




Revista de Estudios Andaluces (REA)

e-ISSN: 2340-2776.

REA Núm. 36 (2018). <http://dx.doi.org/10.12795/rea.2018.i36>

Estudio Comparativo del Calor Extremo entre el Valle del Guadalquivir y las Vegas del Segura: Tendencia y Cartografía de Alta Resolución

A Comparative Study on Extreme Heat between Guadalquivir Valley and Segura River Valleys: Trend and High Resolution Cartography

David Espín-Sánchez 
Universidad de Murcia
david.espin1@um.es

Carmelo Conesa-García
Universidad de Murcia
cconesa@um.es

Formato de cita / Citation: Espín-Sánchez, David y Conesa-García, Carmelo (2018). Estudio Comparativo del Calor Extremo entre el Valle del Guadalquivir y las Vegas del Segura: Tendencia y Cartografía de Alta Resolución. *Revista de Estudios Andaluces*, núm. 36, 1-25.
<http://dx.doi.org/10.12795/rea.2018.i36.01>

Enlace artículo/to link to this article: <http://dx.doi.org/10.12795/rea.2018.i36.01>



Esta obra se distribuye con la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0.)

<http://editorial.us.es/es/revista-de-estudios-andaluces>

<https://revistascientificas.us.es/index.php/REA>

Estudio Comparativo del Calor Extremo entre el Valle del Guadalquivir y las Vegas del Segura: Tendencia y Cartografía de Alta Resolución

A Comparative Study on Extreme Heat between Guadalquivir Valley and Segura River Valleys: Trend and High Resolution Cartography

David Espín-Sánchez

Universidad de Murcia

david.espin1@um.es

Carmelo Conesa-García

Universidad de Murcia

cconesa@um.es

Recibido: 31 de enero, 2018

Revisado: 02 de mayo, 2018

Aceptado: 15 de mayo, 2018

Resumen

El Valle del Guadalquivir y las Vegas del Segura son ámbitos geográficos del sur de la Península Ibérica donde las temperaturas extremas estivales presentan una alta recurrencia de valores extremos, especialmente durante los últimos veranos. En el presente estudio se realiza una comparativa de las características del calor extremo entre ambas zonas, analizando, para ello, la tendencia estadística (1900-2017) de las ciudades de Sevilla y Murcia, y se ofrece una cartografía de detalle de los polos cálidos de temperaturas máximas y mínimas a través del análisis de modelos de alta resolución (AROME 1.3 km) y teledetección (MYD11A1). Los resultados son concluyentes, ya que se produce un aumento estadísticamente significativo de los días con índices de calor extremo (TX35, TX40 y TN20), mientras que los periodos de rachas cálidas (WSDI) aumentan en grado de recurrencia y duración.

Palabras clave: racha cálida, Humidex, polos cálidos, tendencia, cartografía de alta resolución.

Abstract

The Guadalquivir and Segura Valleys are geographical areas in the south of the Iberian Peninsula where extreme summer temperatures have great recurrence of extremely high values, especially during the last summers. A comparison of the characteristics of extreme heat between the two zones is proposed, analyzing the statistical trend (1900-2017) of the cities of Seville and Murcia and a detailed cartography of the warm poles of maximum and minimum temperatures is provided using high resolution modeling tools (AROME 1.3 km) and remote sensing (MYD11A1). The results are conclusive, since there is a statistically significant increase of the days with extreme heat indices (TX35, TX40 and TN20), while periods of warm spells (WSDI) increase in recurrence and duration.

Keywords: warm spells, Humidex, warm pool, trend, high resolution cartography.

Revista de Estudios Andaluces, núm. 36 (2018) pp. 1-25. e-ISSN: 2340-2776

<http://dx.doi.org/10.12795/rea.2018.i36.01>



Esta obra se distribuye con la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0.)

1. INTRODUCCIÓN

En el sur de la Península Ibérica se localizan dos de los valles más calurosos del sur de Europa: el Valle del Guadalquivir y las Vegas del Segura. Se trata de depresiones topográficas cuyas tierras más bajas se sitúan entre los 30 y 350 m de altitud, con distancias mínimas al mar de 30 a 90 km respectivamente. En ellas, se han registrado recientemente temperaturas máximas absolutas de 47°C, temperaturas medias de máximas mensuales de 38°C (e.g. en Córdoba), y de mínimas mensuales de 24°C (e.g. en la provincia de Jaén).

Los estudios climáticos de Andalucía, y en particular del Valle del Guadalquivir, se remontan a las décadas de los 70 y 80 del siglo XX, en las que se publicaron varios trabajos de ámbito principalmente regional (e.g. Capel Molina, 1975, 1977, 1978). En época más reciente, destacan diversos estudios sobre episodios extremos concretos, como la potente ola de calor de 1995, que alcanzó un valor máximo de 46,6°C en Córdoba (López Cotín *et al.*, 1999), análisis de advecciones cálidas sobre el suroeste peninsular, influencia en eventos de aerosoles y evapotranspiración (Gavilán Zafra, 2002 y Toledano *et al.*, 2007), e investigaciones sobre microclimas urbanos e islas de calor en Córdoba y Sevilla (Domínguez Bascón, 2002). En los últimos años la atención ha estado especialmente centrada en la identificación, clasificación y caracterización climática de Andalucía, y, por consiguiente, del Valle del Guadalquivir (Gómez Zotano *et al.*, 2015).

En la Región de Murcia la investigación sobre el calor extremo estival es todavía muy escasa. Salvo algún artículo referido a olas de calor (e.g. Rivera Pérez, 1978) o al estudio del clima regional (Conesa García y Alonso Sarría, 2006), son pocos los trabajos dedicados al análisis de este tipo de sucesos. Sólo a partir de los años 90, y sobre todo en los últimos años, ha surgido una especial inquietud por el tema. Particular mención, merecen los resultados obtenidos por Espín Sánchez (2016) y Espín Sánchez y Conesa García (2017) para Murcia y su huerta. Dichos autores constatan en esta zona un claro aumento del número de noches tropicales, con temperatura mínima superior a 20º (TN20). En concreto, el área metropolitana alcanza uno de los registros más elevados del sur peninsular, con medias de 65 noches tropicales. De hecho, se observan diferencias de hasta 4°C en temperaturas mínimas estivales entre el centro de la ciudad de Murcia y la periferia de la huerta.

En el presente trabajo se realiza un análisis comparativo del calor extremo entre el Valle del Guadalquivir y las Vegas del Segura, al tiempo que se ofrece una cartografía de detalle de los polos de calor, tanto de valores máximos como mínimos. El régimen de las temperaturas máximas y mínimas diarias se explica en relación con los factores que lo determinan (entre ellos, la influencia del gran farallón montañoso de las Sierras de Segura y Cazorla -2100 m- en la génesis de vientos catabáticos que descienden hacia ambos valles). Según ha podido constatarse en años recientes, existen en el Valle del Guadalquivir municipios como Andújar (Jaén) o ciudades como Córdoba, donde habitualmente en los últimos años se vienen registrando más de veinte jornadas con temperaturas máximas absolutas superiores a 40°C, en tanto que en la Vega Media del Segura (La Vereda - Murcia) son varias las pedanías con más de 60 madrugadas tropicales (>20°C). El caso más paradigmático es el de Córdoba, que presenta durante los últimos veranos más de 25 jornadas estivales con temperaturas mínimas por encima de 25°C (TN25) y valores máximos por encima de 40°C (TX40) con demasiada frecuencia. En efecto, durante el reciente verano de 2017, se registraron

Revista de Estudios Andaluces, núm. 36 (2018) pp. 1-25. e-ISSN: 2340-2776

<http://dx.doi.org/10.12795/rea.2018.i36.01>



Esta obra se distribuye con la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0.)

un total de 37 jornadas de TX40, que, sin duda, supusieron un nuevo record. Las efemérides meteorológicas registradas durante el pasado verano proporcionaron datos muy significativos. En concreto, la temperatura media del verano meteorológico, del 1 de junio al 31 de agosto fue de 28,9°C, estableciendo un nuevo récord, 0,4°C por encima del verano de 2016. Además, la temperatura media de las máximas (38,4°C) supuso otro nuevo récord, siendo, además, la primera ocasión en que un verano supera en Córdoba la barrera de los 38 °C de media (récord anterior: 37,7°C en 2016). Se trata de la primera vez en la que los tres meses registraron máximas de 44 °C o más en un mismo año (junio: 44,5 °C, julio: 46,9 °C y agosto: 44,7 °C).

Para este estudio se ha aplicado el modelo meteorológico mesoescalar de alta resolución AROME 1.3 km, considerado un instrumento adecuado para la prevención y mitigación de los efectos por calor extremo en estas zonas. Ello ha permitido realizar estimaciones con importante grado de fiabilidad, basadas en un buen ajuste entre los valores registrados en los observatorios meteorológicos en estudio y los estimados por modelización para los mismos puntos. La mejor aproximación, y por tanto los resultados más satisfactorios, se obtuvieron en el caso de las temperaturas máximas, con un margen de error entre 0,2 y 0,3 °C para el periodo julio-agosto. No obstante, para los valores mínimos en ámbitos de inversión térmica el modelo presenta más limitaciones, ya que genera desviaciones de temperatura de 1,6 a 2,5°C.

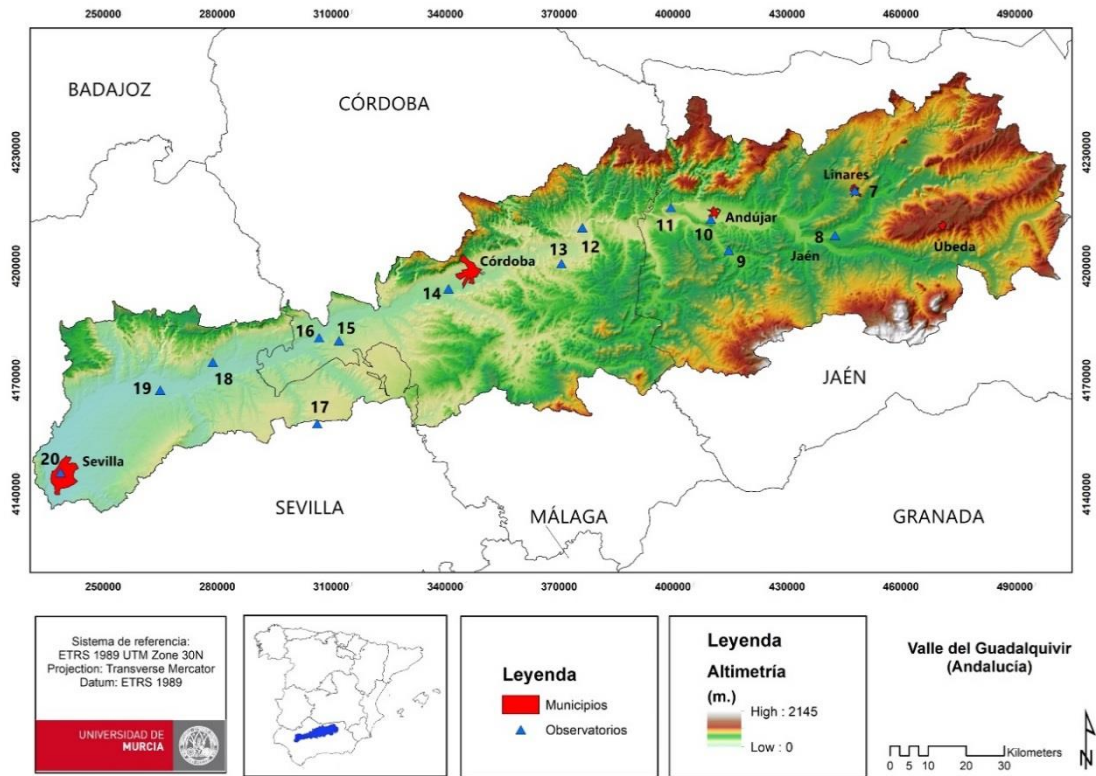
2. ÁREA DE ESTUDIO

La depresión del Guadalquivir es un valle de gran extensión que limita al norte con Sierra Morena, al sur y este con las cordilleras Béticas, y al oeste queda abierta hacia el Atlántico, donde desemboca, finalmente, el río Guadalquivir. Predominan las campiñas y algunas elevaciones o lomas (unidades terciarias delimitadas por valles fluviales, como la de Úbeda, que configura una gran plataforma ligeramente basculada). Precisamente, en estas zonas es donde se registran los valores mínimos de temperatura más elevados del Valle del Guadalquivir (Mapa 1).

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, esta zona se caracteriza por el dominio de un tipo Csa Mediterráneo (con verano cálido y seco), matizado por Gómez Zotano *et al.*, (2015) como clima mediterráneo semi-oceánico y seco-subhúmedo en el Bajo y Medio Guadalquivir respectivamente. La temperatura media de las máximas se eleva hasta 25,5°C, lo que representa el promedio más elevado para el conjunto de Andalucía. Las Vegas del Segura quedan, en cambio, configuradas dentro de una llanura aluvial, estrecha pero muy fértil, especialmente a partir de la transición de la Sierra de Alcaraz (Albacete) y los términos municipales de Calasparra y Moratalla (Murcia). En esta zona, el lecho del río Segura se sitúa a una altitud inferior a los 200 m, pese a su posición todavía bastante alejada de la desembocadura. Este hecho, unido al control estructural de las sierras que la flanquean, origina un trazado fluvial sinuoso, conformando meandros, cuya llanura adyacente van perdiendo su confinamiento en dirección aguas abajo, hacia la Vega Alta de Alicante (Mapa 2).

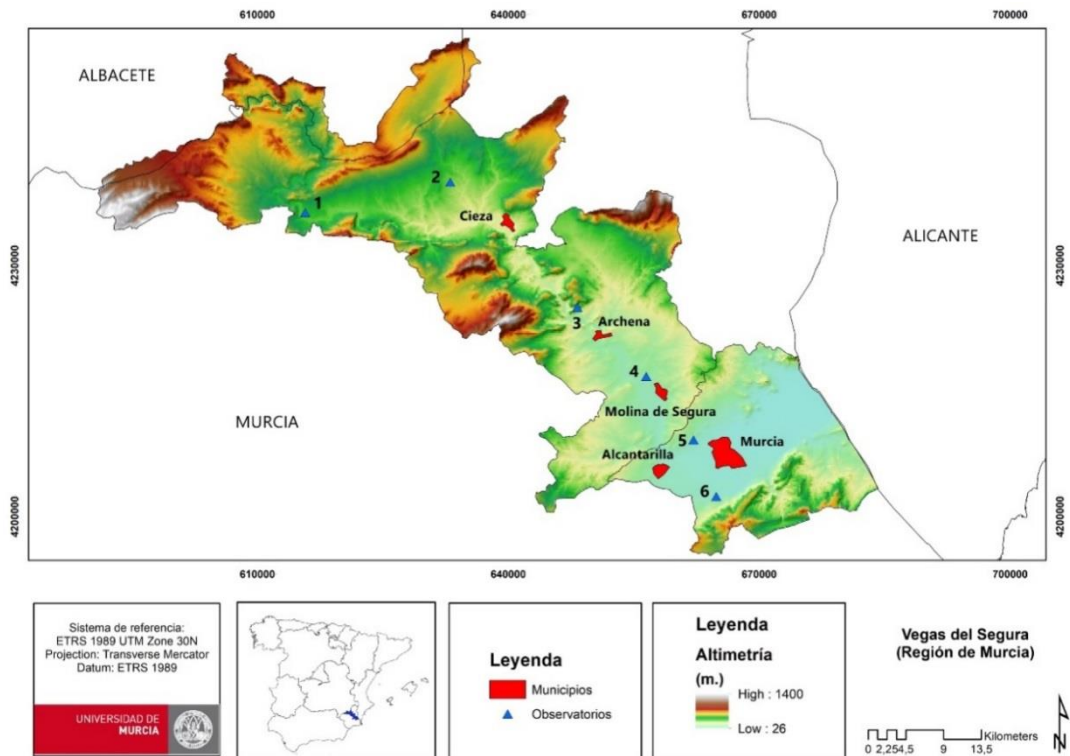


Mapa 1. Área de estudio del Valle del Guadalquivir.



Fuente: Elaboración propia, a partir del PNOA (CNIG).

Mapa 2. Área de estudio de las Vegas del Segura.



Fuente: Elaboración propia, a partir del PNOA (CNIG).



3. MATERIAL Y MÉTODOS

Los marcados valles interiores, lejanos a la costa y resguardados por los relieves montañosos centrales de la Región de Murcia presentan los valores de temperatura más elevados de esta zona, caracterizada por un clima Bsh (semiárido cálido) según Köppen.

El estudio de las temperaturas estivales se inicia con un análisis de los datos de los observatorios meteorológicos de primer orden de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) de Murcia y Sevilla, a través del recientemente constituido Servicio Open Data de AEMET. Para ambas estaciones se han utilizado las series térmicas ya homogeneizadas y tratadas por la propia Agencia correspondientes al período de análisis de 1900 a 2016, abarcando, por tanto, el intervalo temporal lo más amplio posible (116 años de registros). A partir de dicha información se han aplicado determinados índices de clima extremo propuestos en el Proyecto CLIMDEX (Karl et al., 1999; Zhang et al., 2005), tales como el TX25, TX35, TX40, TN20, TN25 y el indicador de racha cálida o *Warm Spell Duration Index* (WSDI). TXx es la temperatura máxima por encima del umbral x (expresado en °C), mientras que TNx alude a la temperatura mínima que supera x °C en un intervalo de tiempo dado. WSDI se define como el número de días al año que integran rachas de al menos seis jornadas consecutivas cuya temperatura máxima diaria rebasa el percentil 90 (P90) de las máximas anuales (Alexander et al., 2011; Rydén, 2017). Para cada uno de estos índices se analiza su tendencia estadística en ambas ciudades mediante el Test no paramétrico de Mann Kendall que proporciona el paquete libre de RStudio (Climdex). El estudio de variables de calor extremo ha sido además completado con la información suministrada por diversos observatorios meteorológicos pertenecientes al Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR) del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio.

Nº	Observatorio	Provincia	Nº	Observatorio	Provincia
1	Las Rotas-Calasparra	Murcia	11	Marmolejo	Jaén
2	La Carrichosa-Cieza	Murcia	12	Adamuz	Córdoba
3	Ulea	Murcia	13	El Carpio	Córdoba
4	El Llano-Molina S.	Murcia	14	Córdoba AEMET	Córdoba
5	Murcia AEMET	Murcia	15	Hornachuelos	Córdoba
6	La Alberca-Murcia	Murcia	16	Palma del Río	Córdoba
7	Linares	Jaén	17	La Luisiana	Sevilla
8	Torreblascopedro	Jaén	18	Lora del Río	Sevilla
9	Higuera de Arjona	Jaén	19	Villanueva del Río	Sevilla
10	Andújar	Jaén	20	Sevilla AEMET	Sevilla

Fuente: Elaboración propia a través de las redes meteorológicas de AEMET y SIAR.



La distribución espacial de las temperaturas máximas y mínimas de ambas zonas ha sido representada mediante una cartografía de alta resolución confeccionada con el modelo mesoescalar AROME 1.3 km (descargado a través del servicio Open Data de www.meteofrance.com), y con los datos del canal *Land Surface Temperature Data and Emissivity Daily* (MYD11A1) del satélite *Moderate Resolution Imaging Spectro radiometer* (MODIS/AQUA) (*Land Processes Distributed Active Archive Center* -LPDAAC, NASA). Las diferencias térmicas estimadas u observadas a través de AROME y MODIS respectivamente han sido validadas con ayuda de los datos de temperaturas máximas y mínimas registrados en los observatorios meteorológicos de Cantillana (Sevilla), Córdoba, Andújar (Jaén), Calasparra-Rotas (Murcia) y Murcia. Para el cálculo de tendencia de las variables de calor extremo estival se han estimado las medias móviles de banda 10, como representativas de los cambios producidos por década.

Finalmente, se ha elaborado una cartografía de polos cálidos en ambas áreas de estudio, basada en la distribución espacial de temperaturas máximas y mínimas durante los meses de julio y agosto. Ésta ha sido generada mediante álgebra de mapas obtenidos con los procedimientos ya descritos, en combinación con los datos climáticos de los observatorios utilizados y el índice *Humidex*. Este índice, muy utilizado en Canadá y Estados Unidos, se basa en el aumento de la sensación de calor que siente el cuerpo humano en condiciones de temperatura alta (por encima de los 20°C) y elevada humedad relativa del aire. Más allá de establecer valores térmicos precisos, de estimación a menudo complicada para las áreas carentes de registros, se propone, por tanto, un análisis espacial comparativo de la distribución del calor extremo en el Valle del Guadalquivir y Vegas del Segura, a partir del uso combinado de AROME 3.1 y Aqua-MODIS.

4. ESTUDIO COMPARATIVO DEL CALOR EXTREMO EN AMBAS ÁREAS

La distribución espacial de las temperaturas estivales viene definida por un marcado patrón de extremos térmicos más recurrentes en el Valle del Guadalquivir que en las Vegas del Segura. Sirva como ejemplo el mayor número de jornadas por año con temperaturas máximas por encima de 40°C (TX40) registrado en Sevilla (media anual de 7,7 días), frente a los 1,8 anotados en la ciudad de Murcia (Cuadro 2). Los valores TX40 más elevados en cada uno de estos ámbitos llegan a 16,1 días en El Carpio (Córdoba) y 4,4°C en Las Rotas (Calasparra). En efecto, las temperaturas máximas extremas durante el verano son más frecuentes en la Depresión del Guadalquivir, como consecuencia del efecto combinado de su escasa altitud, por lo general inferior a 200 m, su baja latitud y el carácter continental de sus tierras, situadas a más de 150 km del mar. Sin duda, se trata de la depresión topográficamente más baja y aislada del sur peninsular. Calasparra, a 84 km de distancia mínima al Mar Mediterráneo, y Murcia, a tan sólo 35 km de éste, están mucho más expuestas a la influencia atemperante marina. De hecho, el Sistema Bético actúa como una barrera orográfica compacta que afecta muy sensiblemente a la carga higrométrica de las masas de aire provenientes del este y del oeste (Figura 1). Más cerca del Mar Mediterráneo que del Océano Atlántico, ejerce de pantalla a los vientos de 1º y 2º cuadrante, vientos de Levante predominantes en periodo estival (Garrido *et al.*, 2014), que mitigan las masas de aire cálidas en niveles medios atmosféricos (Capel, 1998).



Cuadro 2. Resumen de los principales índices climáticos estivales en las ciudades de Sevilla y Murcia (1981-2010).

Climate Index	Sevilla	Murcia
TX Absolute (°C)	46,6 (1995)	45,7 (1994)
TN Absolute High (°C)	29,3 (2004)	27,5 (1928)
TX25 (Summer Days)	176,5 (48,3%)	178,4 (48,9%)
TX35 (Days)	52,5 (14,4%)	28,5 (7,8%)
TX40 (Days)	7,7 (2,1%)	1,8 (0,5%)
TN20 (Tropical Nights)	40,1 (11,0%)	51,0 (14,0%)
TN25 (Ecuatorial Nights)	1,1 (0,3%)	0,3 (0,1%)
Tm Average maximum (JI-A)	35,5	34,4
Tn Average minimum (JI-A)	19,6	20,5
WSDI (Rachas cálidas)	36,2°C (P90)	34,2°C (P90)
WSDI más larga	34 días (Jul-Ago 1950)	23 días (Ago 2012)
TX P90 (JI-A)	40,0	37,4
TX P95 (JI-A)	41,0	38,5
TX P98 (JI-A)	42,0	40,0
TN P90 (JI-A)	22,4	23,0
TN P95 (JI-A)	23,4	23,5
TN P98 (JI-A)	24,2	24,1

Fuente: Elaboración propia, a través del cálculo estadístico de los datos de Sevilla y Murcia (AEMET). Open Data de AEMET.

Por su parte, los vientos predominantes del suroeste en el Valle del Guadalquivir, que representan en torno al 24% del total de junio a septiembre (Viedma, 1998), son especialmente resacas y cálidos en el sector Córdoba-Andújar, donde contribuyen a originar de forma recurrente temperaturas muy elevadas. Bajo tales condiciones, pueden registrarse temperaturas extremas (45/46°C), cuando las masas de aire cálido en el Geopotencial de 850 hPa alcanzan valores de 26/27°C (Figura 1).

Las temperaturas máximas por encima de 35°C (TX35) constituyen también un excelente indicador de las diferencias de calor extremo estival entre ambas zonas. De hecho, en el Valle del Guadalquivir, los percentiles 90 (P90) de las temperaturas máximas de julio y agosto, son claramente más elevados que en las Vegas del Segura (e.g. 40°C en Sevilla frente a 38,4°C en Murcia).

En efecto, Sevilla cuenta al año con un promedio de 52,2 días de TX35 (el 14,4% del total anual), mientras que Murcia sólo llega a 28,5 días. En cambio, las temperaturas máximas menos calurosas de ambas ciudades presentan menores diferencias y tienden a equipararse. Así lo demuestra el hecho de que el número medio de días de verano con temperatura máxima superior a 25°C (TX25) sea de 176,5 en Sevilla y 178,4 en Murcia, respectivamente. Resulta obvio, por tanto, que conforme se alcanzan valores más elevados de temperatura máxima estival mayor es el contraste entre ambos ámbitos geográficos. Estos datos concuerdan con los publicados en el Atlas Climático Ibérico de AEMET, donde tanto el Valle del Guadalquivir como las Vegas del Segura aparecen incluidos dentro de la misma zona con más de 150 días de TX25 al año (Cunha *et al.*, 2011).

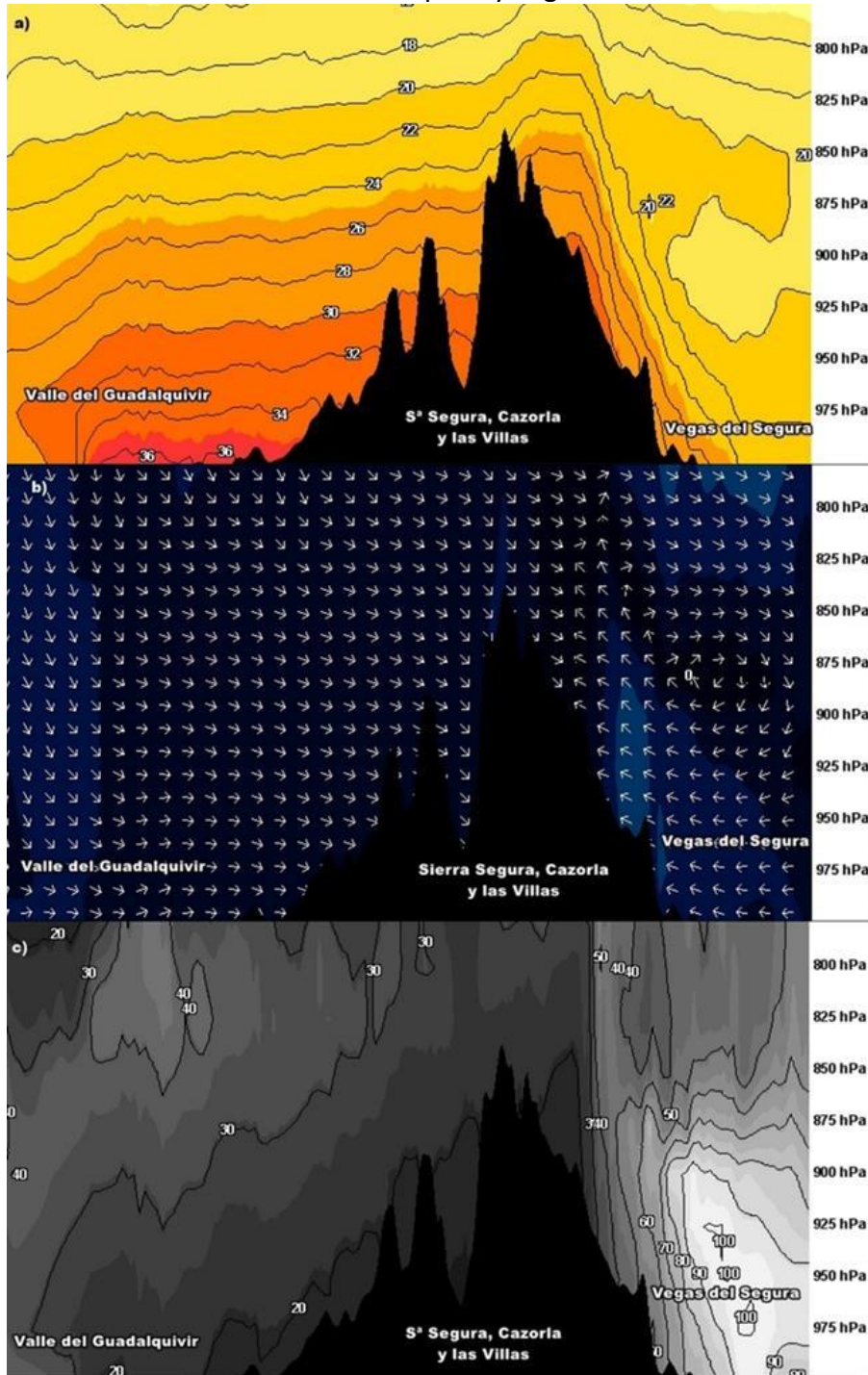
Revista de Estudios Andaluces, núm. 36 (2018) pp. 1-25. e-ISSN: 2340-2776

<http://dx.doi.org/10.12795/rea.2018.i36.01>



Esta obra se distribuye con la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0.)

Figura 1. a) Temperatura (°C), b) dirección y velocidad viento (km/h) y c) humedad relativa (%), correspondiente al perfil modelizado el 25 de julio de 2017 por el Weather Research and Forecasting (WRF) entre los geopotenciales de 1000 y 775 hPa, entre las desembocaduras de los ríos Guadalquivir y Segura.



Fuente: Elaboración propia a través de la herramienta de www.meteociel.fr



Respecto al calor nocturno, los valores mínimos arrojan resultados más coincidentes entre ambas capitales de provincia, aunque es la ciudad de Murcia la que registra valores mínimos más elevados, debido quizás a la influencia ejercida por el mayor calentamiento de las aguas superficiales del Mar Mediterráneo durante el verano. De hecho, ambos núcleos se localizan en el fondo de depresiones topográficas, donde las inversiones térmicas impiden que los valores mínimos estivales sean más elevados que en zonas adyacentes o marginales. Tal circunstancia, es compensada en parte por el efecto de isla calor de ambas ciudades. En concreto, a las 05 UTC, durante el periodo estival, el centro urbano de Murcia presenta como promedio 2,3°C más que la periferia (Hernández *et al.*, 2009). A pesar de su emplazamiento en la Depresión Prelitoral del Sistema Bético, la ciudad de Murcia cuenta con un número medio de noches tropicales por año bastante significativo, en total 51 frente a las 40 de Sevilla, que representan el 14 y el 11% del total anual de noches respectivamente, y alrededor de 2/3 del conjunto de noches del período estival. En zonas marginales del valle, situadas al pie de la ladera, como La Alberca (Murcia), se alcanza un promedio de 65,1 noches de este tipo al año. Por causa de las inversiones térmicas nocturnas ya aludidas, las madrugadas ecuatoriales (>25°C) resultan muy poco frecuentes en ambas ciudades. El promedio de días al año con temperaturas nocturnas superiores a 25°C en Sevilla y Murcia se sitúa en 1,1 y 0,3 respectivamente, aunque, no obstante, su ocurrencia está experimentando un incremento significativo durante los últimos años. Tan sólo Córdoba capital, Linares (Jaén), y algunas zonas de medianías de la provincia jienense, se acercan a 2,0 madrugadas ecuatoriales al año.

El índice WSDI o racha cálida es un excelente indicador de la persistencia del calor durante la estación estival. En este sentido, desde el año 1900 se contabilizan en Sevilla 210 episodios de WSDI que suman un total de 1852 días, o lo que es lo mismo, un promedio de 8,8 días consecutivos al año por encima del umbral P90 de 36,2°C. En cambio, la ciudad de Murcia ha registrado en el mismo periodo 94 episodios, integrados en conjunto por 849 jornadas que superan el P90 de 34,6°C estimado en dicho caso, lo que significa una media de 9 días por episodio. A pesar de que Murcia tiene una menor frecuencia de rachas cálidas, éstas son ligeramente más duraderas que en Sevilla, donde las advecciones “frescas” atlánticas suelen romper su continuidad. Sin embargo, las advecciones del Mediterráneo provocan entradas de aire más cálidas y frecuentes en Murcia, que permiten superar el umbral térmico del WSDI durante intervalos de tiempo más prolongados.

5. TENDENCIA DEL CALOR EXTREMO

Durante las últimas décadas se aprecia en ambas ciudades un claro aumento de los valores extremos estivales. El análisis de los principales indicadores de calor extremo obtenidos para el período 1900-2016 ofrece resultados muy interesantes. Los promedios de las temperaturas máximas durante los meses de julio y agosto han aumentado significativamente, sobre todo en Murcia, donde, desde principio de siglo XX, se ha producido un incremento de 1,8°C en términos absolutos y de 0,2°C por década. Por su parte, el aumento medio de las temperaturas mínimas estivales es también bastante significativo en Sevilla y Murcia, con incrementos totales de 1,7 y 2,1°C y relativos de 0,1 y 0,2°C /década respectivamente, en particular durante los últimos 20 años (Figura 2). Estos datos concuerdan con las estimaciones de Moratiel *et al.* (2017), que sitúan entre 0,2 y 0,4°C /década el incremento de las temperaturas medias estivales en el sur peninsular.

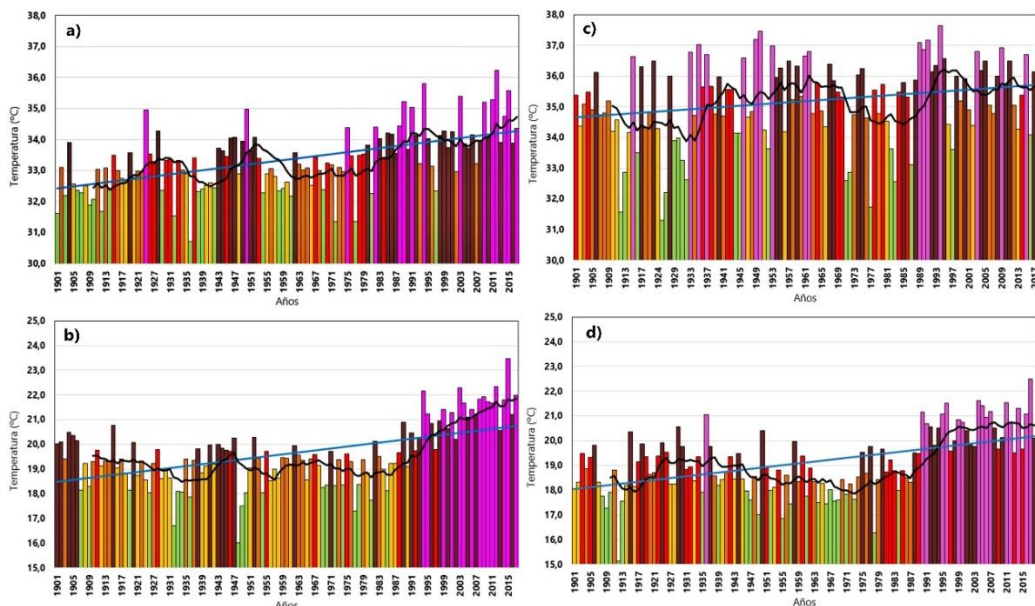
Revista de Estudios Andaluces, núm. 36 (2018) pp. 1-25. e-ISSN: 2340-2776

<http://dx.doi.org/10.12795/rea.2018.i36.01>



Esta obra se distribuye con la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0.)

Figura 2. Evolución temporal de las temperaturas medias de las máximas en julio y agosto en: a) Murcia y c) Sevilla, y temperaturas medias de las mínimas en julio y agosto en: b) Murcia y d) Sevilla.



Fuente: Elaboración propia a través de datos meteorológicos de AEMET Open Data.

Respecto a los principales índices climáticos de calor extremo, es de destacar la importante subida que registra Sevilla en TX25, con un ascenso medio de 3,6 días/década, y un claro contraste de la media de TX25 entre las primeras décadas del siglo XX (140 jornadas/año) y la actualidad (180 jornadas/año) (Cuadro 3). Sin embargo, en relación con el número de jornadas de calor más extremo (TX35), la ciudad de Murcia muestra mayor incremento (1,7 días/década) que Sevilla. En términos absolutos, durante la última década en Murcia se han registrado 19 días de TX35 más por año que en la primera década del siglo XX (Figura 3). Este hecho corrobora el aumento del umbral P90 de las temperaturas máximas en el sur peninsular, ligado al incremento de la altura del geopotencial a 500 hPa y a la disminución del Scandinavian Index (SCAND) según Rodríguez-Puebla *et al.* (2010).

Del mismo modo, los TX40 también muestran un incremento al alza significativo, especialmente en Sevilla cuyo incremento total de 3,5 días por año desde 1900 supone una media de 0,3 días/década, que, no obstante, es mucho mayor en los últimos años (Figura 4). De hecho, los ascensos medios por década se sitúan entre 0,2 y 0,7°C para el sur peninsular durante décadas recientes (Dasari *et al.*, 2014) ó de 0,1 y 0,6°C para Sevilla en el futuro periodo de referencia 2046-2065 (Pereira *et al.*, 2017).

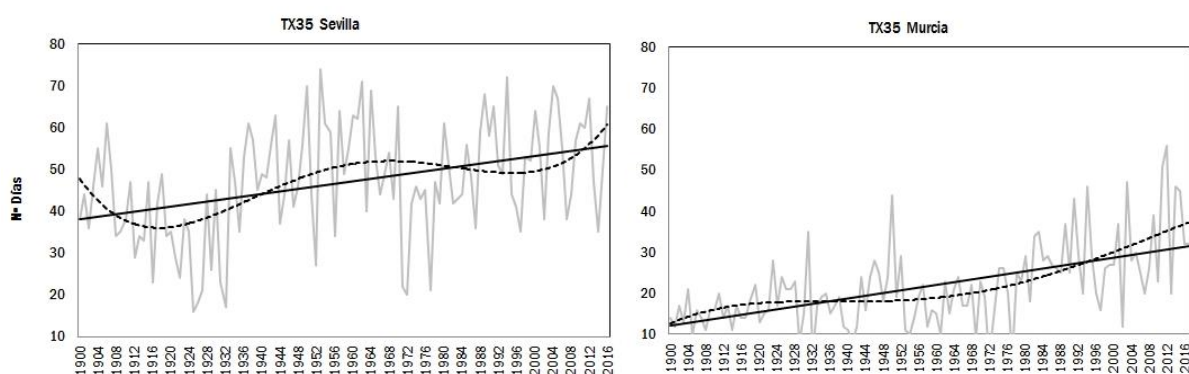
Sin duda, tal y como ocurre en el resto de territorio nacional, y sobre todo en ámbitos prelitorales y litorales, el aumento del número de noches tropicales (TN20) ha sido realmente significativo durante las últimas décadas en Sevilla y Murcia (3,2 y 3,3 noches/década). A principios del siglo XX, el promedio de TN20 estimado para ambas ciudades se situaba en 20,3 y 25,7 días/año respectivamente, o sea menos de un mes completo de madrugadas calurosas.

Cuadro 3. Tendencia estadística (nivel de confianza del 95%) de los principales índices de calor estivales en las ciudades de Sevilla y Murcia (1900-2016).

Climate Index	Sevilla		Murcia	
	¿Tendencia significativa?	Tipo de tendencia	¿Tendencia significativa?	Tipo de tendencia
Tm (Jul-Ago) (°C)	Sí	+0,07 / década	Sí	+0,16 / década
Tn (Jul-Ago) (°C)	Sí	+0,15 / década	Sí	+0,18 / década
TX25 (Days)	Sí	+3,60 / década	Sí	+2,64 / década
TX35 (Days)	Sí	+1,52 / década	Sí	+1,66 / década
TX40 (Days)	Sí	+0,31 / década	Sí	+0,11 / década
TN20 (Days)	Sí	+3,20 / década	Sí	+3,35 / década
TN25 (Days)	Sí	+0,19 / década	Sí	+0,07 / década
WSDI Anual (Nº Rachas)	Sí	+0,08 / década	Sí	+0,13 / década
WSDI Junio (Nº Rachas)	No	+0,02 / década	No	+0,01 / década
WSDI Julio (Nº Rachas)	No	+0,03 / década	Sí	+0,07 / década
WSDI Agosto (Nº Rachas)	No	+0,02 / década	Sí	+0,04 / década
WSDI Sept. (Nº Rachas)	No	+0,01 / década	No	+0,01 / década
WSDI Anual (Nº Days)	Sí	+0,84 / década	Sí	+1,28 / década
WSDI Junio (Nº Days)	No	+0,14 / década	No	+0,06 / década
WSDI Julio (Nº Days)	Sí	+0,50 / década	Sí	+0,56 / década
WSDI Agosto (Nº Days)	No	+0,12 / década	Sí	+0,58 / década
WSDI Sept. (Nº Days)	No	+0,07 / década	No	+0,08 / década

Fuente: Elaboración propia a través del cálculo estadístico de los datos de Sevilla y Murcia (AEMET). Open Data de AEMET.

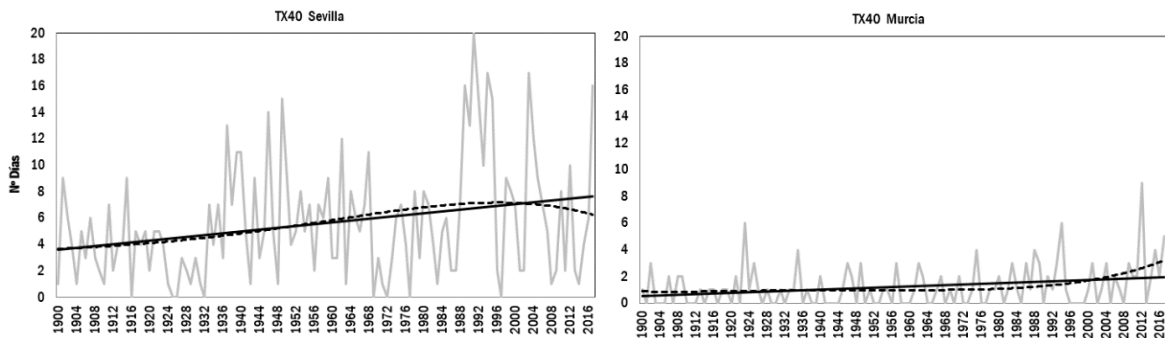
Figura 3. Tendencia estadística de TX35 en Sevilla y Murcia (1900-2016).



Fuente: Elaboración propia a través de los datos de temperatura de Sevilla y Murcia (AEMET). Open Data de AEMET.



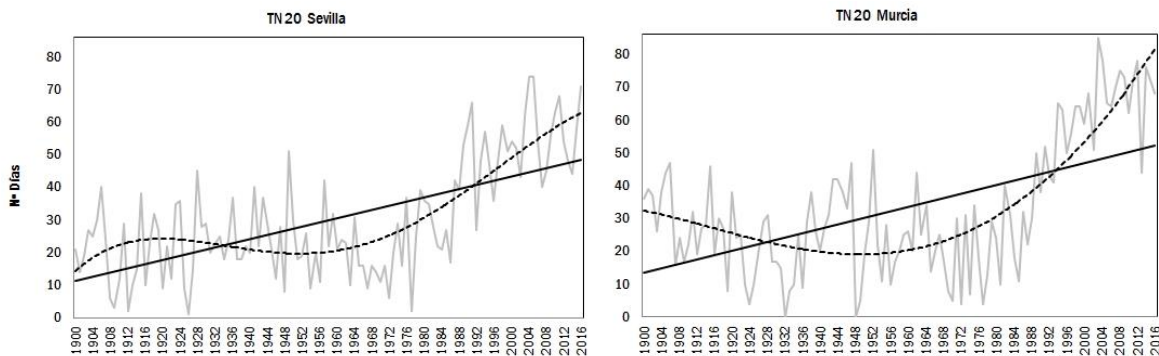
Figura 4. Tendencia estadística de TX40 en Sevilla y Murcia (1900-2016).



Fuente: Elaboración propia a través de los datos de temperatura de Sevilla y Murcia (AEMET). Open Data de AEMET.

Durante las últimas décadas, los valores se han duplicado, y hasta triplicado, para alcanzar promedios de 66,3 noches tropicales en Murcia y 54,4 en Sevilla, que abarcan prácticamente los dos meses centrales de julio y agosto completos (Figura 5). Fernández-Montes y Rodrigo (2012), en su estudio sobre tendencias de los índices de calor extremo en la Península Ibérica, asignan a la ciudad de Murcia un primer nivel de afección de noches tropicales (C1), mientras que Sevilla, y gran parte del Valle del Guadalquivir, aparecen incluidas dentro de la categoría C2, caracterizada por una incidencia algo menor de noches cálidas.

Figura 5. Tendencia estadística de las noches tropicales (TN) en Sevilla y Murcia (1900-2016). Las rayas discontinuas representan las medias móviles.



Fuente: Elaboración propia a través del cálculo estadístico de los datos de Sevilla y Murcia (AEMET). Open Data de AEMET.

Este hecho es tan relevante en Murcia que, durante los últimos veranos, se han registrado períodos de más de 40 madrugadas consecutivas con temperaturas por encima de 20°C. Durante el verano de 2014 se produjeron 51 TN20 seguidas entre julio y agosto, mientras que en 2015 se alcanzó el extraordinario record de 70 noches tropicales consecutivas (entre el 28 de junio y el 5 de septiembre). Finalmente, durante el reciente verano de 2017 se constató un total de 42 noches tropicales consecutivas en la ciudad de Murcia (entre el 6 de julio y el 30 de agosto). Dicha persistencia de secuencias largas de calor nocturno estival es cada vez más frecuente desde los últimos años, no solamente a orillas del Mediterráneo, sino también en la fachada atlántica (Royé y Ezpeleta, 2015).

Revista de Estudios Andaluces, núm. 36 (2018) pp. 1-25. e-ISSN: 2340-2776

<http://dx.doi.org/10.12795/rea.2018.i36.01>

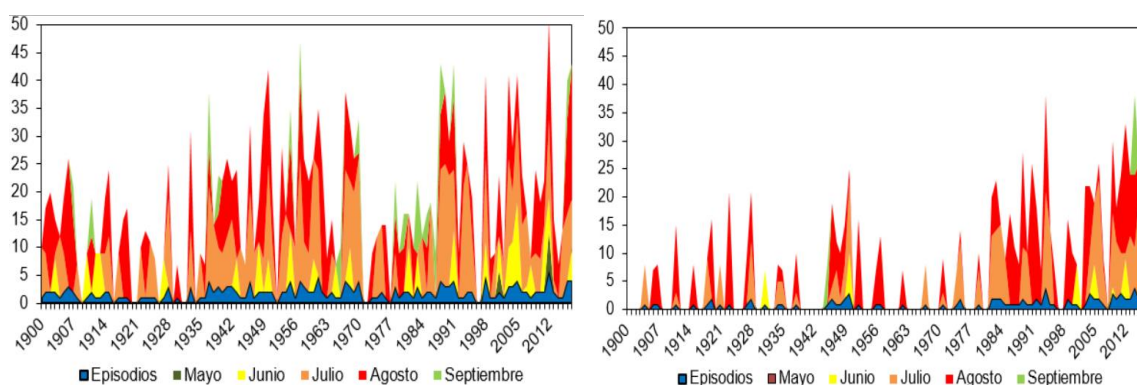


Esta obra se distribuye con la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0.)

Las madrugadas ecuatoriales (TN25), a pesar de ser bastante menos frecuentes, también adquieren una relevancia significativa en ambas ciudades, especialmente en Sevilla, con incrementos absolutos de 2,2 días por año. Durante las primeras décadas del siglo XX apenas son relevantes, siendo algo excepcional o muy poco frecuente (0,4 al año). Sin embargo, durante los últimos veranos se ha convertido ya en un hecho bastante recurrente el registro de secuencias de cinco o más madrugadas ecuatoriales. De continuar con esta tendencia alcista, dicho fenómeno será objeto de especial atención en la investigación del clima durante las próximas décadas (Espírito Santo *et al.*, 2013).

Por último, el análisis de las rachas cálidas (WSDI) muestra una tendencia significativa al incremento de los episodios cálidos en Sevilla y Murcia. En referencia al número de episodios, ambas ciudades registran claras tendencias anuales positivas (0,08 y 0,13 episodios/década respectivamente), aunque sólo la ciudad de Murcia muestra incrementos notables en julio y agosto (0,07 y 0,04/década respectivamente), mientras que Sevilla no ofrece tendencias positivas en ningún mes. En relación al número total de jornadas anuales con WSDI, ambas anotan tendencias positivas, con incrementos de 0,84 días/década en Sevilla y de 1,28 días/década en Murcia. Las tasas de incremento en los meses de julio y agosto son también mayores en Murcia (0,6 y 0,7 días/década respectivamente), frente al aumento de 0,5 días/década observado en Sevilla durante incremento en la duración de las rachas cálidas se ha constatado incluso en el norte de Europa, donde parece estar asociado al aumento altitudinal del geopotencial a 500 hPa, que indica la presencia altas presiones más reforzadas en niveles altos acompañada por anomalías positivas de T850 Tomczyk *et al.*, 2017).

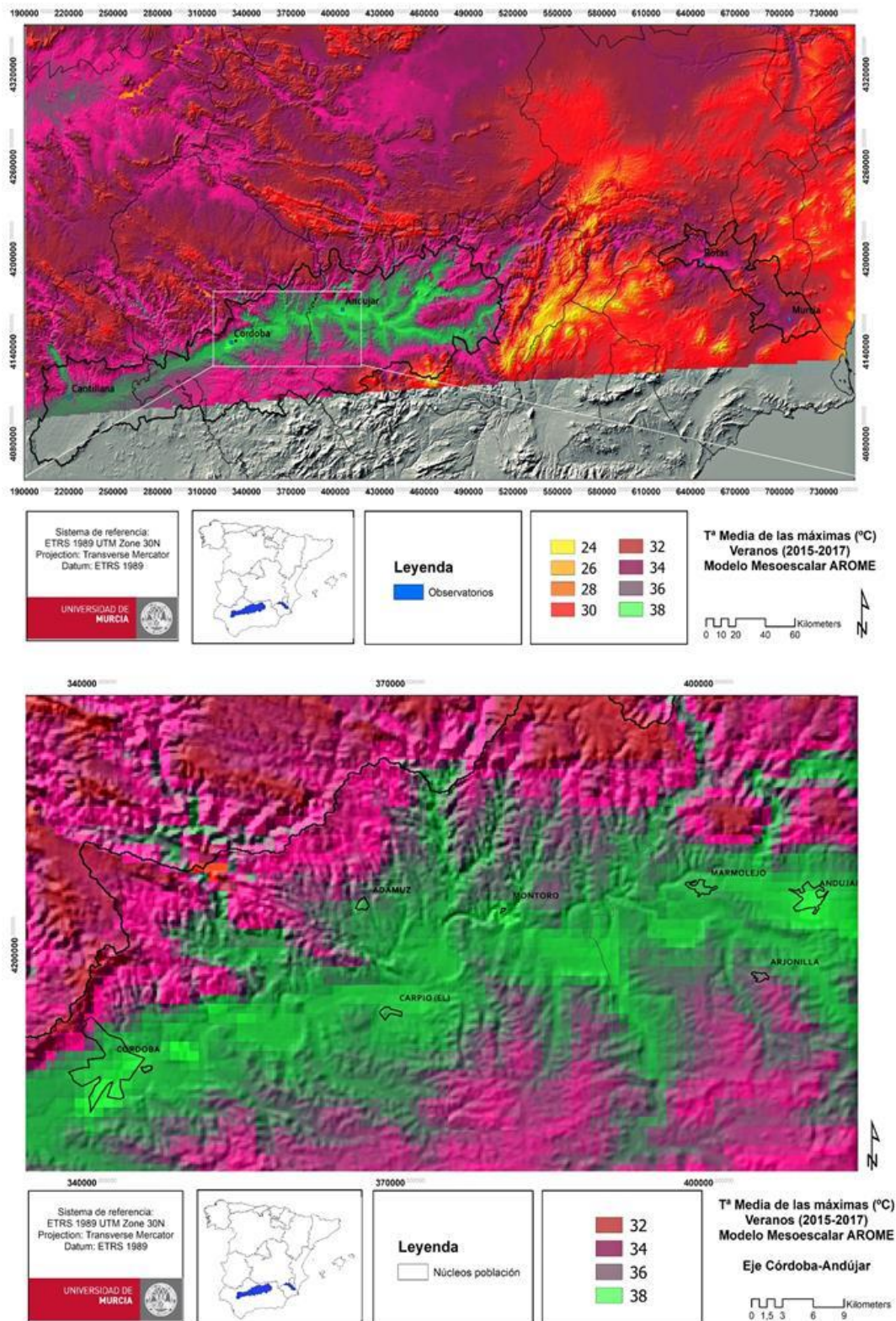
Figura 6. Evolución de las rachas cálidas (WSDI) en Sevilla y Murcia (1900-2016).



6. CARTOGRAFÍA DE ALTA RESOLUCIÓN

A continuación, se ha elaborado una cartografía de detalle, donde se representa la distribución espacial de las temperaturas medias máximas y mínimas de ambas áreas. La primera salida cartográfica (Figura 7) ha sido obtenida por el modelo mesoescalar de alta resolución AROME 1.3 km, que, como ya se ha demostrado en otras ocasiones, ofrece resultados muy satisfactorios respecto a las temperaturas registradas en superficie.

Figura 7. Temperaturas medias de las máximas de los veranos 2015-2017 a través del modelo mesoescalar AROME 1.3 km, y detalle del eje Córdoba - Andújar.



Fuente: Elaboración propia a través del modelo mesoescalar AROME 1.3 km.



Los valores de temperaturas máximas estimados por este modelo han sido testados con los registros de los últimos tres veranos (2015-2017) en los observatorios de ambas áreas de estudio, obteniendo un error medio de 0,2°C. Se trata, por tanto, de un modelo de predicción muy adecuado de las temperaturas máximas estivales en zonas llanas, de baja altitud y cierto grado de continentalización. Incluso, en el caso de la estimación de las temperaturas máximas extremas durante el periodo estival, los valores residuales proporcionados por AROME 1.3 km coinciden con los observados en algunos núcleos, como Cantillana (Sevilla) y Andújar (Jaén), demostrando así su alto grado de fiabilidad en el cálculo y representación espacial de este tipo de datos. Tal como se aprecia en la Figura 7, las zonas con las temperaturas máximas más elevadas se sitúan entre Córdoba capital y Santo Tomé – Vilches (Jaén), con valores medios entre 36 y 38°C. El pixel con el valor más elevado (38,2°C), dentro de ambas áreas de estudio, corresponde a la ubicación de Las Quemadas (este de Córdoba), seguido de los 38,1°C obtenidos al sur del casco urbano de Córdoba, y la Barriada del Puente de Linares (Jaén). Con un valor igualmente muy alto (37,9°C) aparece el centro de Andújar, configurando así, junto con los anteriores emplazamientos, uno de los polos más cálidos del país.

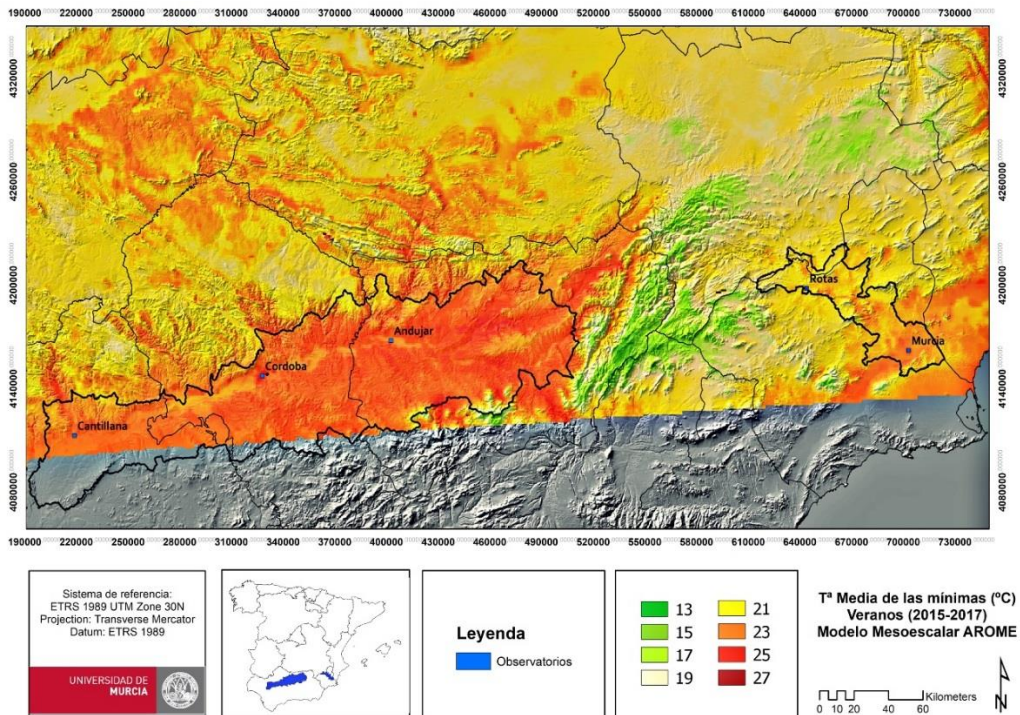
Efectivamente, durante el verano de 2017, las temperaturas más elevadas, que coincidieron con varias efemérides absolutas, se registraron en Montoro (Córdoba) (47,3°C) y Córdoba (Aeropuerto) (46,9°C). Respecto a las Vegas del Segura, los valores son bastante menos extremos, y a pesar de ello se alcanzan medias bastante significativas en la Vega Alta del Segura: 35,4°C en el paraje de Rotas (noreste de Calasparra) y 35,2°C en Macaneo y Almadenes, entre Calasparra y Cieza, y en la Vega Media: 34,7°C en Las Torres de Cotillas y 34,6°C en los centros urbanos de Alcantarilla y Murcia.

En cambio, en la predicción de las temperaturas mínimas, los resultados del modelo AROME 1.3 km muestran una importante desviación, del orden de -3,1°C, respecto de los valores de temperatura superficial registrados en los observatorios. En particular, se ha comprobado que las temperaturas superficiales de las zonas afectadas por procesos de inversión térmica son bastante más bajas que las pronosticadas por el modelo, tal como ya demostró Auger *et al.* (2015) para AROME–NWC. En este caso, los píxeles de temperatura mínima más elevada (25,7°C) corresponden a las áreas céntricas de las ciudades de Jaén y Córdoba, seguidos de los parajes rurales del norte de Úbeda y Baeza, y del casco urbano de Bailén (25,3°C), todos en la provincia de Jaén (Figura 8). En las Vegas del Segura, los valores mínimos más elevados, en torno a 23,5°C, se concentran en la ciudad de Murcia.

Los métodos observacionales a través de satélite MYD11A1 proporcionan peores resultados. De hecho, las temperaturas máximas obtenidas a partir de ellos difieren mucho de las registradas en superficie, debido al carácter acumulativo de calor de la superficie durante horas centrales del día y a la influencia de los usos del suelo y tipos de materiales en los niveles de albedo (emisividad). Además, sus resultados presentan una diferencia media de -5,8°C con los datos de los observatorios meteorológicos utilizados en la comparativa. Por tanto, se descarta, en este caso, la opción del satélite MODIS, al no ofrecer un buen ajuste entre los valores térmicos altos estimados y los reales, ni representar de forma adecuada la distribución espacial de las temperaturas extremas (Figura 9).

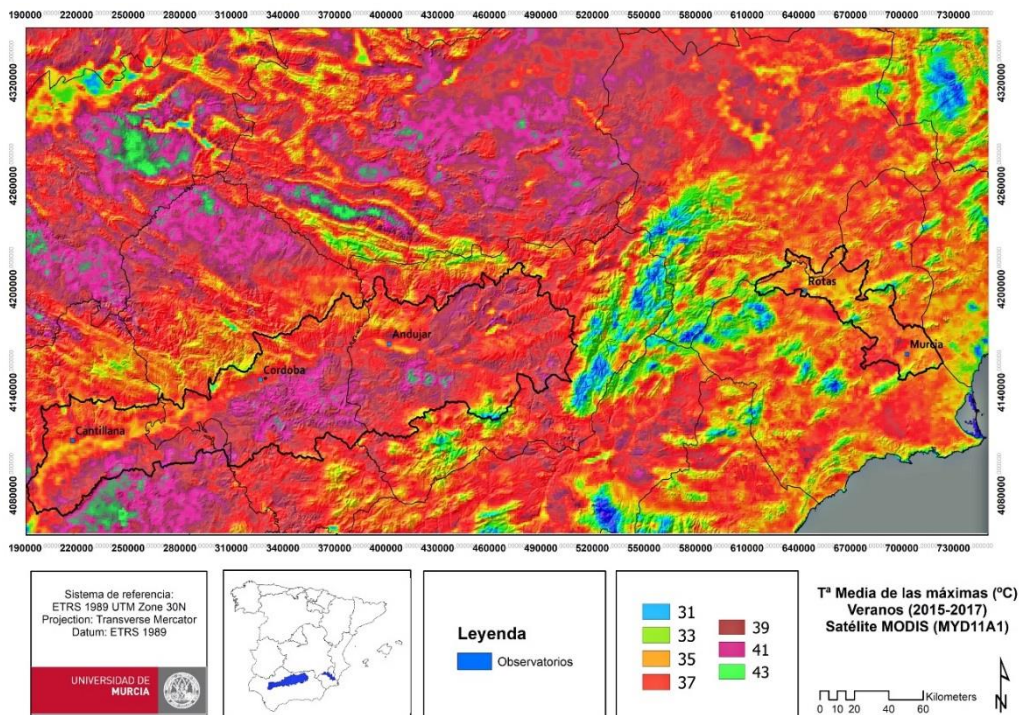


Figura 8. Temperaturas medias de las mínimas de los veranos 2015-2017 a través del modelo mesoescalar AROME 1.3 km.



Fuente: Elaboración propia a través del modelo mesoescalar AROME 1.3 km.

Figura 9. Temperaturas medias de las máximas de los veranos 2015-2017 a través del satélite Aqua MODIS (MYD11A1).



Fuente: Elaboración propia a través del satélite Aqua MODIS (MYD11A1).



Por el contrario, las temperaturas mínimas sí son fielmente reflejadas por los datos del satélite MODIS, ya que permiten representar con bastante nitidez las zonas de inversión térmica en espacios amplios y las zonas rurales sin capacidad para almacenar aire frío nocturno. Además, durante la noche apenas hay calentamiento superficial. El principal hándicap radica en que el paso del satélite se efectúa a primera hora de la madrugada, por lo que el valor obtenido es más elevado que la temperatura mínima final registrada a primeras horas de la mañana (Cuadro 4). En ese sentido, tal y como se muestra en la Figura 10, los valores más elevados, cercanos a 27°C, corresponden a las capitales de provincia de Sevilla y Córdoba, y a la zona de medianía montañosa del este de la provincia de Jaén, en las inmediaciones del Embalse de Giribaile (500 - 600 m de altitud), entre Linares, Baeza y Vilches (Jaén). En concreto, durante el verano meteorológico de 2017, se registraron temperaturas mínimas absolutas de 29,2°C en Osuna (Sevilla), 28,8°C en Doña Mencía (Córdoba) y Santa Elena (Jaén), o 28,5°C en Linares o Jaén (Jaén), corroborando así el carácter altamente cálido de este sector durante las noches estivales. Por el contrario, en las Vegas del Segura, sólo el Área Metropolitana de Murcia destaca por sus elevadas temperaturas mínimas medias en verano (23-24°C).

Cuadro 4. Diferencias de temperatura (°C) entre los valores máximos estimados por el modelo mesoescalar de alta resolución (AROME 1.3) y la imagen infrarroja del satélite MODIS (Aqua MYD11A), con respecto a las temperaturas máximas y mínimas registradas en superficie para los meses de julio y agosto (2015-2017).

Observatorios	AROME 1.3		MODIS (Aqua MYD11A)	
	Tª Max	Tª Min	Tª Max	Tª Min
Cantillana	0.0	-2.1	-4.2	-1.4
Córdoba	0.6	-2.7	-4.6	-2.3
Andújar	0.0	-6.4	-7.8	-3.6
Rotas – Calasparra	-0.1	-3.4	-3.0	-2.3
Murcia	0.5	-1.0	-9.0	-1.9
Total	0.2	-3.1	-5.8	-1.7

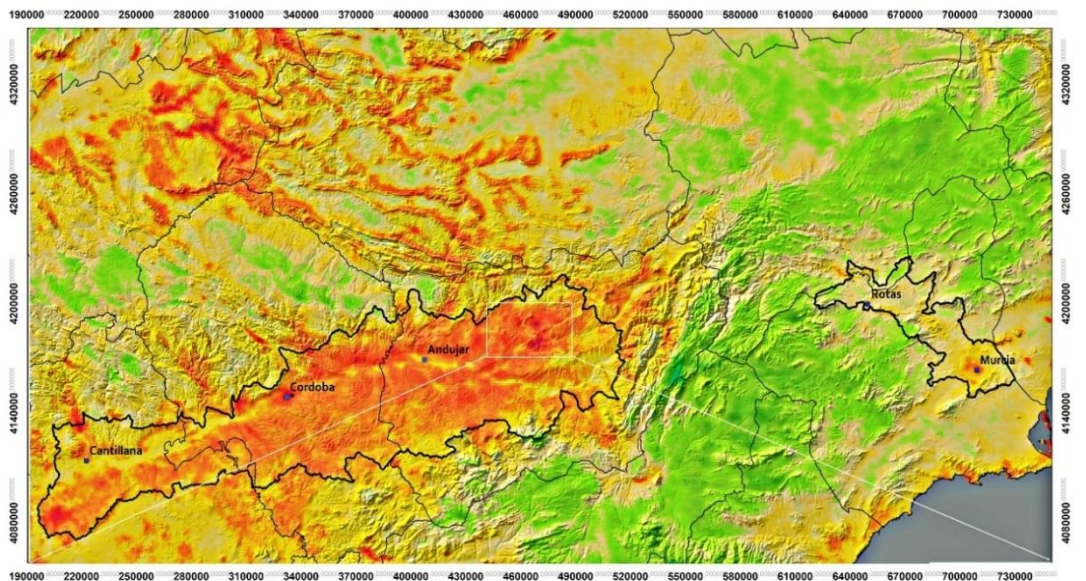
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de AROME 1.3 y Aqua MODIS.

La influencia del Atlántico y del Mediterráneo se nota, no obstante, en ambos extremos del área de estudio, tanto en Cantillana (Sevilla) como en Las Rotas (Calasparra), donde el contenido de humedad relativa durante el verano asciende a 21,4 y 21,8% respectivamente. Incluso, la ciudad de Murcia presenta valores medios del 26%. De esta forma, se explica que la influencia de la baja humedad relativa en tierras interiores, como las del eje Córdoba – Andújar, favorezca la ocurrencia de temperaturas máximas ligeramente más elevadas que en la provincia de Sevilla, y mucho más acusadas que en las Vegas del Segura.

Finalmente, cabe señalar que el índice de calor o temperatura de bochorno (Humidex) tiende a asemejarse entre el Valle del Guadalquivir y las Vegas del Segura, debido a la influencia de la humedad relativa. El Humidex máximo medio durante el verano es de 38,2°C en Córdoba (sin



Figura 10. Temperaturas medias de las mínimas de los veranos 2002-2017 a través del satélite Aqua MODIS (MYD11A1), y detalle del eje Bailén – Navas de San Juan (Jaén).



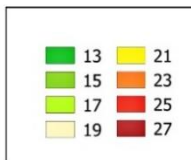
Sistema de referencia:
ETRS 1989 UTM Zone 30N
Proyección: Transverse Mercator
Datum: ETRS 1989

UNIVERSIDAD DE MURCIA



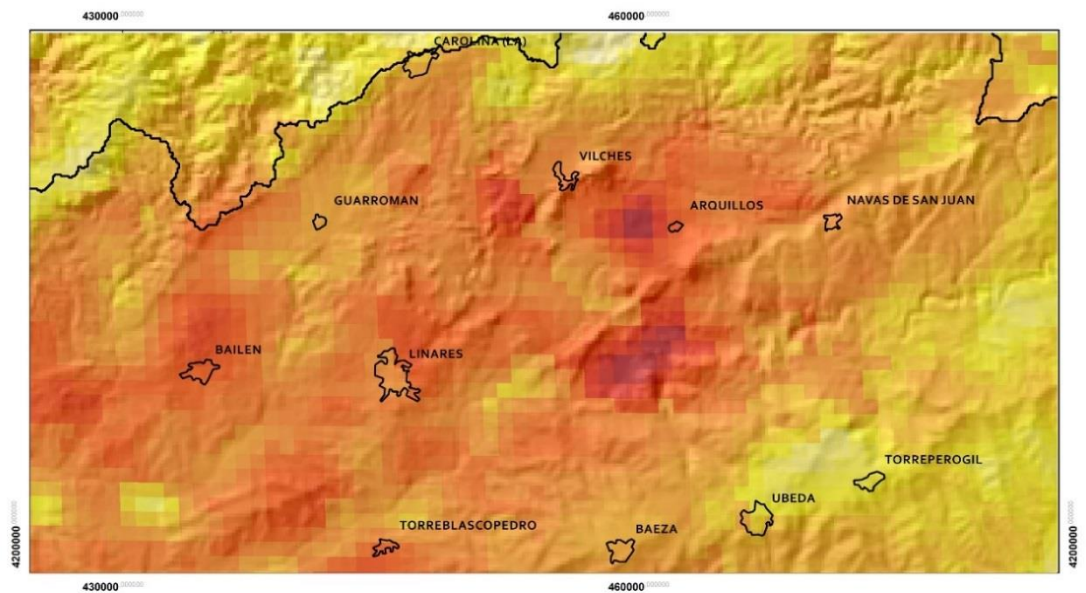
Leyenda

Observatorios



Tª Media de las mínimas (°C)
Veranos (2015-2017)
Satélite MODIS (MYD11A1)

0 10 20 40 60 Kilometers



Sistema de referencia:
ETRS 1989 UTM Zone 30N
Proyección: Transverse Mercator
Datum: ETRS 1989

UNIVERSIDAD DE MURCIA



Leyenda

Núcleos población



Tª Media de las mínimas
(Veranos 2015-2017)
Satélite MODIS (MYD11A1)

Eje Bailén - Navas de San Juan

0 1 2 4 6 Kilometers

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del satélite Aqua MODIS (MYD11A1).

Revista de Estudios Andaluces, núm. 36 (2018) pp. 1-25. e-ISSN: 2340-2776

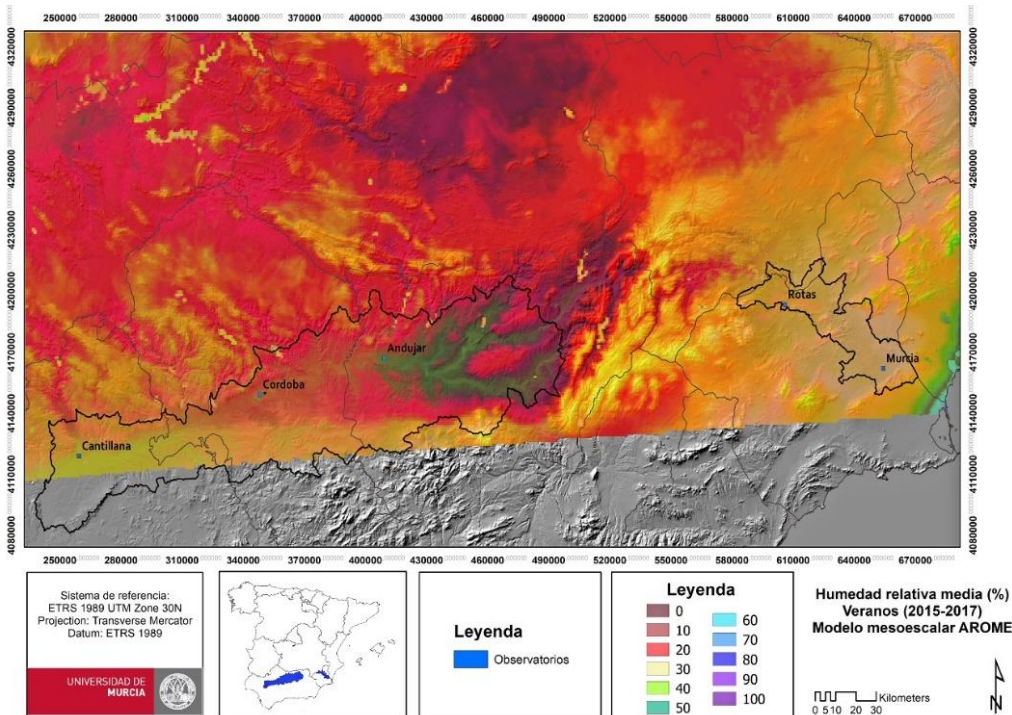
<http://dx.doi.org/10.12795/rea.2018.i36.01>



Esta obra se distribuye con la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0.)

variación respecto al correspondiente valor térmico) y de 36,8°C en Murcia (2°C más que la temperatura máxima media) (Figura 11).

Figura 11. Humedad relativa media de los valores mínimos diarios (%) en los veranos 2015-2017 a través del modelo mesoescalar AROME 1.3 km.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del satélite Aqua MODIS (MYD11A1).

7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos a través de la modelización mesoescalar AROME 1.3, las imágenes de satélite MODIS y las series estadísticas de las estaciones meteorológicas de AEMET se ha elaborado una cartografía de los polos cálidos en ambas zonas de estudio. En ella se pone de manifiesto que el Valle del Guadalquivir presenta los extremos térmicos más elevados tanto en valores máximos como mínimos, de ahí el Nivel 1 que figura en los mapas correspondientes a dicha zona (Mapa 3). En concreto, los polos cálidos de temperaturas máximas siguen un eje bien definido sobre el cauce del río Guadalquivir, desde Córdoba capital hasta los sectores más orientales de la provincia de Jaén (Vilches y Peal del Becerro), que constituye el sector más cálido de la Península Ibérica.

Las temperaturas mínimas, a diferencia de la distribución lineal de los valores máximos, se concentran en polos cálidos aislados de perímetro circular o escasa elongación (Mapa 3). Entre ellos destacan los localizados en las medianías del noreste de la provincia de Jaén (Vilches – Linares), el Área Metropolitana de Córdoba, varios enclaves de los municipios de Marmolejo y Adamuz (Córdoba), y la ciudad de Sevilla, junto con algún sector septentrional aislado de su provincia. Esta distribución espacial es avalada por los promedios que registran los observatorios de AEMET en el Valle del Guadalquivir, según los cuales temperaturas medias estivales más elevadas, de 28,5 a

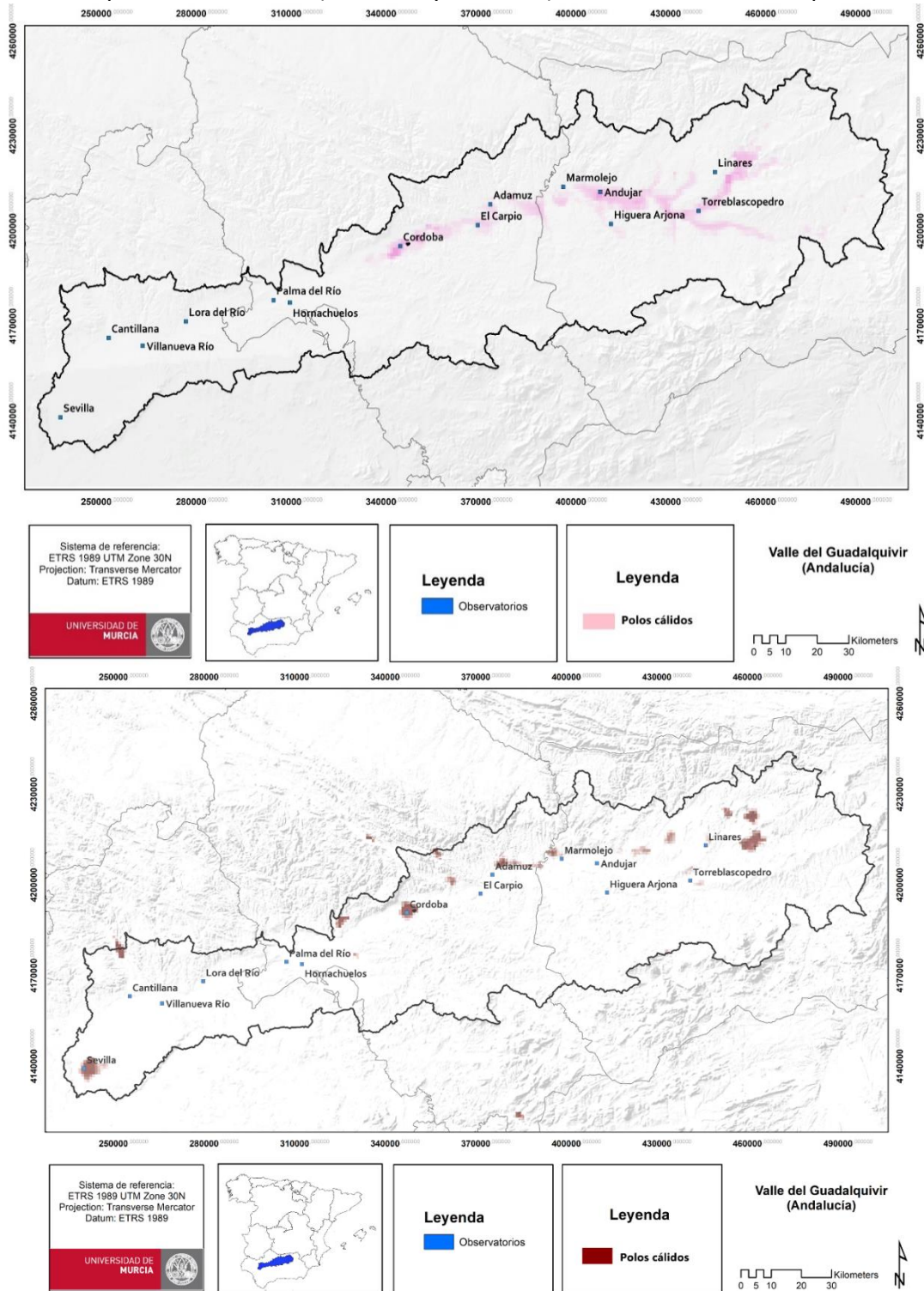
Revista de Estudios Andaluces, núm. 36 (2018) pp. 1-25. e-ISSN: 2340-2776

<http://dx.doi.org/10.12795/rea.2018.i36.01>



Esta obra se distribuye con la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0.)

Mapa 3. Polos cálidos (máximos y mínimos) en el Valle del Guadalquivir.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del modelo AROME 1.3 y del satélite Aqua MODIS.



28,8°C, se concentran en la zona de Bailén-Vilches-Linares, debido principalmente a la influencia de las altas temperaturas mínimas alcanzadas durante los meses de julio y agosto.

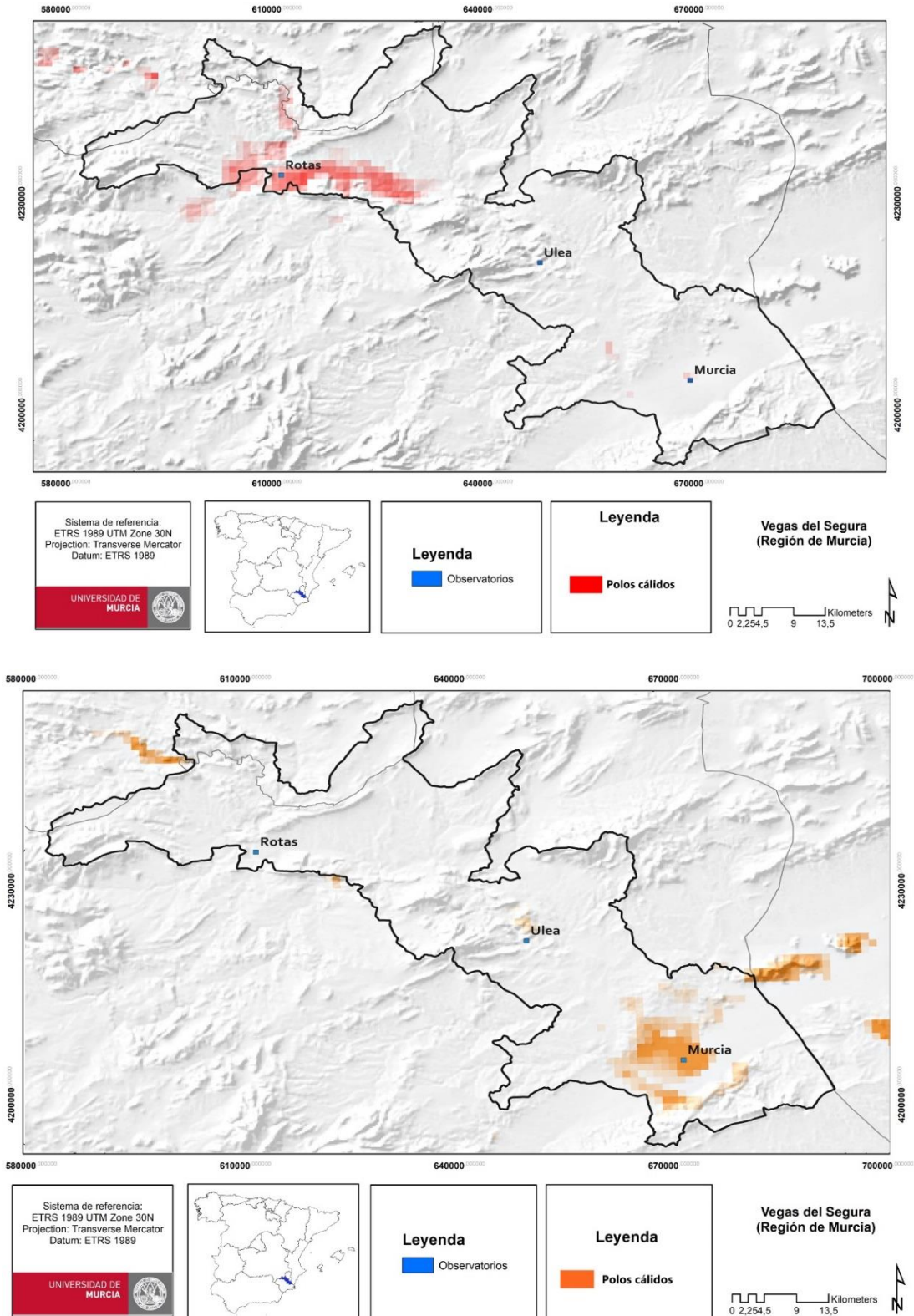
En cambio, los resultados obtenidos en las Vegas del Segura corresponden a niveles más modestos que el Valle del Guadalquivir, aunque el sector ubicado en las proximidades de Calasparra a Cieza (Rotas, Macaneo y Almadenes) constituye un importante polo térmico, con temperaturas máximas bastante significativas.

Las temperaturas mínimas más altas durante la época estival se concentran, en cambio, en el Área Metropolitana de Murcia, pero también distan bastante de las registradas en el interior jienense y en las grandes ciudades del Valle del Guadalquivir, cada vez más influidas por el efecto de isla-calor (Mapa 4) (De la Morena, 2010, atribuye a dicho efecto diferencias de hasta 5°C entre el centro de Sevilla y la Puebla del Río durante los meses de julio y agosto). Respecto a las temperaturas medias estivales estimadas según datos de AEMET, el promedio más elevado corresponde a la ciudad de Murcia (27,5°C), seguido del sector Abarán-Blanca-Cieza (27°C), sin duda, debido también a las altas temperaturas mínimas alcanzadas en dicha estación.

Cabe destacar además que la tendencia de calor extremo es significativamente positiva en ambas zonas de estudio, sobre todo en el caso de los índices TX30 y TN20, que presentan incrementos de 1,6 y 3,3 días por década respectivamente, y del WSDI (índice de recurrencia y duración de las rachas cálidas), cuyo aumento es más notorio en el mes de julio. Todos estos índices indican un alargamiento de los periodos de calor, en consonancia con el incremento de la temperatura media, tal como ya se ha comprobado en otras muchas regiones. El mayor incremento de los episodios de WSDI se produce en las regiones tropicales del planeta, principalmente en los meses estivales y otoñales, y dentro de su orla marginal, el sur de la Península Ibérica presenta uno de los valores más elevados a nivel planetario, posiblemente asociado a cambios en la longitud de la onda de calentamiento (Orlowsky y Seneviratne, 2012).



Mapa 4. Polos cálidos (máximos y mínimos) en las Vegas del Segura.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del modelo AROME 1.3 y del satélite Aqua MODIS.



REFERENCIAS

Alexander, L., Donat, M., Takayama, Y., y Yang, H. (2011). The CLIMDEX project: creation of long-term global gridded products for the analysis of temperature and precipitation extremes. In *WCRP Open Science conference*, Denver.

Auger, L., Dupont, O., Hagelin, S., Brousseau, P., y Brovelli, P. (2015). AROME–NWC: a new nowcasting tool based on an operational mesoscale forecasting system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 141(690), pp 1603-1611.
<https://doi.org/10.1002/qj.2463>

Domínguez Bascón, P. D. (2002). *Clima regional y microclimas urbanos en la provincia de Córdoba*. Universidad de Córdoba. Servicio de Publicaciones.

Capel Molina, J. J. (1975). *Clima de la cuenca baja del Guadalquivir: tipos de tiempo*. Estudio geográfico (Doctoral dissertation, Universidad de Granada, Departamento de Geografía).

Capel Molina, J. J. (1977). Insolación y nubosidad en la España peninsular y Baleares. *Paralelo*, 37, 9-24.

Capel Molina, J. J. (1978). Tipos de tiempo de verano en el Bajo Guadalquivir. *Estudios Geográficos*, 39(151), 163.

Conesa García, C. y Alonso Sarria, F. (2006). El Clima de la Región de Murcia. En Conesa García, C. (Ed.), *El Medio Físico de la Región de Murcia*. Cap. 3. Servicio de Publicaciones, Universidad de Murcia. Murcia, pp. 95-127.

Cunha, S., Silva, A., Cabrinha, V., Nunes, L.F., Mendes, L., Marques, J., Mendes, M., Neto, J. (2011). *Atlas climático ibérico*. Agencia Estatal de Meteorología, 80 pp. ISBN: 978-84-7837-079-5.

Dasari, H. P., Pozo, I., Ferri-Yáñez, F., & Araújo, M. B. (2014). A regional climate study of heat waves over the Iberian Peninsula. *Atmospheric and Climate Sciences*, 4(05), 841.

De la Morena Carretero, B. A. (2010). Estudio de la isla de calor urbana en el área metropolitana de Sevilla. In *CONAMA 10º Congreso Nacional del Medio Ambiente*.

Espín Sánchez, D. (2016). Aumento de la peligrosidad por calor extremo en el Área Metropolitana de Murcia: estudio de índices térmicos y olas de calor. En *XV Coloquio Ibérico de Geografía Retos y tendencias de la Geografía Ibérica*. Murcia.

Espín Sánchez, D. y Conesa García, C. (2017). Extreme heat in the Guadalquivir and Segura River Valleys (Spain): contrasts and a case study of the summers in 2015-2016. Comparison using the high-

Revista de Estudios Andaluces, núm. 36 (2018) pp. 1-25. e-ISSN: 2340-2776

<http://dx.doi.org/10.12795/rea.2018.i36.01>



Esta obra se distribuye con la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0.)

resolution mesoscale model AROME 1.3 km. En Joint Congress of the 6th International Conference on Meteorology and Climatology of the Mediterranean & Challenges in Meteorology 5.

Espírito Santo, F., de Lima, M. I. P., Ramos, A. M., y Trigo, R. M. (2014). Trends in seasonal surface air temperature in mainland Portugal, since 1941. *International Journal of Climatology*, 34(6), 1814-1837. <https://doi.org/10.1002/joc.3803>

Fernandez Montes, S., y Rodrigo, F. S. (2012). Trends in seasonal indices of daily temperature extremes in the Iberian Peninsula (1929–2005). *International Journal of Climatology*, 32(15), 2320-2332. <https://doi.org/10.1002/joc.3399>

Garrido, R., Palenzuela, J. E., y Bañón, L. M. (2014). *Atlas climático de la Región de Murcia*. Agencia Estatal de Meteorología, 167 pp.

Gavilán Zafra, P. D. (2002). La advección de calor sensible en el valle medio del Guadalquivir y su influencia en la medida y la estimación de la evapotranspiración (Doctoral dissertation, PhD thesis, Agricultural and Mountain Engineering, University of Cordoba, Spain).

Gómez-Zotano, J., Alcántara-Manzanares, J., Olmedo-Cobo, J. A., y Martínez-Ibarra, E. (2015). La sistematización del clima mediterráneo: identificación, clasificación y caracterización climática de Andalucía (España). *Revista de Geografía Norte Grande*, (61), 161-180. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022015000200009>

Hernández García, E., Bañón Peregrín, L., y Belda, F. (2009). Desmontando tópicos: aproximación al diferente comportamiento térmico entre la ciudad de Murcia y sus alrededores. *Anuario Meteorológico de la Agencia Estatal de Meteorología 2009*, pp. 240-247.

Karl, T.R., N. Nicholls, and A. Ghazi, (1999). CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary. *Climatic Change*, 42, 3-7. DOI: 10.1023/A:1005491526870

López Cotín, F. y Ramos Calzado, L. (1999). Descripción de la ola de calor de julio de 1995. *IV Simposio Nacional de Predicción del Instituto Nacional de Meteorología*. Madrid: Instituto Nacional de Meteorología, 1999, p. 3-10.

Moratiel, R., Soriano, B., Centeno, A., Spano, D., y Snyder, R. L. (2017). Wet-bulb, dewpoint, and air temperature trends in Spain. *Theoretical and Applied Climatology*, 130(1-2), 419-434. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1891-x>

Orlowsky, B., y Seneviratne, S. I. (2012). Global changes in extreme events: regional and seasonal dimension. *Climatic Change*, 110(3), 669-696. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0122-9>



Pereira, S. C., Marta-Almeida, M., Carvalho, A. C., y Rocha, A. (2017). Heat wave and cold spell changes in Iberia for a future climate scenario. *International Journal of Climatology*, 37(15), 5192-5205. <https://doi.org/10.1002/joc.5158>

Rivera Pérez, A.M. (1978). La ola de calor del 14-19 de julio de 1978, en algunas regiones de la mitad sudoriental de la Península Ibérica, una aproximación de la Meteorología Sinóptica, *Paralelo 37*, 2, 117-143.

Rodríguez-Puebla, C., Encinas, A. H., García-Casado, L. A., y Nieto, S. (2010). Trends in warm days and cold nights over the Iberian Peninsula: relationships to large-scale variables. *Climatic Change*, 100(3-4), 667-684. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9721-0>

Roye, D., y Ezpeleta, A. M. (2015). Analysis of the tropical nights in the Atlantic coast of the Iberian Peninsula. a methodological proposal. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (69), 351-368.

Rydén, J. (2017). Statistical modelling of warm-spell duration series using hurdle models, *SORT (Statistics and Operations Research Transactions)*, 41 (1), 177-188. <https://doi.org/10.2436/20.8080.02.57>

Toledano, C., Cachorro, V. E., Berjon, A., De Frutos, A. M., Sorribas, M., De la Morena, B. A., y Goloub, P. (2007). Aerosol optical depth and Ångström exponent climatology at El Arenosillo AERONET site (Huelva, Spain). *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 133(624), 795-807. <https://doi.org/10.1002/qj.54>

Tomczyk, A. M., Piotrowski, P., y Bednorz, E. (2017). Warm spells in Northern Europe in relation to atmospheric circulation. *Theoretical and Applied Climatology*, 128(3-4), 623-634.

Viedma Muñoz, M. (1998). Análisis de las direcciones de los vientos en Andalucía. *Nimbus*, 1, pp. 153-168

Zhang, X. Hegerl, G., Zwiers, F.W., Kenyon, J. (2005). Avoiding inhomogeneity in Percentile-Based Indices of Temperature Extremes. *Journal of Climate*, 18, 1641-1651. <https://doi.org/10.1175/JCLI3366.1>

