

ESTUDIO DE LAS OLAS DE CALOR EN ESCENARIOS DE CLIMA FUTURO (2071-2100) CON UN CONJUNTO DE MODELOS REGIONALES DE CLIMA DE EURO-CORDEX

María Ofelia MOLINA SANCHEZ¹, Enrique SANCHEZ SANCHEZ¹ Claudia GUTIERREZ ESCRIBANO

¹*Departamento de Ciencias Ambientales. Universidad de Castilla-La Mancha*
mofelia.molina1@alu.uclm.es, e.sanchez@uclm.es, claudia.gutierrez@uclm.es

RESUMEN

Las olas de calor son uno de los eventos climáticos extremos más preocupantes debido a la vulnerabilidad de nuestra sociedad a sus efectos adversos y el probable incremento de su frecuencia y duración a lo largo del siglo XXI. En este trabajo seleccionamos los índices HWMI (Heat Wave Magnitude Index) y WSDI (Warm Spell Duration Index) para su análisis.

El HWMI estudia la relación entre la intensidad, entendida como la anomalía de temperatura de la ola de calor con respecto a una temperatura de referencia, y su longitud. A partir de esto se obtiene un índice adimensional que caracteriza la ola de calor. El WSDI se emplea para detectar y comparar las olas de calor de diferentes regiones, y mide los días al año que se encuentran en condiciones de ola de calor.

La duración y la intensidad de las olas de calor se analizan sobre Europa en condiciones de clima presente (Vautard et al., 2013), usando simulaciones de un conjunto de modelos regionales de clima incluidos dentro de la base de datos EURO-CORDEX (Jacob et al., 2014).

En un primer paso del análisis de las simulaciones de EURO-CORDEX, se propone la comparación de pares de simulaciones en los que hay sólo cambios bien en la resolución (0.44o frente a 0.11o), bien en el modelo regional, bien en el modelo global que los fuerza o bien en el escenario de emisiones de gases de efecto invernadero (RCP4.5 frente a RCP8.5).

Palabras clave: cambio climático, ola de calor, HWMI, WSDI, EURO-CORDEX.

ABSTRACT

Heatwaves are one of the most worrisome extreme climatic events due to the vulnerability of our society to its adverse effects and the probable increase in its frequency and duration throughout the 21st century. In this paper, we select the HWMI (Heat Wave Magnitude Index, Russo et al., 2014) and WSDI (Warm Spell Duration Index, Zhang et al., 2011) indexes for analysis.

The HWMI studies the relationship between intensity, understood as the temperature anomaly of the heatwave with respect to a reference temperature, and its length. From this we obtain a dimensionless index that characterizes the heatwave. The WSDI is used to detect and compare heatwaves from different regions.

Duration and intensity of heat waves are analyzed over Europe in present climate conditions (Vautard et al., 2013), using simulations of a set of regional climate models within the EURO-CORDEX database (Jacob et al., 2014).

In a first step of the analysis of the EURO-CORDEX simulations, it is proposed to compare pairs of simulations in which there are only changes in resolution (0.44o versus 0.11o), either in the regional model or in the global model that forces them or in the greenhouse gas emissions scenario (RCP4.5 versus RCP8.5).

Key words: climatic change, heatwave, HWMI, WSDI, EURO-CORDEX.

1. INTRODUCCIÓN

Las olas de calor son uno de los eventos climáticos extremos más preocupantes debido a la vulnerabilidad de nuestra sociedad a sus efectos adversos y el probable incremento de su frecuencia y duración a lo largo del siglo XXI (Frich, P. et al., 2002, IPCC, 2013, Sánchez et al., 2017). Una ola de calor es un periodo de días consecutivos en que las temperaturas son elevadas. Existen diferentes definiciones de olas de calor (Perkins, 2015), pero una descripción completa debería incluir la duración y la intensidad global de la misma como aspectos fundamentales.

Algunas de las condiciones sinópticas que deben reunirse para que una ola de calor se produzca, son las de un sistema de altas presiones que permanece en un lugar durante un periodo prolongado de tiempo que, al advectar aire cálido y seco, hace que las altas temperaturas se mantengan durante más tiempo (Perkins, 2015). Esta situación se ve favorecida en regiones con suelos secos o humedad baja que amplifican la probabilidad de que las temperaturas sean extremas (Sillmann et al., 2017).

Al igual que existen diferentes definiciones para las olas de calor, tampoco hay acuerdo en su método de medida (Ouzeau et al., 2016, Perkins, 2015, Zhang et al., 2011), ya que cada índice se centra en medir alguno de sus aspectos: intensidad, severidad o frecuencia, pero no todos a la vez. Por ello, en este trabajo se proponen dos índices diferentes. La ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices, <http://etccdi.pacificclimate.org/>) ha desarrollado varios índices climáticos para medir las temperaturas extremas (Zhang et al., 2011). El WSDI (Warm Spell Duration Index), calculado a partir de umbrales basados en percentiles, es comunmente usado para estudiar la frecuencia de ocurrencia de las olas de calor. Este tipo de índices basados en percentiles, muestran la variación de temperatura con respecto a un umbral, que es el percentil 90 de un periodo de referencia (1961-1990). El WSDI es un buen índice para comparar la duración en días de las olas de calor espacialmente. Se define como el número de días al año con al menos 6 días consecutivos en que la temperatura máxima diaria es superior al percentil 90 de la temperatura máxima diaria para una ventana móvil de 5 días que rodea a este día durante el período de referencia. Considera únicamente la duración de las olas de calor, por tanto, dos olas de calor con la misma duración son consideradas igual de severas, a pesar de que tener diferentes temperaturas.

La magnitud cuantificada con el HWMI (Heat Wave Magnitude Index) desarrollado por Russo et al., 2014, viene de la relación entre la intensidad, entendida como la anomalía de temperatura de la ola de calor con respecto a una temperatura de referencia, y la duración de esa ola de calor. Es un índice adimensional que ofrece los dos de los aspectos clave en el estudio de las olas de calor: la duración y la intensidad.

En Vautard et al., 2013 se estudió la capacidad de los modelos regionales de EURO-CORDEX (Jacob et al., 2014) para representar las olas de calor en clima presente (1989-2008) mediante una Distribución de Pareto Generalizada (GPD). El trabajo aquí presentado estudia también los modelos regionales de EURO-CORDEX (<http://www.euro-cordex.net/>) y cómo simulan las olas de calor bajo condiciones de clima futuro (2071-2100) bajo dos escenarios de emisiones, RCP4.5 en el que la concentración de CO₂ alcanza 538 ppm y RCP8.5, en el que las emisiones alcanzan 936 ppm en el año 2100 (Moss et al., 2010).

2. MÉTODOS

Este estudio se centra en el análisis de las olas de calor a partir de las salidas de temperatura máxima diaria algunas de las simulaciones regionales de clima EURO-CORDEX, utilizando diferentes modelos y resoluciones. Las simulaciones de EURO-CORDEX, para forzar los modelos regionales, usan como condiciones de contorno las simulaciones climáticas globales de CMIP5 hasta el año 2100. Se basan en escenarios de emisión de gases de efecto invernadero (Representative Concentration Pathways, RCP) correspondientes a la estabilización del forzamiento radiativo después del siglo XXI a 4,5 W/m² (RCP4.5), forzamiento radiativo ascendente que supera 8,5 W/m² a fines del siglo XXI (RCP8.5) y un forzamiento radiativo máximo en el siglo XXI de 3,0 W/m² y una disminución después (RCP2.6, también conocido como RCP3-PD) (Moss et al., 2008 y 2010; Nakicenovic et al., 2000). Para este estudio, se han seleccionado las simulaciones correspondientes a los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5.

La elección de un buen índice para calcular las olas de calor depende del objetivo de estudio, en este caso los índices seleccionados son el HWMI (Russo et al. 2014) y el WSDI (Zhang et al., 2011). El HWMI analiza las temperaturas máximas diarias comparadas con el periodo de referencia 1981-2010, y su duración. De este modo, agrupa las olas de calor en siete categorías, desde 1 (normal) hasta 32 (ultra extremo). Los cálculos han sido realizados con el paquete de software libre R "extRemes" (<https://cran.r-project.org/web/packages/extRemes/extRemes.pdf>). El índice WSDI se ha calculado con el paquete de R "climdex.pcic" (<https://cran.r-project.org/web/packages/climdex.pcic/climdex.pcic.pdf>) y lo que nos ofrece es el número de días al año que son parte de una "ola de calor", es decir, de un periodo con 6 o más días en que las temperaturas máximas diarias son superiores al p90 del periodo de referencia. Una vez obtenidos los índices de toda la muestra de datos, se realiza el promedio a 30 años del HWMI y del WSDI y se representan gráficamente para poder comparar los resultados.

Para poder comparar los valores de HWMI y WSDI entre modelos, se han seleccionado dos Modelos Regionales de Clima (RCMs), *RCA* y *RACMO*. Para poder estudiar el efecto que la resolución ejerce sobre los modelos climáticos para simular las olas de calor, se ha seleccionado el RCM *RCA* forzado por el GCM *EC-EARTH* y se ha calculado el HWMI con dos resoluciones diferentes para el RCM: 0.44° (EUR-44, ~ 50 km) y 0.11° (EUR-11, ~ 12.5 km). Por último, para ver el efecto que produce cambiar los forzamientos en los contornos del RCM, se han seleccionado dos Modelos Globales de Clima (GCMs), *CCC* y *EC-EARTH*.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos del cálculo del HWMI y del WSDI son los que se muestran a continuación:

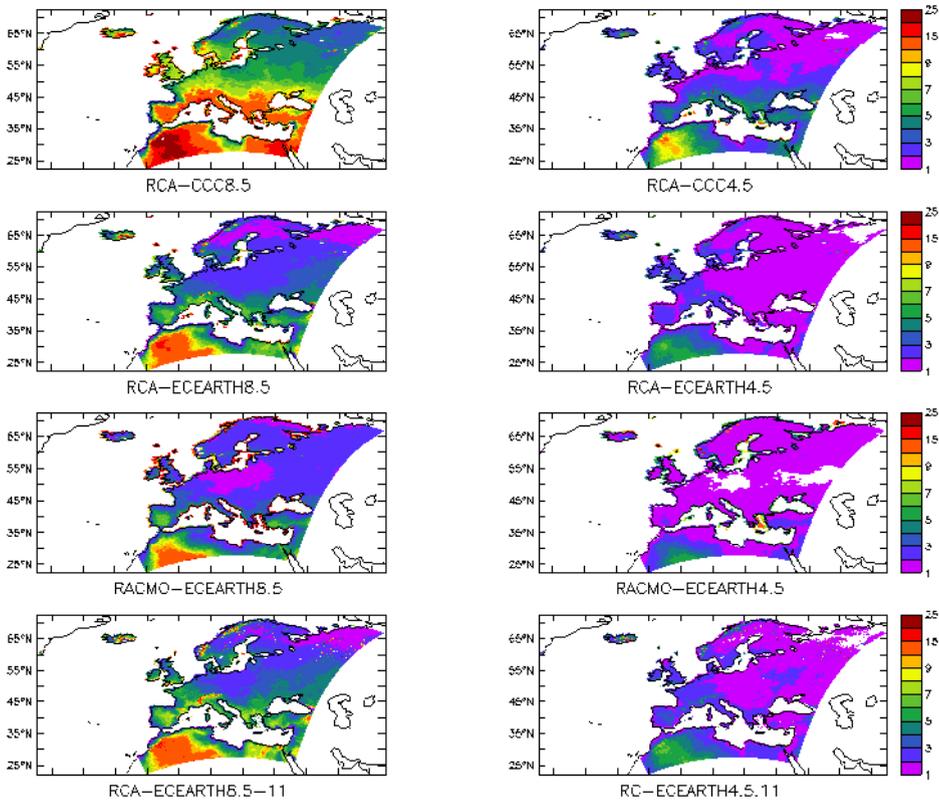


Figura 1. Promedio del HWMI para el periodo (2071-2100), comparando los GCMs *CCC* vs *EC-EARTH*, los RCMs *RCA* vs *RACMO*, los escenarios *RCP4.5* vs *RCP8.5* y la resolución 0.11° vs 0.44° . Promedio del HWMI para el periodo 2071-2100, comparando los GCMs *CCC* vs *EC-EARTH*, los RCMs *RCA* vs *RACMO*, los escenarios *RCP4.5* vs *RCP8.5* y la resolución 0.11° vs 0.44° . En la columna de la izquierda se muestran las figuras correspondientes al *RCP8.5* y, a la derecha, el

escenario RCP4.5. La primera fila corresponde al escenario mostrado por RCA bajo el forzamiento de CCC, la segunda fila corresponde al escenario mostrado por RCA bajo el forzamiento de EC-EARTH, la tercera fila corresponde al escenario de RACMO forzado por EC-EARTH y la cuarta fila al es igual que la segunda, pero con una resolución de 0.11°, el resto tienen una resolución de 0.44°.

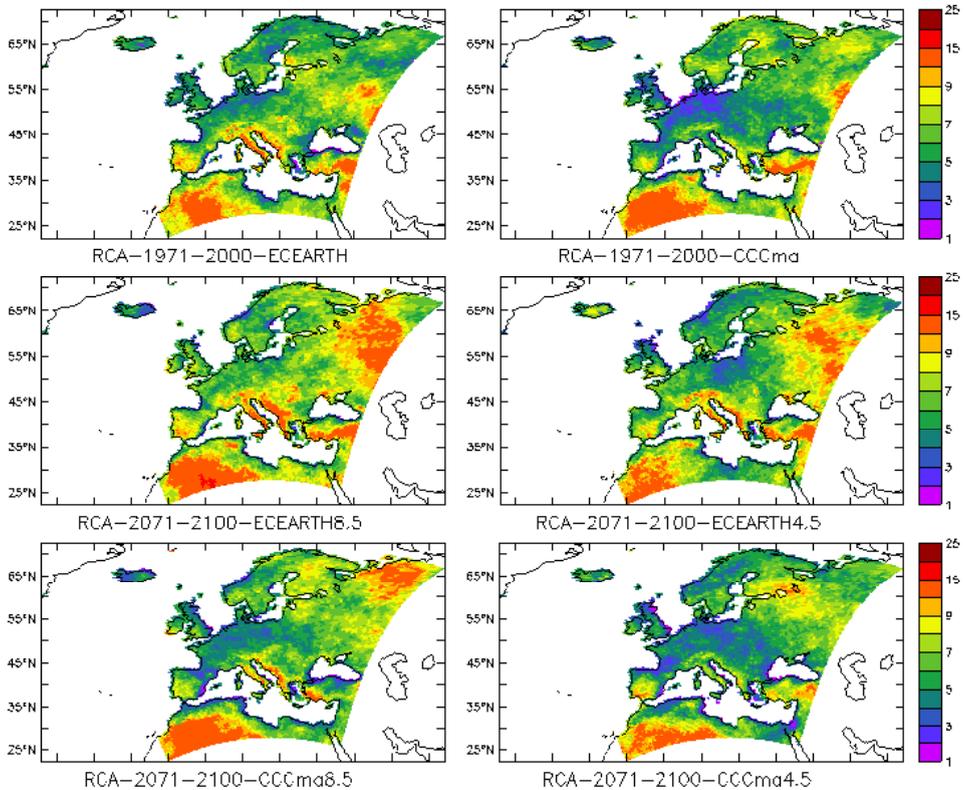


Figura 2. Promedio del WSDI para el periodo (2071-2100) comparado con el periodo (1971-2000), para los GCMs CCC vs EC-EARTH forzando el mismo RCM (RCA) y dos escenarios de emisiones (RCP4.5 and RCP8.5). En la columna de la izquierda se muestran las figuras correspondientes al RCP8.5 y, a la derecha, el escenario RCP4.5. La primera fila corresponde al periodo (1971-2000), la segunda fila corresponde al escenario mostrado por RCA bajo el forzamiento de EC-EARTH y la tercera fila corresponde al escenario de RCA forzado por CCC.

Bajo el escenario de emisiones más severo (RCP8.5), la magnitud de la ola de calor es mayor que bajo el escenario RCP4.5 independientemente del modelo regional o global. Esto es, en condiciones de un incremento mayor de gases de efecto invernadero, las olas de calor tendrán una mayor duración e intensidad.

Comparando entre escenarios de emisiones, el RCP4.5 muestra sobre Europa valores del HWMI (Figura 1) entre 1 y 2, aunque RCA-CCC muestra valores de 5 en zonas del Mediterráneo. Con RCP8.5, el HWMI asciende a valores de 2 y 3 en la mayor parte del dominio, alcanzando valores entre 10 y 15 en el Mediterráneo. Estos resultados parecen consistentes comparándolos con los resultados obtenidos por Russo et al. 2014, donde se muestran las series temporales promedio del HWMI para el periodo 1980-2100 sobre Europa Central con el conjunto de modelos CMIP5 y los escenarios RCP2.6, RCP4.5 y RCP8.5. La duración de las olas de calor más severas en el futuro (Figura 2), bajo el escenario RCP4.5, se prevé que esté entre 4 y 10 días según el modelo, y bajo el escenario RCP8.5 entre 8 y 10 días, superando los 20 días en los casos más extremos. El escenario más severo es el mostrado por RCA bajo el forzamiento de CCC y bajo el escenario de emisiones RCP8.5, donde la ola de calor supera los 10 días de duración en todo el territorio estudiado.

En cuanto a la comparación de los resultados entre GCMs, los índices no coinciden en los resultados, ya que el HWMI es sensiblemente mayor en el escenario que muestra el RCM *RCA* bajo el forzamiento del GCM *CCC* que bajo el forzamiento del *EC-EARTH* en los dos escenarios de emisiones, pero el WSDI muestra el efecto contrario, por lo que el efecto de usar un GCM u otro debería ser analizado en profundidad.

En el HWMI se ve un efecto importante en el empleo de un GCM u otro, sin embargo, el efecto del RCM (comparando *RCA* con *RACMO*) parece ser menor. Entre RCMs, forzados ambos por el mismo GCM, el *RCA* muestra valores de duración de la ola de calor ligeramente más altos que *RACMO* en los dos escenarios de emisiones.

El aumento de la resolución de 0.44° a 0.11° permite visualizar detalles espaciales en zonas de orografía compleja o costera, permitiendo mostrar estructuras más detalladas en muchas partes del dominio.

Con el WSDI se puede observar que las olas de calor en el futuro serán más duraderas cuanto más severo sea el escenario de emisiones que se presente. Al igual que en el trabajo de Vautard et al. 2013, se ve una gran dispersión entre los resultados de un modelo y otro.

El trabajo, que está en marcha, pretende profundizar en el estudio de más modelos regionales disponibles que los aquí mostrados, diferentes modelos globales forzantes, otras magnitudes para analizar olas de calor, el efecto de la resolución y la comparación de los cambios respecto a condiciones de clima actual, para intentar obtener una imagen lo más completa posible de las olas de calor para clima futuro sobre Europa a partir de las simulaciones regionales de EURO-CORDEX.

REFERENCIAS

- Frich, P., Alexander, L. V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A. M. G. and Peterson, T., 2002: Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century, *Climate Research*, 19, 193–212. doi:10.3354/cr019193.
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O.B., Bouwer, L.M., et al, 2014: EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections

- for European impact research, *Regional Environmental Change*, 14, no. 2, 563-578. doi: 10.1007/s10113-013-0499-2.
- Moss, R., Babiker, M., Brinkman, S., Calvo, E., Carter, T., Edmonds, J., et al, 2008: Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 132. Recuperado de <http://www.ipcc.ch/pdf/supporting-material/expert-meeting-report-scenarios.pdf>.
- Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D.P., et al, 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463(7282), 747-756. doi: 10.1038/nature08823.
- Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., et al., 2000: Special Report on Emissions Scenarios, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 599.
- Ouzeau, G., Soubeyroux, J. M., Schneider, M., Vautard, R., Planton, S. 2016: Heat waves analysis over France in present and future climate: Application of a new method on the EURO-CORDEX ensemble, *Climate Services*, 4, 1-12. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cliser.2016.09.002>.
- Perkins, S. E., 2015: A review on the scientific understanding of heatwaves-Their measurement, driving mechanisms, and changes at the global scale, *Atmospheric Research*, 164-165, 242-267. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.05.014>.
- Russo, S., A. Dosio, R. G. Graversen, J. Sillmann, H. Carrao, M. B. Dunbar, A. Singleton, P. Montagna, P. Barbola, and J. V. Vogt, 2014: Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 12,500-12,512. doi:10.1002/2014JD022098.
- Sánchez, E., Rodríguez-Fonseca, B., Gutierrez, M., Jordá, G., Salat, J. and Valero-Garcés, B. L., 2017: Progress in Detection and Projection of Climate Change in Spain since the 2010 CLIVAR-Spain regional climate change assessment report. Special Issue on climate over the Iberian Peninsula: an overview of CLIVAR-Spain coordinated science, *CLIVAR Exchanges*, 73, 1-4. Recuperado de http://www.clivar.org/sites/default/files/documents/CE_No_73_Final.pdf.
- Sillmann, J., Thorarindottir, T., Keenlyside, N., Schaller, N., Alexander, L V., Hegerl, G., Seneviratne, S I., Vautard, R., Zhang, X., Zwiers, F W., 2017: Understanding, modeling and predicting weather and climate extremes: Challenges and opportunities, *Weather and Climate Extremes*, 18, 65-74. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2017.10.003>.
- Stocker, D., Qin, G.K., Plattner, M., Tignor, SK., Allen, J., Boshchung, A., Nauels, Y., Xia, V, Bex, P.M., Midgley (Eds.), IPCC 2013 Climate Change, 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 1535. Recuperado de https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WGIAR5_SPM_brochure_en.pdf.

- Vautard, R., Gobiet, A., Jacob, D., Belda, M., Colette, A., Déqué, M., et al, 2013: The simulation of European heat waves from an ensemble of regional climate models within the EURO-CORDEX Project, *Climate Dynamics*, 41, 2555-2575. doi:10.1007/s00382-013-1714-z.
- Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G. C., Jones, P., Tank, A. K., Peterson, T. C., Trewin, B. and Zwiers, F. W., 2011: Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data, *WIREs Clim Change*, 2, 851–870. doi:10.1002/wcc.147.