

IMPACTO DE LA TEMPERATURA Y LAS OLAS DE CALOR EN LA MORTALIDAD SOBRE EUROPA BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Patricia TARÍN-CARRASCO¹, Laura PALACIOS-PEÑA¹, Juan Pedro MONTÁVEZ¹, Pedro JIMÉNEZ-GUERRERO¹

¹Física de la Tierra, Departamento de Física, Universidad de Murcia

patricia.tarin@um.es, laura.palacios1@um.es, montavez@um.es,

pedro.jimenezguerrero@um.es

RESUMEN

El cambio climático traerá incrementos en temperaturas y eventos extremos (por ejemplo, las olas de calor), lo que afectará a la salud humana. Las olas de calor tienen un gran impacto en la sociedad, tanto desde el punto de vista de la salud como desde el punto de vista económico, pues provocará un aumento de los ingresos hospitalarios y la mortalidad. Durante las últimas décadas, Europa ha sufrido varias olas de calor (por ejemplo, 2003 en Europa Central y 2010 en Rusia). Este estudio trata de evaluar los impactos de la temperatura presente (1991-2010) y futura (2031-2050, RCP8.5) en la mortalidad. Los datos de temperatura procederán de los proyectos REPAIR y ACEX, y se utilizarán con el fin de comprobar los posibles cambios en la mortalidad asociados a temperatura y olas de calor. Las diferencias entre las dos simulaciones proporcionan los incrementos asociados a las olas de calor futuras. Los resultados muestran claramente un aumento de la mortalidad asociada con la temperatura, especialmente en los países nórdicos (en términos relativos).

Palabras clave: temperatura, olas de calor, mortalidad, salud humana.

ABSTRACT

Climate change will bring increases in temperatures and extreme events (e.g. heatwaves), which impacts human health. Heatwaves have a high impact on society, both from a health and an economical perspective, leading to increases on heat stroke hospital admission and mortality. For this reason, heatwaves have to be taken into account for dwellers welfare. During the last decades, Europe have suffered several heatwaves (e.g. 2003 in central Europe and 2010 in Russia), extending during several days and causing many deaths. This study tries to assess the impacts of present (1991-2010) and future (2031-2050, RCP8.5) temperature on mortality. Model data from the REPAIR and ACEX projects is used in order to check the possible changes in mortality between present and future scenarios of climate change associated to heatwaves. The differences between these two runs provides the changes in future heatwaves. Simulations shown an increase in the mortality associated to temperature, especially in northern countries in relative terms.

Key words: temperature, heatwaves, mortality, human health.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es una de las mayores amenazas para la salud de los habitantes de todo el planeta por numerosas causas; una de ellas es el incremento de temperatura y especialmente las olas de calor. Aunque durante las últimas décadas se tiene constancia de la ocurrencia de olas de calor, ninguna ha causado tantos impactos en salud humana como la ocurrida en Europa en 2003 (Mitchell et al., 2016). A partir de entonces se han desarrollado planes de respuesta de emergencia por parte de los gobiernos para evitar los daños ocasionados por olas de calor. El reciente informe de la OMS y el Programa de Investigación de Cambio Global de Estados Unidos de 2016 sobre Salud Humana enfatizaron la importancia de tomar medidas frente a las olas de calor (Liss et al., 2017).

Cuantificar el número de casos de morbilidad y mortalidad ocasionados por la temperatura es difícil, pero cada vez está más clara la relación entre el aumento de temperaturas y el número de muertes. La tasa de mortalidad asociada a la temperatura varía de una ciudad a otra: el umbral de temperatura es mayor en las ciudades del mediterráneo que en las del norte del continente (Baccini et al., 2008). Las olas de calor amenazan la salud, especialmente en grupos de población específicos (aquellos que son menos capaces de adaptarse a los extremos térmicos). Por este motivo, la población más vulnerable son los adultos mayores de 65 años debido a la menor eficiencia de sus mecanismos de termorregulación (Liss et al., 2017), personas con presencia de enfermedades crónicas (Basu y Ostro, 2008; Schifano et al., 2009) y niños menores de un año. A modo de ejemplo, la mortalidad causada por la ola de calor del año 2003 afectó principalmente a la población anciana que residía en áreas urbanas (Basu y Ostro, 2008).

Para la protección de la población se necesita comprender el efecto de las condiciones climáticas en la salud (Baccini et al., 2008). Anderson et al. (2011) indican que variables como la duración de las olas de calor, la intensidad de las mismas y el momento en el que se da influyen en los impactos en la salud de las olas de calor.

La mortalidad relacionada con el aumento de temperaturas es mayor en las zonas urbanas, áreas donde hay una mayor densidad de población, por lo tanto, hay mayor población expuesta (Tan et al., 2004). En el futuro, con la acción del cambio climático, se espera un aumento de la mortalidad por olas de calor y otros fenómenos meteorológicos extremos, esto se debe, al incremento de la población, un aumento de la población de ancianos en Europa, particularmente en las ciudades más grandes. Además, se espera un aumento de las olas de calor, de su periodo e intensidad (Basu y Ostro, 2008; Hajat et al., 2014). Por lo tanto, es importante prever estos periodos de alta intensidad del calor y evitar los impactos en la población europea.

En este estudio se intenta evaluar los posibles cambios en la mortalidad asociada a la temperatura y las olas de calor entre el presente y el escenario futuro RCP8.5. Las simulaciones utilizadas en este trabajo abarcan los periodos 1991-2010, como un período de referencia presente, y 2031-2050 para el escenario RCP8.5. Las diferencias entre estos dos escenarios proporcionarán los cambios en las olas de calor futuras y sus impactos en la mortalidad. No se tendrá en cuenta la variación en la densidad de la población o el envejecimiento de ésta; tampoco se valorará el cambio en la concentración de agentes forzantes de vida corta (aerosoles, ozono troposférico...),

variables que se podrían tener en cuenta para el estudio, pero no se tienen con el fin de aislar los efectos del cambio climático sobre las olas de calor.

2. MÉTODOS

2.1 Datos climáticos

La información de temperatura procede de simulaciones de los proyectos ACEX y REPAIR, obtenidos con el modelo Weather Research Forecast acoplado a química atmosférica (WRF-Chem) versión 3.6.1 (<http://www.wrf-model.org>). Para los escenarios presente (1991-2010) y futuro (2031-2050, escenario RCP8.5), el modelo WRF-Chem está forzado por el modelo global CMIP5-experiment r1i1p1 MPI-ESM-LR historical run (Giorgetta et al. 2012a, Giorgetta et al. 2012b). El dominio de simulación es el europeo descrito en Euro-CORDEX (<http://www.euro-cordex.net>) (Jacob et al. 2014). La resolución espacial, tanto latitudinal como longitudinal, es de 0.44° y la resolución temporal de los datos es horaria. Un mayor detalle de los datos empleados puede encontrarse en Jerez et al. (2018).

2.2 Caracterización de los efectos de la temperatura

Para determinar los efectos de la relación de mortalidad con la temperatura se ha utilizado la metodología descrita por Hajat et al. (2014). Dichos autores identificaron un valor bien definido de la temperatura (el umbral de temperatura) por encima del cual el riesgo de muerte aumentó de forma lineal con la temperatura máxima, pero sin un mayor riesgo de muerte por debajo del mencionado umbral. Por lo tanto, para cuantificar los efectos del calor, se asumió un modelo de umbral lineal. Basu (2009) asume que los efectos de calor se producen principalmente de forma inmediata, y así en este trabajo los efectos de la temperatura en la mortalidad se modelizaron teniendo en cuenta las temperaturas del mismo día y las temperaturas del día anterior, tal y como hacen también Hajat et al. (2014). Basándonos en este trabajo, el umbral de temperatura se identificó como el percentil 93 de la distribución de temperatura máxima durante todo el año dentro de cada celda del modelo (Figura 1). Además, con el fin de representar períodos de clima excepcionalmente caluroso (olas de calor) se cuantificó el riesgo adicional de mortalidad debido a las temperaturas más extremas que ocurren durante una ola de calor y también debido a cualquier efecto acumulativo de la exposición. Esto es potencialmente importante ya que en el futuro se esperan olas de calor más frecuentes, más intensas y de mayor duración. Se definió así una ola de calor (de nuevo según Hajat et al., 2014) como un período en el que la temperatura media en el día actual y al menos los 2 días anteriores estaba por encima del percentil 98 de la distribución de temperatura durante todo el año.

2.3 Datos de población

Los datos de la población se obtuvieron del Centro de Datos y Aplicaciones Socio Económicas (SEDAC) de la NASA (<http://sedac.ciesin.columbia.edu>) con una resolución de 1 km² e interpolados a la cuadrícula de trabajo. Dado que la cobertura temporal de nuestro análisis es 1991-2010, se ha utilizado el conjunto de datos de densidad de población v4 para el año 2005, sobre la base de conteos consistentes con los censos nacionales y los registros de población. La población por celda se muestra

en la Figura 2. Para el escenario futuro, la población se ha mantenido constante para tener una idea aproximada de los posibles impactos debidos únicamente a la acción del cambio climático.

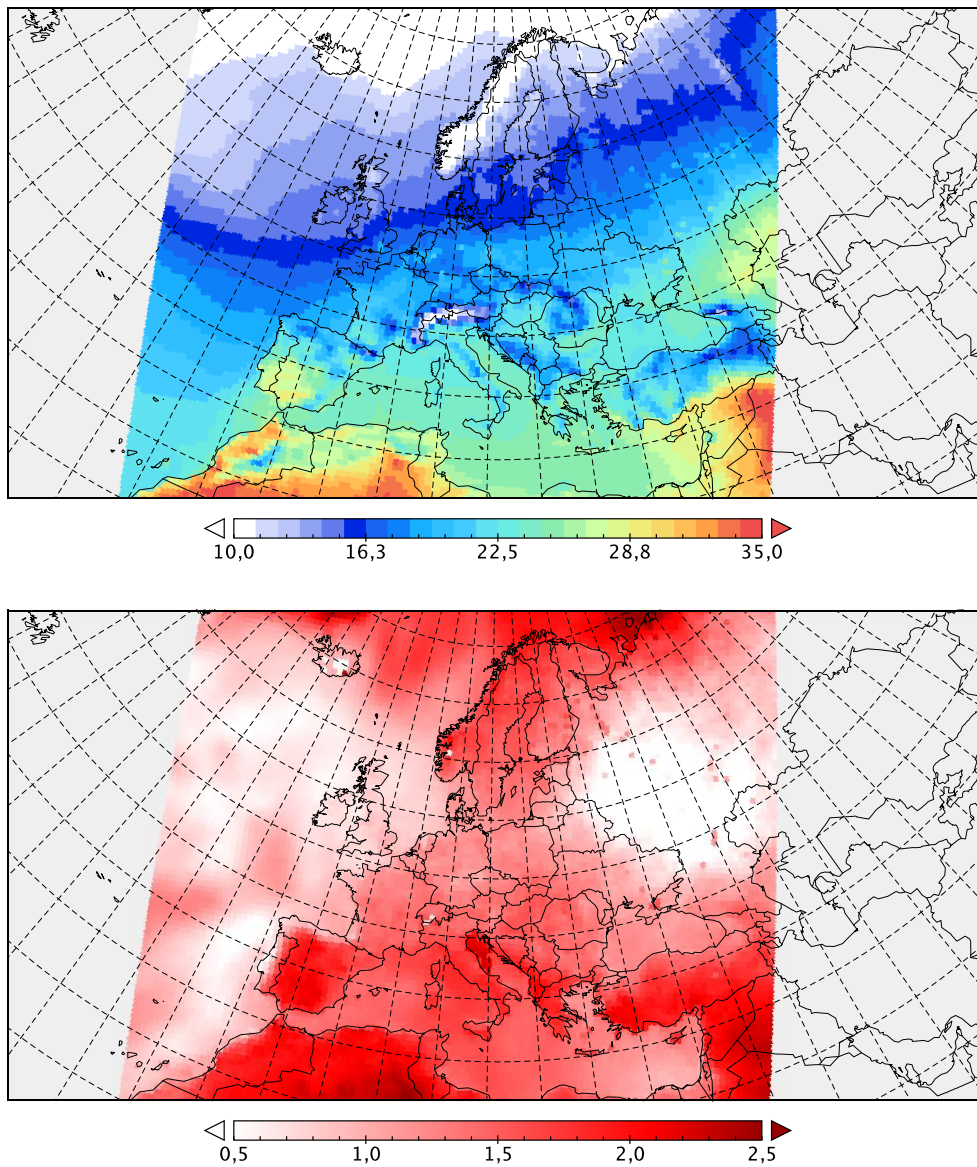


Figura 2: (Arriba) Percentil 93 de las temperaturas máximas diarias (°C) para el periodo presente (1991-2010). (Abajo) Variación de temperatura del percentil 93 (°C) para el escenario futuro RCP8.5 (2031-2050).

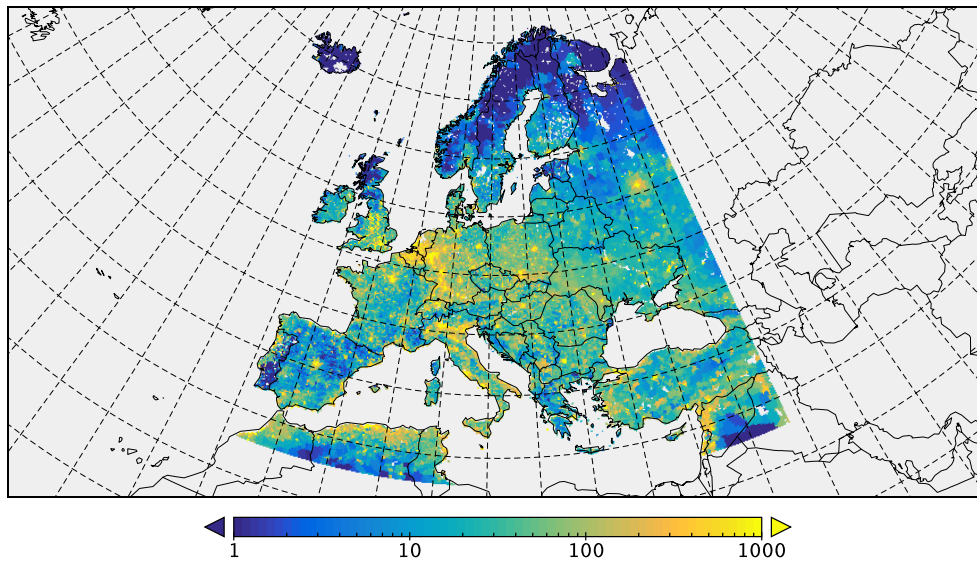


Figura 2: Densidad de población en el dominio de estudio por km^2 (datos de población de SEDAC para el año 2005)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tal y como era de esperar, los resultados para el escenario climático futuro (Figura 3) muestra un patrón común de incremento de mortalidad asociado con el aumento de temperatura y olas de calor. La mayor mortalidad por kilómetro cuadrado se da en las zonas más densamente pobladas de Europa, pero también en zonas como Italia oriental o el Mediterráneo Oriental (países de Oriente Medio). En la Tabla 1 se muestra un resumen de los datos de mortalidad anual mostrados en dicha Figura 3, obtenidos en el estudio para la situación presente, la diferencia que se espera en el escenario futuro y la variación entre ambas expresada en porcentaje. Los países que en el presente cuentan con un mayor número de casos de mortalidad se sitúan en el centro y sur de Europa (Alemania, España, Francia, Italia, Polonia y Reino Unido); y están muy relacionados con la población absoluta que tienen estos países. Entre los países incluidos en la Tabla 1, Alemania es el que mayor número de muertes presenta (en promedio anual) asociadas a temperatura, con hasta 2260 muertes anuales (Figura 3). Si comparamos los resultados aquí obtenidos con otros trabajos, los resultados se encuentran de acuerdo con la bibliografía existente. Hajat et al. (2014) estimaron la mortalidad en el Reino Unido asociada a temperatura para el periodo presente en 1974 muertes; este trabajo muestra unos números ligeramente inferiores, con 1438 decesos anuales en promedio.

En la Figura 3 (abajo) se muestra la diferencia en mortalidad (muertes/ km^2) esperada para el escenario futuro (RCP8.5) respecto al escenario presente. El centro de Europa, las grandes ciudades europeas y la cuenca Mediterránea son las áreas que presentan mayores casos de mortalidad. En el caso de las grandes ciudades europeas se debe a que estos puntos cuentan con un mayor número de población (como se puede observar

en la Figura 2). Por otro lado, en la cuenca Mediterránea, las áreas más afectadas por las olas de calor serán el Sureste Ibérico, norte de África, la parte más oriental de Italia o Turquía.

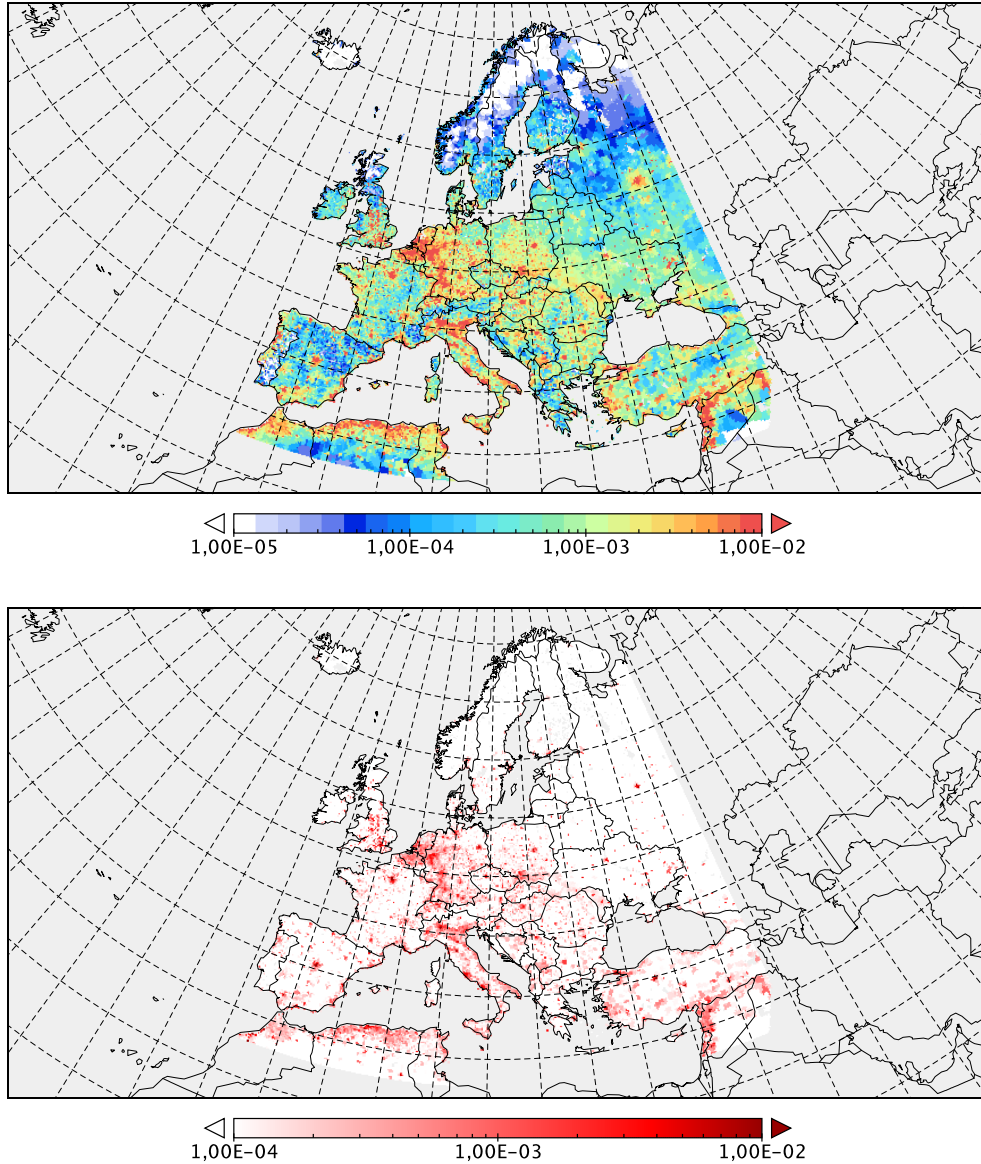


Figura 3: (Arriba) Promedio anual de mortalidad (muertes/km²) para el periodo presente (1991-2010). (Abajo) Incremento en el promedio anual de mortalidad (muertes/km²) para el escenario futuro RCP8.5 (2031-2050).

País	Presente (Muertes)	Variación RCP8.5 (□Muertes)	Variación (%)
Alemania	2260	148	6.5
Austria	203	15	7.4
Bélgica	337	21	6.3
Bulgaria	210	14	6.5
Chipre	17	1	5.9
Dinamarca	98	7	7.3
Eslovaquia	192	15	7.8
España	1027	73	7.1
Estonia	24	2	10.2
Finlandia	159	16	10.1
Francia	1602	118	7.4
Grecia	285	19	6.7
Hungría	314	22	7.0
Irlanda	75	4	5.3
Italia	1487	110	7.4
Letonia	76	5	6.6
Lituania	85	6	7.1
Luxemburgo	17	2	10.6
Noruega	88	11	12.2
Países Bajos	438	29	6.6
Polonia	1116	82	7.3
Portugal	176	8	4.5
Reino Unido	1438	75	5.2
República Checa	257	17	6.6
Rumania	580	37	6.4
Suecia	268	24	9.0

Tabla 1: Mortalidad media anual (número de muertes por país) para el periodo presente (1991-2010) estimado a partir de los datos de modelización. Variación en mortalidad para el escenario RCP8.5 para el periodo 2031-2050 e incremento porcentual en la mortalidad estimada.

Por otro lado, en valores porcentuales (Tabla 1) la mayor diferencia en el futuro la experimentarán países del norte de Europa. A pesar de contar con un menor número de casos de mortalidad, su incremento porcentual será mayor que el experimentado por países del sur de Europa. Estonia, Finlandia, Luxemburgo y Noruega son los países que más aumentarán su número de muertes anuales en cuanto a porcentaje. Por último, la Figura 4 (arriba) muestran los resultados de variación de mortalidad por 1°C de cambio en la temperatura media diaria. Para toda Europa, existe un incremento de la mortalidad asociada con el incremento de temperatura que es estadísticamente significativo al 95%. No obstante, existen importantes diferencias espaciales en las diversas regiones europeas. La Figura 4 (abajo) muestra mayores incrementos en la mortalidad en el escenario RCP8.5 para el periodo 2031-2050 para las regiones del norte de Europa y los Alpes (e.g. 12% para Noruega) y únicamente de un 3% en Rusia.

Cabe reseñar que en este estudio no se han tenido en cuenta los efectos en la mortalidad a causa del frío que, tal y como señalan Gasparrini et al. (2017) hará que la mortalidad por temperatura permanezca alrededor del 0.5% en el norte de Europa. Para el sur de Europa, el incremento del impacto de la temperatura en 2031-2051 se sitúa en torno al 7% (España, Grecia, Italia), cifra ligeramente inferior a los resultados de Gasparrini et al. (2017) para finales de siglo XXI (periodo 2090-2099, +10.5%).

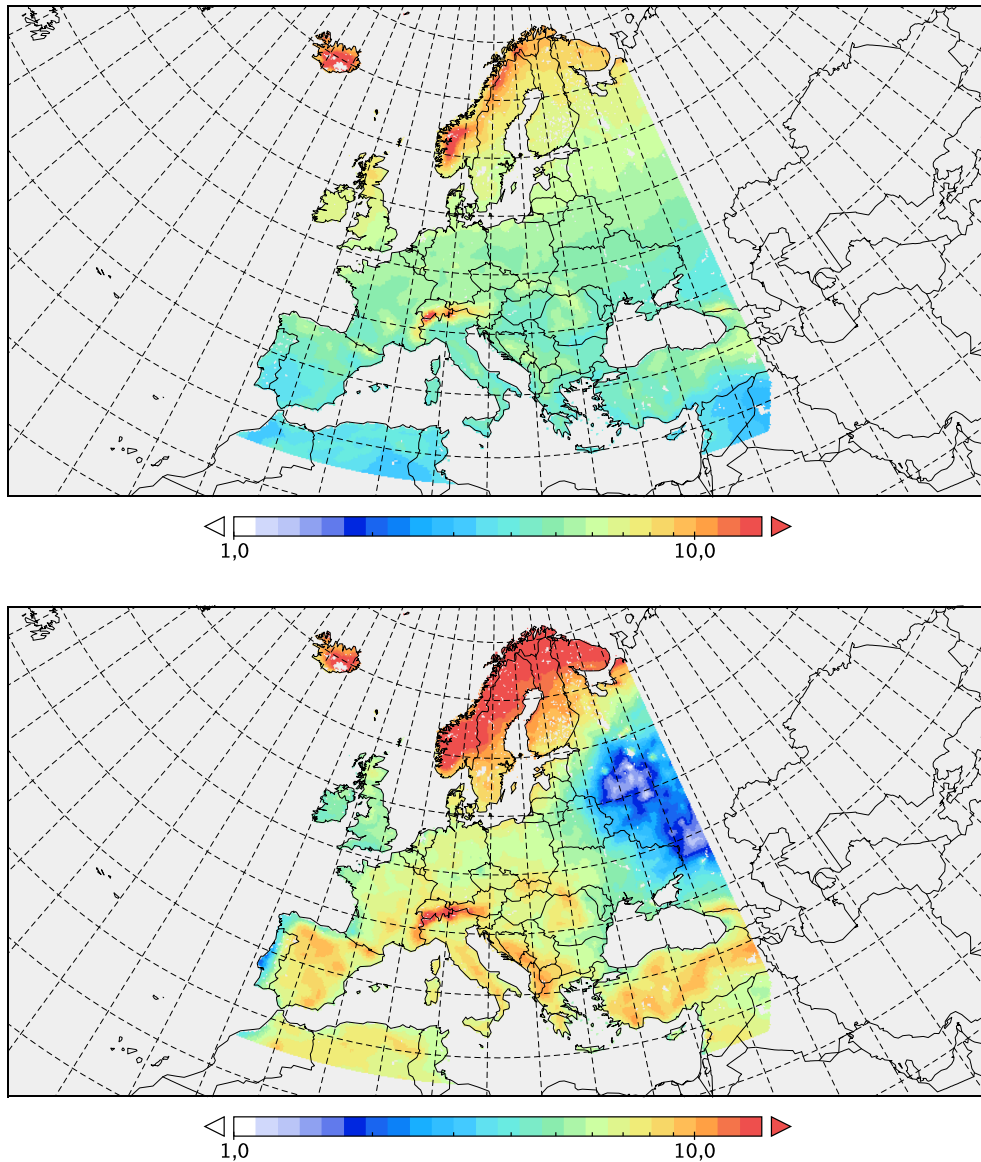


Figura 4: (Arriba) Variación porcentual (%) en el promedio anual de mortalidad por 1°C de incremento de temperatura respecto a la temperatura umbral. (Abajo) Variación porcentual (%) del promedio anual de mortalidad en el periodo presente (1991-2010) frente al escenario futuro RCP8.5 (2031-2050).

4. CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo muestran que el cambio climático tiene el potencial de producir un incremento sustancial de la mortalidad asociada a la temperatura en la práctica totalidad de las regiones de Europa si se considera el escenario RCP8.5. Este escenario está caracterizado por un incremento importante de las emisiones de gases de efecto invernadero y unos incrementos de temperatura importantes a nivel global. El impacto porcentual

de los incrementos de temperatura parece ser mayor en las regiones más al norte (especialmente en la península escandinava) puesto que este trabajo no incluye los cambios en la mortalidad debido al frío. Los resultados aquí mostrados parecen ser consistentes con los obtenidos en la literatura científica (e.g. Hajat et al., 2014; Gasparrini et al., 2017). Sin embargo, la variedad de diseños analíticos, hipótesis, inclusión o no olas de frío, efectos amplificadores de olas de calor o sistemas de modelización empleados dificultan obtener una visión certera de la atribución de la mortalidad asociada directamente con las olas de calor.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Proyecto REPAIR-CGL2014-59677-R y ACEX-CGL 2017-87921-R y el programa europeo FEDER.

REFERENCIAS

- Anderson, G. B., Bell, M. L., (2011). Heat Waves in the United States: Mortality Risk during Heat Waves and Effect Modification by Heat Wave Characteristics in 43 U.S. Communities. *Environmental Health Perspectives*, 119, 2, 210-218. doi: 10.1289/ehp.1002313.
- Atkinson, R. W., Iñiguez, C., Basagaña, X., Schneider, A., Lefranc, A., Paldy, A., Bisanti, L., Katsouyannia, K., (2014). Effects of Heat Waves on Mortality - Effect Modification and Confounding by Air Pollutants. *Epidemiology*, 25, 15-22. doi: 10.1097/EDE.0b013e31828ac01b.
- Baccini, M., Biggeri, A., Accetta, G., Kosatsky, T., Katsouyanni, K., Analitis, A., Anderson, R., Bisanti, L., D'Ippoliti, D., Danova, J., Forsberg, B., Medina, S., Paldy, A., Rabczenko, D., Schindler, C., Michelozzig, P., (2008). Heat Effects on Mortality in 15 European Cities. *Epidemiology*, 19, 711-719. doi: 10.1097/EDE.0b013e318176bfcd.
- Basu, R., Ostro, B. D., (2008). A Multicounty Analysis Identifying the Populations Vulnerable to Mortality Associated with High Ambient Temperature in California. *American Journal of Epidemiology*, 168, 6, 632-637. doi: 10.1093/aje/kwn170
- Basu, R. (2009). High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. *Environmental Health*, 8, 40. doi: 10.1186/1476-069X-8-40.
- Gasparrini A., Guo Y., Sera F., et al. (2017). Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios. *Lancet Planet Health.*, 360-7. [http://dx.doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30156-0](http://dx.doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30156-0)

- Giorgetta, M., Jungclaus, J., Reick, C., Legutke, S., Brovkin, V., Crueger, T., Stevens, B. (2012a). Forcing data for Regional Climate Models based on the MPI-ESM-LR model of the Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M): The CMIP5 historical experiment. World Data Center for Climate (WDCC) at DKRZ. https://doi.org/10.1594/WDCC/RCM_CMIP5_historical-LR
- Giorgetta, M., Jungclaus, J., Reick, C., Legutke, S., Brovkin, V., Crueger, T., Stevens, B. (2012b). Forcing data for Regional Climate Models based on the MPI-ESM-LR model of the Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M): The CMIP5 rcp85 experiment. World Data Center for Climate (WDCC) at DKRZ. https://doi.org/10.1594/WDCC/RCM_CMIP5_rcp85-LR
- Hajat, S., Vardoulakis, S., Heaviside, C., Eggen, B., 2014. Climate change effects on human health: projections of temperature-related mortality for the UK during the 2020s, 2050s and 2080s. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 68, 641–648. <http://dx.doi.org/10.1136/jech-2013-202449>
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O. B., Bouwer, L. M., Georgopoulou, E. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14(2), 563-578. <http://dx.doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
- Jerez, S., Lopez-Romero, J. M., Turco, M., Jimenez-Guerrero, P., Vautard, R., Montavez, J. P. (2018). Impact of evolving greenhouse gas forcing on the warming signal in regional climate model experiments. *Nature Communications*, 9(1):1304. doi: 10.1038/s41467-018-03527-y
- Liss, A., Wu, R., Ho Chui, K. K., Naumova, E. N., 2017. Heat-Related Hospitalizations in Older Adults: An Amplified Effect of the First Seasonal Heatwave. *Scientific Reports*, 7, 39581. doi: 10.1038/srep39581
- Mitchell, D., Heaviside, C., Vardoulakis, S., Huntingford, C., Masato, G., Guillod, B.P., Frumhoff, P., Bowery, A., Wallom, D., Allen, M., 2016. Attributing human mortality during extreme heat waves to anthropogenic climate change. *Environmental Research Letters*, 11. doi:10.1088/1748-9326/11/7/074006
- Schifano, P., Cappai, G., De Sario, M., Michelozzi, P., Marino, C., Bargagli, C. A. M., A Perucci, C., 2014. Susceptibility to heat wave-related mortality: a follow-up study of a cohort of elderly in Rome. *Environmental Health* 8, 50. doi: 10.1186/1476-069X-8-50.
- Tan, J., Kalkstein, L. S., Huang, J., Lin, S., Yin, H., Shao, D., 2004. An operational heat/health warning system in Shanghai. *International Journal of Biometeorology*, 52, 439–451. <https://doi.org/10.1007/s00484-003-0193-z>