | 0.204 |
| Balearic Isles | 28.6 | 22 | 0.330 | 1.449 | 1.119 * |
| Burgos | 27.4 | 16.8 | 0.372 | 1.611 | 1.239 |
| Cáceres | 29.7 | 22.1 | 0.336 | 0.623 | 0.287 |
| Castellón | 29.9 | 22.5 | 0.370 | 0.757 | 0.387 |
| Ciudad Real | 29.5 | 22 | 0.267 | 0.341 | 0.074 |
| Cordoba | 34.3 | 25.4 | 0.332 | 1.887 | 1.555 * |
| Corunna | 24.7 | 18 | 0.351 | 0.832 | 0.481 |
| Cuenca | 26.1 | 19.6 | 0.617 | −0.245 | −0.862 |
| Girona | 29.5 | 21.1 | 0.656 | 0.980 | 0.324 |
| Granada | 31.7 | 22.6 | 0.416 | 1.018 | 0.602 * |
| Guadalajara | 26.4 | 20.5 | 0.367 | −1.054 | −1.421 |
| Huelva | 30.4 | 24.1 | 0.322 | 0.916 | 0.594 |
| Huesca | 27.8 | 19.8 | 0.489 | 0.442 | −0.047 |
| Jaén | 30.2 | 21.8 | 0.516 | 1.299 | 0.783 * |
| León | 26.4 | 16.9 | 0.243 | 0.516 | 0.273 |
| Lleida | 30.3 | 21.7 | 0.264 | 0.499 | 0.235 |
| Rioja, La | 27.5 | 19.8 | 0.416 | 0.091 | −0.325 |
| Lugo | 27.9 | 17.8 | 0.189 | 1.060 | 0.871 |
| Navarre | 27.2 | 18.6 | 0.442 | −0.344 | −0.786 |
| Ourense | 31.4 | 21.6 | 0.457 | 0.973 | 0.516 |
| Asturias | 25.3 | 17.5 | 0.184 | −0.047 | −0.231 |
| Palencia | 24.0 | 16.8 | 0.286 | 1.953 | 1.667 |
| Pontevedra | 26.4 | 19.1 | 0.099 | 0.455 | 0.356 |
| Salamanca | 27.4 | 19 | 0.613 | −0.442 | −1.055 |
| Cantabria | 26.6 | 18.7 | 0.277 | −0.175 | −0.452 |
| Segovia | 23.8 | 18.1 | 0.298 | −0.450 | −0.748 |
| Soria | 24.3 | 17.3 | 0.280 | 0.035 | −0.245 |
| Tarragona | 28.8 | 21.3 | 0.380 | 0.484 | 0.104 |
| Teruel | 23.8 | 19.9 | 0.420 | −0.122 * | −0.542 |
| Toledo | 30.2 | 22.4 | 0.412 | 1.197 | 0.785 * |
| Valladolid | 26.5 | 17.8 | 0.186 | 0.225 * | 0.039 |
| Zamora | 25.9 | 19.2 | 0.491 | −0.194 | −0.685 |
| (Spain) | 28 | 20.21 | 0.36 | 0.48 | 0.12 |

With respect to the MMT time trend for the population aged ≥ 65 years by territory (Figure 2), this was higher in nonurban than urban areas, with values of 0.40 (°C/decade) versus 0.37 (°C/decade), respectively.

Lastly, according to the scatter plot of the variations in MMT with respect to those in TMAX (Figure 3), both urban (9 out of 14) and nonurban provinces (22 out of 36) were more represented in the adaptation zone, though the territorial difference was only 3.2 percentage points higher in urban than in nonurban areas.

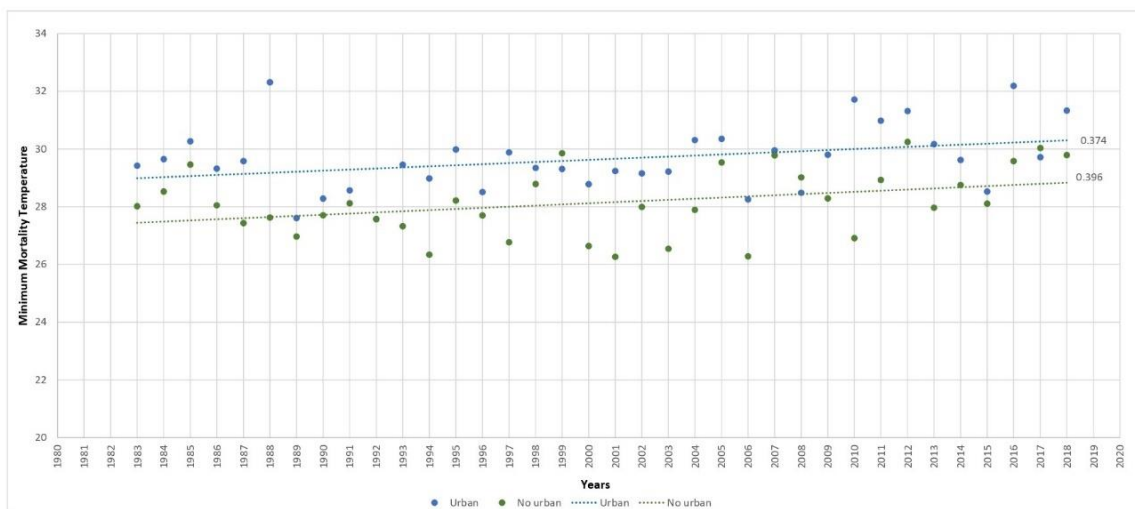


Figure 2. Trend in minimum mortality temperature (MMT) by year and type of territory in Spain (1983–2018).

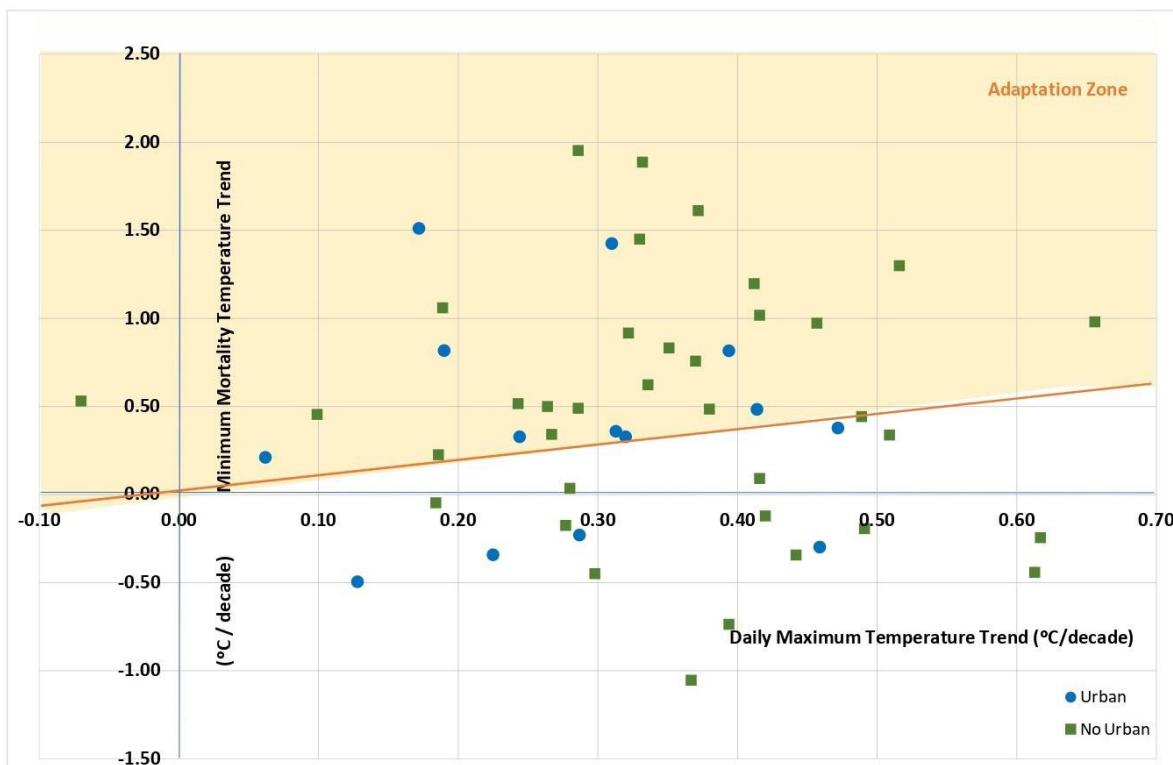


Figure 3. Scatter plot of the minimum mortality temperature with respect to variations in maximum daily temperatures, by territory in Spain (1983–2018). The shaded area indicates provinces showing adaptation to heat.

4. Discussion

While vulnerability to climate change differs according to population differences, giving rise to different adaptive responses among the respective social and demographic groups [52], there are few studies that currently analyze the process of population adaptation to the impacts of climate change [53]. This study made it possible to ascertain the level of adaptation by type of territory by analyzing the MMT trend in the population aged ≥ 65 years across the period 1983–2018.

The results show that the average MMT value was higher in urban (29.6 °C) than nonurban provinces (28 °C). Hence, if the MMT were taken as an indicator of vulnerability to heat, this would mean that the elderly population aged ≥ 65 years was more vulnerable to heat in nonurban than in urban provinces. In this connection, a study in China on urban–rural inequalities reported that persons aged ≥ 65 years showed a higher relative risk for heat in rural than in urban areas [54].

Although previous studies undertaken in Spain show the general population of nonurban regions to be less vulnerable to heat [47], different factors such as socioeconomic level and health-service access, among others, generate urban–rural inequalities in the population, and these in turn may then generate different patterns of vulnerability to the impact of heat [54]. The time trend in the rate of variation in the MMT for the home provinces of the populations aged ≥ 65 years was upward for the country as a whole, and was higher than the variation in the increase in the maximum daily temperature. Adaptation levels were thus positive and showed adaptation to heat. Even so, the level was slightly higher in nonurban areas. There were no statistically significant differences ($p < 0.05$) by territory, either across time or at a provincial level. In general, adaptation to heat is occurring among the elderly population, in urban and nonurban areas alike, since the upward shifts in the value of the MMT have been shown to displace the entire temperature-mortality curve [51,55].

While the heat-adaptation level was higher in rural (0.12) than in urban areas (0.09), the margin was minimal, with just 0.03 points of difference (°C/decade) and, in addition, was not statistically significant. These differences are related to the way in which temperature is related to mortality can vary by region [56], and the general population's capacity for acclimatization and adaptation differs, as between regions [57], in the case of the elderly, the elderly in Spanish provinces showed similar levels of adaptation.

While little is known about the patterns [58] and pace of adaptation [36], it is nevertheless clear that when the rate of variation of the MMT is higher than that of the maximum daily temperature, the population shows adaptation [38]. Adaptation can be attributed to a number of factors, ranging from physiological adaptation [19] to other factors of a social, cultural, health, economic, and/or infrastructural nature [51]. There are many determinants related to heat adaptation, including access to financial resources, counseling, electricity, age, occupation, and the availability of alert systems, among others [59].

Socioeconomic, cultural, general, and environmental conditions influence the social determinants associated with the mortality of elderly persons. Housing, stress, financial situation as dictated by income level, education, ethnicity, and/or territory (rural–urban), among other factors, determine social inequalities in health, which in turn play a key role in mortality [60]. It is therefore necessary to ascertain which factors specific to the elderly may affect their adaptation to heat. More in-depth studies are called for in order to be able to identify some of these factors, which include housing characteristics and health-service access, among others.

5. Limitations

This study has a number of limitations, the first of which is its very nature, in that being an ecological study, the results cannot be extrapolated at an individual level [61].

Secondly, there is the limitation of the concept of rurality itself, since there is no universally accepted definition of the term [47]. It was for this reason that we opted for a classification that would allow for grouping and making comparisons by reference to territory. Similarly, the data had to be aggregated in order to be able to perform the analysis, bearing in mind that population groups are not homogeneous and that subpopulational differences may therefore exist.

Lastly, there is the limitation of the methodology for calculating MMTs, since there are different approaches [62], and this, in turn, limits comparisons with other studies [34]. Added to the fact that there is no single universal methodology, there are the geographical, climatic, and socioeconomic characteristics of each region that influence and determine the

heterogeneity of results [63]. That said, however, the study uses the same methodology as previous studies undertaken in the same study setting.

There is also a degree of geographical disparity [58,64], which renders comparison between regions difficult, in view of the differences caused by geographical, climatic, and socioeconomic factors [63]. The lack of sufficient evidence to indicate how these differences may affect the factors that influence adaptation means that more specific, individualized studies should be undertaken in order to enable such factors to be identified in greater detail [38,58].

Despite these limitations, this study applied the same methodology for the calculation of every single province. Furthermore, this study will allow for comparison, not only with other studies conducted in the past, but also with future studies having the same geographical scope.

6. Conclusions

The MMTs for the population aged ≥ 65 years were higher in urban than in nonurban provinces. Nevertheless, the trend in the rate of variation and level of adaptation was higher in nonurban areas. It can therefore be concluded that nonurban areas showed better adaptation than urban areas, though these differences were not statistically significant. These findings may serve to understand the differences in adaptation to heat, according to geographical area, among the population ≥ 65 years. Lastly, this study highlights the need, both to conduct observational epidemiology studies for the purpose of planning personalized public health prevention actions, and to take into account the different differential factors, such as age and territory, which intervene in heat-adaptation processes.

Author Contributions: Conceptualization, M.Á.N.-M., C.L. and J.D.; Data curation, M.Á.N.-M., J.A.L.-B., M.S.A.-S., F.F., J.M.V., I.J.M. and M.Y.L.; Methodology, M.Á.N.-M., G.S.-M., C.L. and J.D.; Writing—original draft, M.Á.N.-M.; Writing—review and editing, M.Á.N.-M., J.A.L.-B., M.S.A.-S., F.F., J.M.V., I.J.M., M.Y.L., G.S.-M., C.L. and J.D. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by the Carlos III Institute of Health, grants for the ENPY 107/18, ENPY 376/18, and ENPY 470/19 projects under dossier no. ENPY 470/19, and support received from the Biodiversity Foundation, Ministry for Ecological Transition and Demographic Challenge.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Not applicable.

Acknowledgments: The authors would like to express their gratitude to the Carlos III Institute of Health and the Biodiversity Foundation, Ministry for Ecological Transition and Demographic Challenge.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Yin, Q.; Wang, J.; Ren, Z.; Li, J.; Guo, Y. Mapping the Increased Minimum Mortality Temperatures in the Context of Global Climate Change. *Nat. Commun.* **2019**, *10*, 4640. [[CrossRef](#)]
2. Iyakaremye, V.; Zeng, G.; Yang, X.; Zhang, G.; Ullah, I.; Gahigi, A.; Vuguziga, F.; Asfaw, T.G.; Ayugi, B. Increased High-Temperature Extremes and Associated Population Exposure in Africa by the Mid-21st Century. *Sci. Total Environ.* **2021**, *790*, 148162. [[CrossRef](#)]
3. WHO Regional Office for Europe. *Heat and Health in the WHO European Region: Updated Evidence for Effective Prevention*; Sanchez Martinez, G., De'Donato, F., Kendrovski, V., Eds.; WHO Regional Office for Europe: Copenhagen, Denmark, 2021.
4. Meehl, G.A.; Tebaldi, C. More Intense, More Frequent, and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century. *Science* **2004**, *305*, 994–997. [[CrossRef](#)]
5. IPCC. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*; IPCC: Geneva, Switzerland, 2022.
6. Van Daalen, K.R.; Romanello, M.; Rocklöv, J.; Semenza, J.C.; Tonne, C.; Markandya, A.; Dasandi, N.; Jankin, S.; Achebak, H.; Ballester, J.; et al. The 2022 Europe Report of the Lancet Countdown on Health and Climate Change: Towards a Climate Resilient Future. *Lancet Public Health* **2022**, *7*, e942–e965. [[CrossRef](#)]
7. Bongioanni, P.; Del Carratore, R.; Corbianco, S.; Diana, A.; Cavallini, G.; Masciandaro, S.M.; Dini, M.; Buizza, R. Climate Change and Neurodegenerative Diseases. *Environ. Res.* **2021**, *201*, 111511. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

8. Clemens, K.K.; Ouédraogo, A.M.; Li, L.; Voogt, J.A.; Gilliland, J.; Krayenhoff, E.S.; Leroyer, S.; Shariff, S.Z. Evaluating the Association between Extreme Heat and Mortality in Urban Southwestern Ontario Using Different Temperature Data Sources. *Sci. Rep.* **2021**, *11*, 8153. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
9. Oudin Åström, D.; Bertil, F.; Joacim, R. Heat Wave Impact on Morbidity and Mortality in the Elderly Population: A Review of Recent Studies. *Maturitas* **2011**, *69*, 99–105. [[CrossRef](#)]
10. Navas-Martín, M.Á.; López-Bueno, J.A.; Ascaso-Sánchez, M.S.; Sarmiento-Suárez, R.; Follos, F.; Vellón, J.M.; Mirón, I.J.; Luna, M.Y.; Sánchez-Martínez, G.; Culqui, D.; et al. Gender Differences in Adaptation to Heat in Spain (1983–2018). *Environ. Res.* **2022**, *215*, 113986. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
11. Yu, W.; Vaneckova, P.; Mengersen, K.; Pan, X.; Tong, S. Is the Association between Temperature and Mortality Modified by Age, Gender and Socio-Economic Status? *Sci. Total Environ.* **2010**, *408*, 3513–3518. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
12. van Steen, Y.; Ntarladima, A.M.; Grobbee, R.; Karssenbergh, D.; Vaartjes, I. Sex Differences in Mortality after Heat Waves: Are Elderly Women at Higher Risk? *Int. Arch. Occup. Environ. Health* **2019**, *92*, 37–48. [[CrossRef](#)]
13. Meade, R.D.; Akerman, A.P.; Notley, S.R.; McGinn, R.; Poirier, P.; Gosselin, P.; Kenny, G.P. Physiological Factors Characterizing Heat-Vulnerable Older Adults: A Narrative Review. *Environ. Int.* **2020**, *144*, 105909. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
14. Yadav, S.S.; Lal, R. Vulnerability of Women to Climate Change in Arid and Semi-Arid Regions: The Case of India and South Asia. *J. Arid Environ.* **2018**, *149*, 4–17. [[CrossRef](#)]
15. Huang, Y.; Yang, J.; Chen, J.; Shi, H.; Lu, X. Association between Ambient Temperature and Age-Specific Mortality from the Elderly: Epidemiological Evidence from the Chinese Prefecture with Most Serious Aging. *Environ. Res.* **2022**, *211*, 113103. [[CrossRef](#)]
16. Petkova, E.P.; Dimitrova, L.K.; Sera, F.; Gasparrini, A. Mortality Attributable to Heat and Cold among the Elderly in Sofia, Bulgaria. *Int. J. Biometeorol.* **2021**, *65*, 865–872. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
17. Lu, P.; Zhao, Q.; Xia, G.; Huber, V.; Peña Ortiz, C.; Gallego Puyol, D.; Son, J.-Y.; Coco Liu, J.; Bell, M.L. Temperature-Related Mortality: A Systematic Review and Investigation of Effect Modifiers. *Environ. Res. Lett.* **2019**, *14*, 073004. [[CrossRef](#)]
18. Benmarhnia, T.; Deguen, S.; Kaufman, J.S.; Smargiassi, A. Review Article: Vulnerability to Heat-Related Mortality: A Systematic Review, Meta-Analysis, and Meta-Regression Analysis. *Epidemiology* **2015**, *26*, 781–793. [[CrossRef](#)]
19. Folkerts, M.A.; Bröde, P.; Botzen, W.J.W.; Martinius, M.L.; Gerrett, N.; Harmsen, C.N.; Daanen, H.A.M. Long Term Adaptation to Heat Stress: Shifts in the Minimum Mortality Temperature in the Netherlands. *Front. Physiol.* **2020**, *11*, 225. [[CrossRef](#)]
20. Schifano, P.; Cappai, G.; de Sario, M.; Michelozzi, P.; Marino, C.; Bargagli, A.M.; Perucci, C.A. Susceptibility to Heat Wave-Related Mortality: A Follow-up Study of a Cohort of Elderly in Rome. *Environ. Health* **2009**, *8*, 50. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
21. Hansen, A.; Bi, P.; Nitschke, M.; Pisaniello, D.; Newbury, J.; Kitson, A. Older Persons and Heat-Susceptibility: The Role of Health Promotion in a Changing Climate. *Health Promot. J. Aust.* **2011**, *22*, 17–20. [[CrossRef](#)]
22. United Nations Department of Economic and Social Affairs. *World Population Prospects 2022: Summary of Results*; United Nations Department of Economic and Social Affairs: New York, NY, USA, 2022.
23. Montalvo, J.; Ruiz-Labrador, E.; Montoya-Bernabéu, P.; Acosta-Gallo, B. Rural–Urban Gradients and Human Population Dynamics. *Sustainability* **2019**, *11*, 3107. [[CrossRef](#)]
24. Camarero, L.; Oliva, J. Thinking in Rural Gap: Mobility and Social Inequalities. *Palgrave Commun.* **2019**, *5*, 95. [[CrossRef](#)]
25. Estrada, F.; Botzen, W.J.W.; Tol, R.S.J. A Global Economic Assessment of City Policies to Reduce Climate Change Impacts. *Nat. Clim. Chang.* **2017**, *7*, 403–406. [[CrossRef](#)]
26. Rohat, G.; Flacke, J.; Dosio, A.; Pedde, S.; Dao, H.; van Maarseveen, M. Influence of Changes in Socioeconomic and Climatic Conditions on Future Heat-Related Health Challenges in Europe. *Glob. Planet Chang.* **2019**, *172*, 45–59. [[CrossRef](#)]
27. Smid, M.; Russo, S.; Costa, A.C.; Granell, C.; Pebesma, E. Ranking European Capitals by Exposure to Heat Waves and Cold Waves. *Urb. Clim.* **2019**, *27*, 388–402. [[CrossRef](#)]
28. Marston, H.R.; van Hoof, J. “Who Doesn’t Think about Technology When Designing Urban Environments for Older People?” A Case Study Approach to a Proposed Extension of the WHO’s Age-Friendly Cities Model. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2019**, *16*, 3525. [[CrossRef](#)]
29. Oke, T.R. The Energetic Basis of the Urban Heat Island. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **1982**, *108*, 1–24. [[CrossRef](#)]
30. Song, B.-G.; Park, K.-H.; Kim, G.-A.; Kim, S.-H.; Park, G.-U.; Mun, H.-S. Analysis of Relationship between the Spatial Characteristics of the Elderly Population Distribution and Heat Wave Based on GIS—Focused on Changwon City. *J. Korean Assoc. Geogr. Inf. Stud.* **2020**, *23*, 68–84. [[CrossRef](#)]
31. UN-Habitat. *State of the World’s Cities 2010/2011: Bridging the Urban Divide*; Earthscan: London, UK, 2010.
32. Kazmierczak, A.; Bittner, S.; Breil, M.; Coninx, I.; Johnson, K.; Kleinenkuhnen, L.; Kochova, T.; Lauwaet, D.; Nielsen, H.O.; Smith, H.; et al. *Urban Adaptation in Europe: How Cities and Towns Respond to Climate Change*; European Environment Agency (EEA): Copenhagen, Denmark, 2020. [[CrossRef](#)]
33. Chen, K.; Zhou, L.; Chen, X.; Ma, Z.; Liu, Y.; Huang, L.; Bi, J.; Kinney, P.L. Urbanization Level and Vulnerability to Heat-Related Mortality in Jiangsu Province, China. *Environ. Health Perspect.* **2016**, *124*, 1863–1869. [[CrossRef](#)]
34. Krummenauer, L.; Prah, B.F.; Costa, L.; Holsten, A.; Walther, C.; Kropp, J.P. Global Drivers of Minimum Mortality Temperatures in Cities. *Sci. Total Environ.* **2019**, *695*, 133560. [[CrossRef](#)]

35. Evangelopoulos, D.; Analitis, A.; Giannakopoulos, C.; Katsouyanni, K. Does Climatic Zone of Birth Modify the Temperature-Mortality Association of London Inhabitants during the Warm Season? A Time-Series Analysis for 2004–2013. *Environ. Res.* **2021**, *193*, 110357. [[CrossRef](#)]
36. Honda, Y.; Onozuka, D. Heat-Related Mortality/Morbidity in East Asia. In *Extreme Weather Events and Human Health*; Springer: Cham, Switzerland, 2020; pp. 131–144. [[CrossRef](#)]
37. Díaz, J.; Jordán, A.; García, R.; López, C.; Alberdi, J.C.; Hernández, E.; Otero, A. Heat Waves in Madrid 1986–1997: Effects on the Health of the Elderly. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* **2002**, *75*, 163–170. [[CrossRef](#)]
38. Navas-Martín, M.Á.; López-Bueno, J.A.; Díaz, J.; Follos, F.; Vellón, J.M.; Mirón, I.J.; Luna, Y.; Sánchez-Martínez, G.; Culqui, D.; Linares, C. Effects of Local Factors on Adaptation to Heat in Spain (1983–2018). *Environ. Res.* **2022**, *209*, 112784. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
39. Sharma, J.; Ravindranath, N.H. Applying IPCC 2014 Framework for Hazard-Specific Vulnerability Assessment under Climate Change. *Environ. Res. Commun.* **2019**, *1*, 051004. [[CrossRef](#)]
40. Koppe, C.; Kovats, S.; Jendritzky, G.; Menne, B.; Baumüller, J.; Bitan, A.; Díaz Jiménez, J.; Ebi, K.L.; Havenith, G.; Santiago, L.; et al. *Health and Global Environmental Change Heat-Waves: Risks and Responses*; WHO: Geneva, Switzerland, 2004.
41. IPCC. Annex I: Glossary. In *Global Warming of 1.5 °C*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2022; pp. 541–562. [[CrossRef](#)]
42. Fussler, H.M.; Klein, R.J.T. Climate Change Vulnerability Assessments: An Evolution of Conceptual Thinking. *Clim. Chang.* **2006**, *75*, 301–329. [[CrossRef](#)]
43. Bunker, A.; Wildenhain, J.; Vandenberg, A.; Henschke, N.; Rocklöv, J.; Hajat, S.; Sauerborn, R. Effects of Air Temperature on Climate-Sensitive Mortality and Morbidity Outcomes in the Elderly; a Systematic Review and Meta-Analysis of Epidemiological Evidence. *EBioMedicine* **2016**, *6*, 258–268. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
44. Park, C.E.; Jeong, S.; Harrington, L.J.; Lee, M.I.; Zheng, C. Population Ageing Determines Changes in Heat Vulnerability to Future Warming. *Environ. Res. Lett.* **2020**, *15*, 114043. [[CrossRef](#)]
45. Varquez, A.C.G.; Darmanto, N.S.; Honda, Y.; Ihara, T.; Kanda, M. Future Increase in Elderly Heat-Related Mortality of a Rapidly Growing Asian Megacity. *Sci. Rep.* **2020**, *10*, 9304. [[CrossRef](#)]
46. López-Bueno, J.A.; Navas-Martín, M.A.; Díaz, J.; Mirón, I.J.; Luna, M.Y.; Sánchez-Martínez, G.; Culqui, D.; Linares, C. Analysis of Vulnerability to Heat in Rural and Urban Areas in Spain: What Factors Explain Heat’s Geographic Behavior? *Environ. Res.* **2022**, *207*, 112213. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
47. López-Bueno, J.A.; Navas-Martín, M.A.; Linares, C.; Mirón, I.J.; Luna, M.Y.; Sánchez-Martínez, G.; Culqui, D.; Díaz, J. Analysis of the Impact of Heat Waves on Daily Mortality in Urban and Rural Areas in Madrid. *Environ. Res.* **2021**, *195*, 110892. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
48. Navas-Martín, M.Á.; López-Bueno, J.A.; Ascaso-Sánchez, M.S.; Follos, F.; Vellón, J.M.; Mirón, I.J.; Luna, M.Y.; Sánchez-Martínez, G.; Linares, C.; Díaz, J. Heat Adaptation among the Elderly in Spain (1983–2018). *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2023**, *20*, 1314. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
49. Eurostat. Regional Yearbook. 2015. Available online: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistical-atlas/gis/viewer/?config=RYB-2015.json&mid=2,117,CNTOVL&o=1,1,0.7&ch=11,27,113,114¢er=40.52285,0.40096,4&lcis=117&i=117,43.10,-8.35&> (accessed on 8 April 2021).
50. Follos, F.; Linares, C.; López-Bueno, J.A.; Navas, M.A.; Culqui, D.; Vellón, J.M.; Luna, M.Y.; Sánchez-Martínez, G.; Díaz, J. Evolution of the Minimum Mortality Temperature (1983–2018): Is Spain Adapting to Heat? *Sci. Total Environ.* **2021**, *784*, 147233. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
51. Follos, F.; Linares, C.; Vellón, J.M.; López-Bueno, J.A.; Luna, M.Y.; Sánchez-Martínez, G.; Díaz, J. The Evolution of Minimum Mortality Temperatures as an Indicator of Heat Adaptation: The Cases of Madrid and Seville (Spain). *Sci. Total Environ.* **2020**, *747*, 141259. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
52. Jonsson, A.C.; Lundgren, L. Vulnerability and Adaptation to Heat in Cities: Perspectives and Perceptions of Local Adaptation Decision-Makers in Sweden. *Local Environ.* **2015**, *20*, 442–458. [[CrossRef](#)]
53. Turek-Hankins, L.L.; Coughlan de Perez, E.; Scarpa, G.; Ruiz-Diaz, R.; Schwerdtle, P.N.; Joe, E.T.; Galappaththi, E.K.; French, E.M.; Austin, S.E.; Singh, C.; et al. Climate Change Adaptation to Extreme Heat: A Global Systematic Review of Implemented Action. *Oxf. Open Clim. Chang.* **2021**, *1*, kgab005. [[CrossRef](#)]
54. Hu, K.; Guo, Y.; Hochrainer-Stigler, S.; Liu, W.; See, L.; Yang, X.; Zhong, J.; Fei, F.; Chen, F.; Zhang, Y.; et al. Evidence for Urban–Rural Disparity in Temperature–Mortality Relationships in Zhejiang Province, China. *Environ. Health Perspect.* **2019**, *127*, 037001. [[CrossRef](#)]
55. Krummenauer, L.; Costa, L.; Prah, B.F.; Kropp, J.P. Future Heat Adaptation and Exposure among Urban Populations and Why a Prospering Economy Alone Won’t Save Us. *Sci. Rep.* **2021**, *11*, 20309. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
56. Demoury, C.; Aerts, R.; Vandeninden, B.; Van Schaeybroeck, B.; De Clercq, E.M. Impact of Short-Term Exposure to Extreme Temperatures on Mortality: A Multi-City Study in Belgium. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2022**, *19*, 3763. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
57. Cheng, J.; Xu, Z.; Bambrick, H.; Su, H.; Tong, S.; Hu, W. Impacts of Heat, Cold, and Temperature Variability on Mortality in Australia, 2000–2009. *Sci. Total Environ.* **2019**, *651*, 2558–2565. [[CrossRef](#)]
58. Barcelo, A.R.; Fecht, D.; Pirani, M.; Piel, F.B.; Nardocci, A.C.; Vineis, P. The Effects of Temperature on Mortality: Trends Over 19-Years in São Paulo, Brazil. *SSRN Electron. J.* **2022**. [[CrossRef](#)]

59. Bakhsh, K.; Rauf, S.; Zulfiqar, F. Adaptation Strategies for Minimizing Heat Wave Induced Morbidity and Its Determinants. *Sustain. Cities Soc.* **2018**, *41*, 95–103. [[CrossRef](#)]
60. Silva, V.d.L.; Cesse, E.Â.P.; Albuquerque, M.d.F.P.M.d. Social Determinants of Death among the Elderly: A Systematic Literature Review. *Rev. Bras. Epidemiol.* **2014**, *17*, 178–193. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
61. Morgenstern, H. Ecologic Studies in Epidemiology: Concepts, Principles, and Methods. *Annu. Rev. Public Health* **1995**, *16*, 61–81. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
62. Madrigano, J.; McCormick, S.; Kinney, P.L. The Two Ways of Assessing Heat-Related Mortality and Vulnerability. *Am. J. Public Health* **2015**, *105*, 2212. [[CrossRef](#)]
63. Pyrgou, A.; Santamouris, M. Probability Risk of Heat- and Cold-Related Mortality to Temperature, Gender, and Age Using GAM Regression Analysis. *Climate* **2020**, *8*, 40. [[CrossRef](#)]
64. Oudin Åström, D.; Ebi, K.L.; Vicedo-Cabrera, A.M.; Gasparri, A. Investigating Changes in Mortality Attributable to Heat and Cold in Stockholm, Sweden. *Int. J. Biometeorol.* **2018**, *62*, 1777–1780. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

Disclaimer/Publisher’s Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.