Nº 69, enero-junio de 2018, pp. 41-53.
ISSN: 0213-4691. eISSN: 1989-9890.
DOI: 10.14198/INGEO2018.69.03

Investigaciones Geográficas
Instituto Interuniversitario de Geografía
Universidad de Alicante

Cita bibliográfica: Quereda Sala, J., Montón Chiva, E. & Quereda Vázquez, V. (2018). La elevación de las temperaturas en el norte de la Comunidad Valenciana: valor y naturaleza (1950-2016). *Investigaciones Geográficas,* (69), 41-53. https://doi.org/10.14198/INGEO2018.69.03

La elevación de las temperaturas en el norte de la Comunidad Valenciana: valor y naturaleza (1950-2016)

The increase in temperatures in the north of the Valencia region: value and nature (1950-2016)

José Quereda Sala[1]
Enrique Montón Chiva[2]
Victoria Quereda Vázquez[3]

Resumen

Este estudio trata de evaluar rigurosamente la magnitud del calentamiento climático en la Comunidad Valenciana. Magnitud que constituye el eje científico básico del trascendente proceso de Cambio Climático. La investigación se ha basado en los registros de la red regional de AEMET (Agencia Estatal de Meteorología) de 10 observatorios, con series de más de 67 años, que abarcan el período 1950-2016 en la Comunidad Valenciana (23.255 km²). El UHI (índice de calor urbano) fue determinado experimentalmente y las interacciones aire-mar registradas en la plataforma marina y en el observatorio de las Islas Columbretes también han sido utilizadas en el estudio. Un análisis regional que ha evidenciado la magnitud del calentamiento y mostrado algunas correlaciones físicas sobre las causas de este aumento de temperatura. En este sentido, la contribución de la radiación solar al forzamiento térmico, al menos regionalmente, puede ser algo mayor que el 10% reconocido en el Quinto Informe del IPCC (Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático).

Palabras clave: Cambio climático; temperaturas; efecto urbano; isla de calor; homogeneidad; Standard Normal Homogenity Test (SNHT); interacciones energéticas atmósfera-mar.

Abstract

The objective of this study is to try and get a better understanding of the magnitude of the effects of global warming in the Valencia region of Spain. The magnitude of this is the basic scientific theme that lies at the heart of the great environmental issue of climate change. The study was based on records of the AEMET (State Meteorological Agency) regional network of 10 observatories, with series dating back more than 67 years, covering the period 1950–2016 in the Valencia region (23,255 km²). The UHI (Urban Heat Index) was experimentally determined and the air–sea interactions recorded on the sea platform and Columbretes Island observatories were also used in the study. The regional analysis revealed the magnitude of the regional effects of global warming and it highlighted some physical correlations related to the causes of this rise in temperature. In this regard, the contribution of solar radiation to thermal forcing, at least regionally, could be slightly higher than the 10% acknowledged in the Fifth Assessment Report from the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).

1 Laboratorio del clima, Universitat Jaume I, España. quereda@uji.es
2 Laboratorio del clima, Universitat Jaume I, España. montone@uji.es
3 Laboratorio del clima, Universitat Jaume I, España. vikky.quereda@gmail.com

Recepción: 20/10/2017. **Aceptación:** 03/04/2018. **Publicación:** 13/06/2018.

Este trabajo se publica bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

Keywords: Climate change; temperatures; urban effect; heat island; homogeneity; Standard Normal Homogeneity Test (SNHT); energy atmosphere-sea interaction.

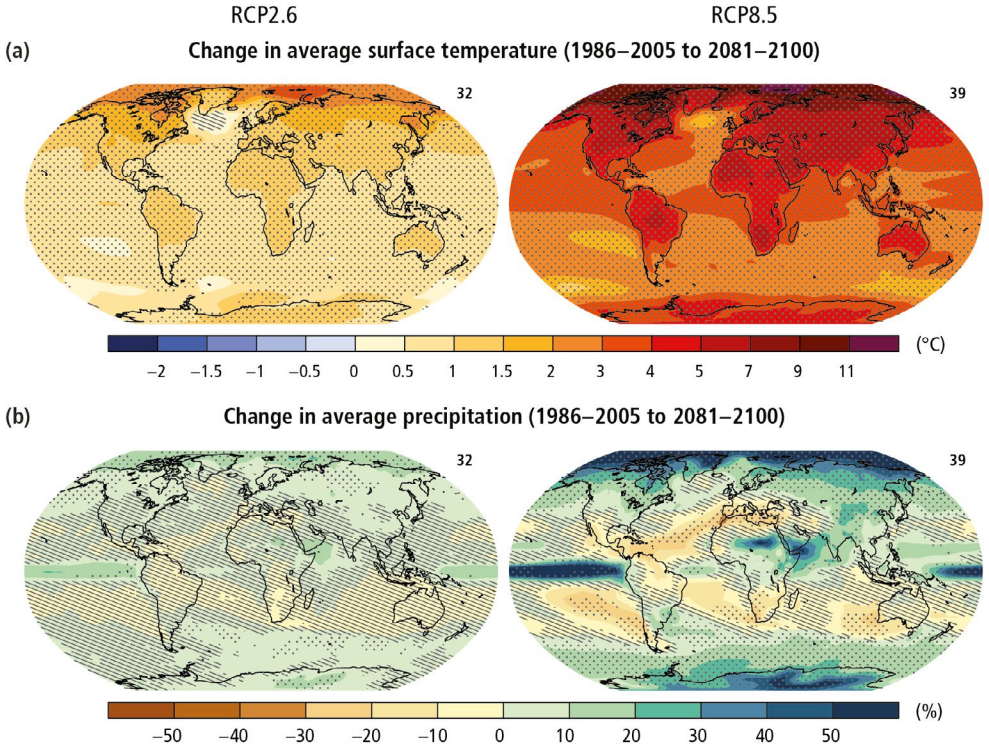
1. Introducción

El Cambio Climático constituye el mayor problema ambiental al que se enfrentará la sociedad en los próximos veinticinco o cincuenta años. Consecuentemente este proceso atmosférico se erige como uno de los mayores retos científicos actuales. Un reto sobre el que las grandes anomalías climáticas registradas en los últimos años, especialmente la elevación de las temperaturas, realimentan con urgencia. Esta elevación, auténtico eje del Cambio Climático, viene mostrando tendencias acusadas en la Comunidad Valenciana. El estudio de las mismas, en su verdadera magnitud y naturaleza, constituye el objetivo del presente trabajo. Un objetivo básico ante las actuales políticas de mitigación ya que como señala en su preámbulo El Plan Nacional para el Cambio Climático en España "no es lo mismo planificar una adaptación para un horizonte de calentamiento de 2 ºC que para otro de 4 ºC" (Ministerio de Medio Ambiente [MIMAM], 2007).

En efecto, desde fines del siglo XX hemos venido asistiendo a una notable tendencia de calentamiento climático acompañado por fenómenos extremos que se han intensificado en los comienzos del siglo XXI. En la Comunidad Valenciana, esos fenómenos extremos comprenden desde el actual verano de 2017, el tercero más cálido de los registros, tras los de 2003 y 2015 y los valores más altos en los registros anuales de temperatura con medias sobre los 19 ºC. Unos fenómenos de records térmicos que vienen caracterizando tanto a la climatologia regional como a la peninsular.

Esta significativa tendencia de elevación térmica determina que, en el estado actual de las investigaciones, resulte ya innegable la existencia de ese calentamiento climático. No obstante, este reconocimiento de la elevación térmica, no impide que resulte todavía muy aventurado afirmar tanto la verdadera magnitud del Cambio Climático regional así como su atribución exclusiva al efecto invernadero.

Figura 1. Cambios en temperatura y precipitación para los años 2081-2100



Fuente: IPCC, 2013.

En este orden de investigaciones, el estudio del cambio climático en la Comunidad Valenciana adquiere una gran trascendencia a tenor de las predicciones que los modelos de cambio climático desarrollados establecen sobre la región mediterránea. En efecto, los últimos informes del IPCC (IPCC, 2007 y 2013),

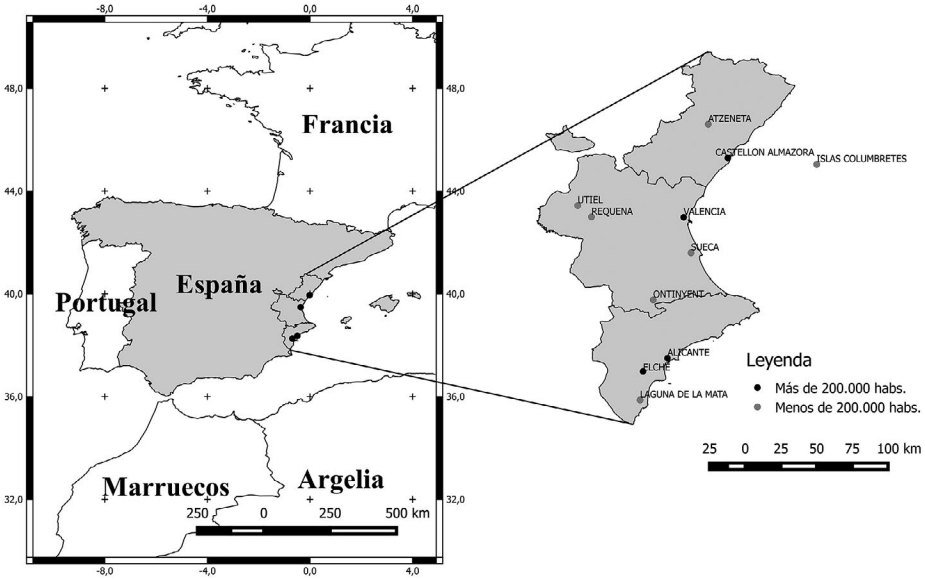
basados en los modelos del Hadley Centre, establecen que nuestra región mediterránea será la más vulnerable de Europa a los efectos del cambio climático. Vulnerabilidad debida a que, simultáneamente al aumento térmico regional de 1,5 a 3 ºC, durante el siglo XXI, se produciría una reducción de recursos hídricos básicamente vinculado a la intensificación del ciclo hidrológico. Un proceso de desertificación que vendría a determinar el mayor problema ambiental en tierras valencianas (figura 1).

2. Metolodogía

Consecuentemente con el objetivo señalado, el primer fundamento científico de nuestro estudio ha sido establecer, con el mayor rigor posible, las tendencias mostradas por la climatología regional entre 1950 y 2016, con el fin de verificar su magnitud así como su correspondencia con las proyecciones de los modelos de cambio climático.

Esta verificación la hemos realizado sobre una red regional de 10 observatorios (AEMET). Estos observatorios son los que disponen de series largas, más de 67 años, y cubren el período 1950-2016 sobre la Comunidad Valenciana (23.255 km²). Esta delimitación territorial proporciona una red térmica con gran cohesión espacial entre estaciones urbanas y "rurales" (Quereda *et al*., 2000). Al mismo tiempo, los diez observatorios de la Comunidad (figura 2) ofrecen un marco climático muy consistente con los procesos experimentales que sobre el UHI se han desarrollado en la zona de Castellón (2001-2016).

Figura 2. Mapa de la red regional de observatorios con series completas de temperatura durante el período 1950-2016



Fuente: AEMET. Elaboración propia.

Proceso capital de este análisis ha sido el control de homogeneidad de las series climáticas temporales de todos los observatorios regionales. Un control que desprenderá la verdadera magnitud de la heterogeneidad por efecto urbano, variaciones de entorno y otras. La metodología para este control es efectuada mediante la técnica (SNHT expuesta por Alexandersson (1986) y Alexandersson & Moberg (1997). Una metodología que recogiendo las mejores innovaciones estadísticas proporciona, hoy por hoy, una de las más óptimas aproximaciones al problema de tratamiento de las series climáticas temporales. En este último test, método de Alexandersson, una serie es definida como homogénea con relación a una serie sincrónica de referencia si las diferencias o ratios entre observaciones simultáneas constituyen una serie de números aleatorios. Para ello es obligado definir una serie de referencia. Esta serie debe imperativamente presentar caracteres de homogeneidad y buena correlación con la serie estudiada. No obstante, si bien es fácil encontrar para cada observatorio a testear, otro observatorio próximo presentando una buena correlación con la serie estudiada, resulta por el contrario delicado caracterizar la homogeneidad interna de cada serie. Ello obliga a calcular una serie media de referencia con las diferentes series y en la que las heterogeneidades queden difuminadas.

El cálculo consiste en una media ponderada mediante los cuadrados de los coeficientes de correlación a fin de que cada serie tenga el peso específico que le corresponda en la configuración de la serie de referencia. De este modo se forma una serie con las diferencias (temperaturas) y coeficientes (precipitaciones) entre los valores a testear y los de referencia. En esta serie, que es normalizada, el test trata de descubrir un cambio con respecto a la media. Para cada paso de tiempo, mes o año, un valor de test es calculado y comparado al valor crítico para una confianza dada. En caso de sobrepasar este valor crítico se considera que existe heterogeneidad. La fecha más probable de ruptura de homogeneidad corresponde al valor máximo del test.

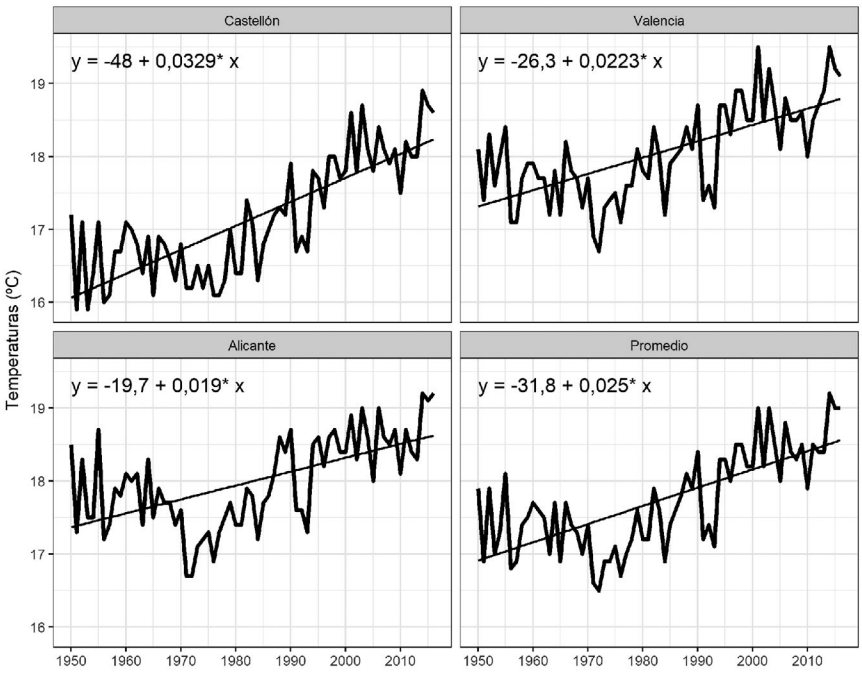
No obstante, a pesar de que el método de homogeneización del SNHT es uno de los más usados en el tratamiento de las series climáticas temporales (Aguilar, Auer, Brunet, Peterson, & Wieringa, 2003), no deja de contener una perversidad. Aquí radica una de las principales debilidades del método. En efecto, el procedimiento consiste en promediar series homogéneas o no, esperando atenuar el efecto de las rupturas en las series no homogéneas, que desgraciadamente son la mayor parte. Si ello permite la mayor parte del tiempo detectar las rupturas de homogeneidad sobre la serie en test, es preciso no olvidar que los coeficientes correctores deducidos de la serie de ratios pueden estar sesgados. Corregir una serie a partir de una serie de referencia implica generalmente la igualación de las tendencias de la serie corregida y de la serie de referencia. De este modo, si no se está seguro de la calidad de la serie de referencia, lo que es a priori el caso, los resultados pueden ser falseados. Es por ello por lo que adoptaremos una doble precaución. La primera, interna del método, es la de eliminar del cálculo de referencias las series claramente no homogéneas con coeficiente de correlación menor de 0,7. La segunda cautela será la de aplicar un método experimental desarrollado en el Plan de trabajo.

3. Resultados

3.1. Evolución de la temperatura regional

Los resultados del análisis evidencian una tendencia de calentamiento climático en la evolución de la temperatura de la Comunidad Valenciana. El valor medio secular de esta tendencia, en los observatorios de primer orden (Alicante, Valencia y Castellón), es notable: 2,4 ºC, equivalente a 1,6 ºC para el período 1950-2016. Este valor adquiere una magnitud de calentamiento "dramática", ya que tan sólo comenzó a detectarse a partir de 1980, después de una década anterior relativamente fresca (figura 3).

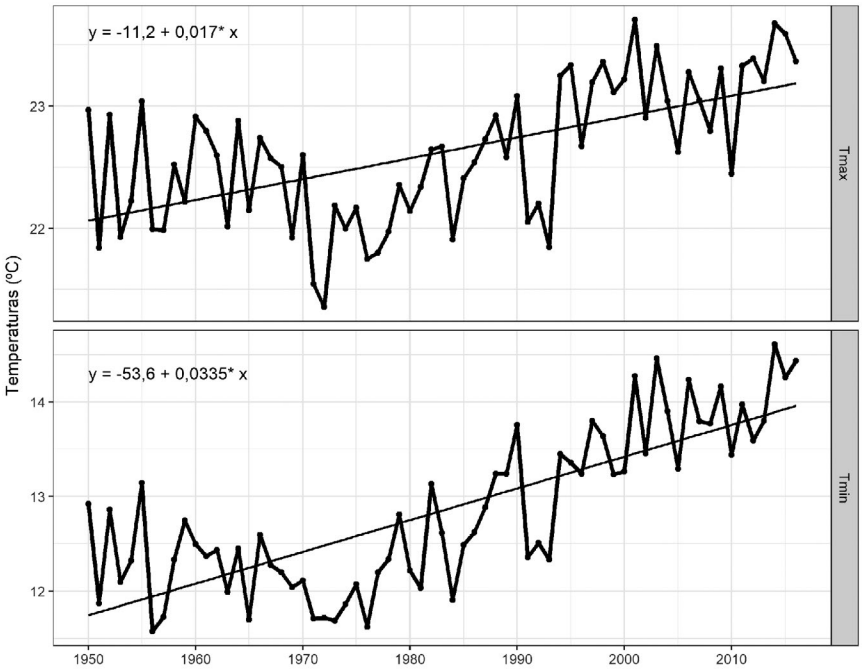
Figura 3. Evolución de la temperatura media anual (1950-2016) en la Comunidad Valenciana. Promedio de los tres observatorios de primer orden (Valencia, Alicante y Castellón), de la red regional (AEMET)



Fuente: AEMET. Elaboración propia.

Sin embargo, tanto el brusco aumento a partir de 1980, como las diferentes magnitudes de calentamiento registradas entre observatorios muy próximos: +0,033 ºC/año en Castellón, +0,022 ºC/año en Valencia y sólo +0,019 ºC/año en Alicante así como el diferente comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas, suscitan dudas con respecto a la naturaleza (antrópica o natural) y magnitud del calentamiento (figura 4).

Figura 4. Evolución y tendencia del promedio de las temperaturas máximas y mínimas anuales en la red de observatorios de primer orden (Alicante, Valencia y Castellón) (1950-2016)



Fuente: AEMET. Elaboración propia.

En consecuencia, las dudas que se presentan con respecto a las verdaderas magnitudes de calentamiento justifican un análisis de las mismas ya que parte de la subida de temperatura podría provenir del efecto de la urbanización., Este efecto ha sido evidenciado progresiva y acumulativamente, a medida que los observatorios han sido gradualmente envueltos por las ciudades en su expansión. El resultado de este proceso podría venir reflejado en el hecho de que la mayor parte de la subida térmica regional se haya producido en las temperaturas mínimas, con un valor de 0,033 ºC/año durante el período 1950-2016. Para el promedio de los tres observatorios, la evolución de las temperaturas máximas con un aumento de 0,017 ºC/año, durante el mismo período, apenas habría contribuido a la mitad del calentamiento en las temperaturas máximas. Nuestros resultados difieren de los obtenidos por Brunet *et al.* (2007), pero otras investigaciones coinciden en observar ese mayor incremento en las temperaturas mínimas en las áreas costeras mediterráneas (Miró, Estrela & Millán, 2006; Horcas, Rasilla & Fernández-García, 2001). Y no faltan estudios que lo vinculan a la urbanización (Gonzalez-Hidalgo, Peña-Angulo, Brunetti & Cortesi, 2015; Gonzalez-Hidalgo, Peña-Angulo, Jiménez-Castañeda & Brunetti, 2016). Esta controversia refuerza la incertidumbre científica sobre el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas (Easterling *et al.*, 1997; Folland *et al.*, 2001). En consecuencia, es preciso analizar el efecto sobre las temperaturas del calor urbano que persiste como una de las principales dudas en la identificación de la naturaleza y magnitud del calentamiento climático regional.

3.2. El análisis del UHI

Como hemos significado, toda una serie de procesos no climáticos siembra de dificultades e incertidumbres la analítica de la evolución de la temperatura regional. El más sutil y más importante de estos procesos es sin duda el efecto de calor urbano. Las ciudades se han convertido en células o burbujas de clima muy diferentes de los alrededores atmosféricos o rurales en que se encuentran. Este proceso, co-

nocido como UHI, parece haber sido ignorado con frecuencia y ello podría constituir un verdadero talón de Aquiles en los análisis de la evolución térmica global (Mitchell *et al.*, 1966; Sneyers, 1975; Easterling and Peterson, 1992; Lamarque and Jourdain, 1994; Easterling *et al.*, 1997; Moberg and Alexandersson, 1997; Venema *et al.*, 2013). Sin embargo, el Quinto Informe del IPCC (2013) ha comenzado a revisar profundamente esas consideraciones relativas al UHI. Los análisis del proceso en China y en otras áreas industrializadas han justificado tal revisión. Así, Efthymiadis & Jones (2010), concluyen que la influencia urbana sería de 0,02 º C por década y hasta un 15 % de la tendencia global del calentamiento registrado entre 1951 y 2009.

Menos categóricas se han mostrado las investigaciones desarrolladas sobre el efecto térmico urbano en la Península Ibérica y su fachada mediterránea. Ciertamente no han faltado reconocimientos sobre la importancia de este proceso en algunas grandes urbes, Madrid, Barcelona, Córdoba, Granada (López Gómez, López Gómez, Fernández García & Arroyo Ilera, 1988; Arroyo Ilera y Fernández García, 1991; Domínguez Bascón, 1999; Puigcerver i Zanón, 1999; Montávez, Rodríguez, & Jiménez, 2000). Sin embargo la mayor parte de las investigaciones concluyen que la tendencia de calentamiento es inequívoca tanto en los observatorios urbanos como en los rurales. Una tendencia que se manifiesta sin diferencias estadísticas significativas entre las temperaturas máximas y las temperaturas mínimas (Brunet *et al.*, 2007) y en la oscilación diurna de temperatura (DTR) (Kenawy, López-Moreno & Vicente-Serrano, 2012). Asimismo aparecería reflejada en los extremos térmicos estivales (Miró *et al.*, 2006; Fernández-Montes, Rodrigo, Seubert & Sousa, 2013), aunque el valor de incremento de los valores extremos haya sido inferior al de las temperaturas medias (Acero, García, Gallego, Parey & Dacunha-Castelle, 2014).

Figura 5. Red de estaciones utilizadas en este estudio: estación Marina de la Universidad en la plataforma petrolífera de BP, estaciones terrestres de la Universidad Jaume I (UJI, Casino, puerto) y Observatorio de Castellón-Almassora (AEMET)

Fuente: Universidad Jaume I, AEMET. Elaboración propia.

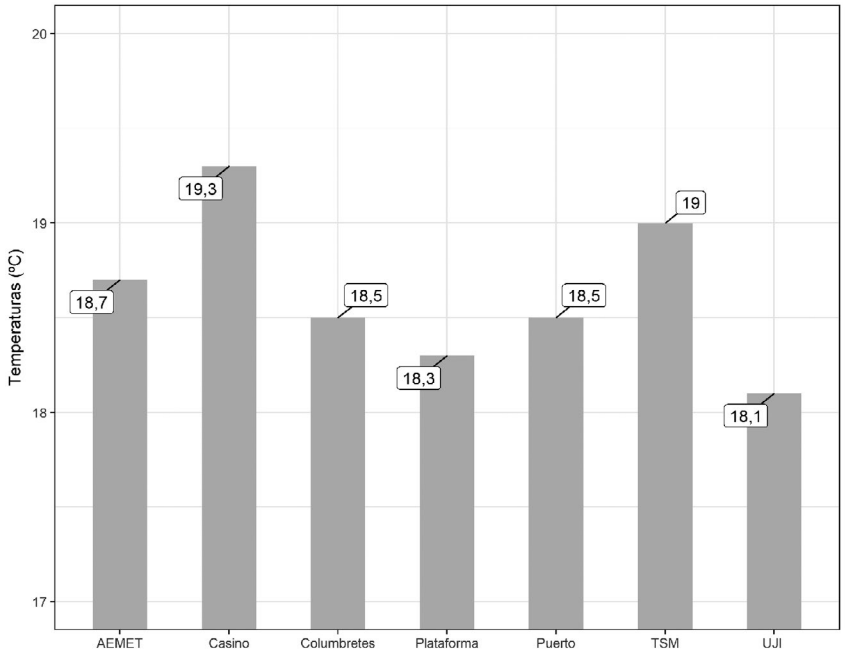
Este efecto del UHI ha sido objeto de un análisis experimental (2001-2016) basado en los registros de cinco estaciones de observación ubicadas en el entorno de la ciudad de Castellón. Ciudad que ha experi-

mentado un notable crecimiento demográfico (Membrado Tena, 2011; Martí Ciriquián y Ponce Herrero, 2011; Serafí Bernat *et al.*, 2015) en los últimos años: en 1970 la ciudad tenía 93.000 habitantes, mientras que en el año 2016 había cerca de 200.000 habitantes.

La investigación se ha basado en los registros de esas cinco estaciones de observación ubicadas en la zona de la ciudad de Castellón. De las cinco estaciones de observación, cuatro (Casino antiguo, UJI, puerto y plataforma) pertenecen a la red de la Universitat Jaume I (UJI) de estaciones meteorológicas automáticas, mientras que el quinto pertenece a la estación de primer orden Castellón-Almassora (Observatorio AEMET). Estos observatorios (figura 5), se seleccionaron para registrar la temperatura en el centro urbano de Castellón de la Plana (Casino Antiguo) y, al mismo tiempo, en las afueras de la ciudad (AEMET, UJI, puerto, y plataforma). Cada estación fue rigurosamente calibrada con dos instrumentos (CASELLA-DAVIS). El estudio experimental ha incluido también el Observatorio excepcional en las Islas Columbretes.

Los registros meteorológicos analizados muestran una gran diferencia entre la temperatura media anual (figura 6) de la estación del Casino Antiguo, en el centro de la ciudad, 19,3 ºC, y la de las otras tres estaciones meteorológicas ubicadas en la periferia urbana (AEMET, UJI y puerto), con registros medios de 18,5 ºC (puerto), 18,1 ºC (UJI, en el exterior del campus) y 18,7 ºC (AEMET). El valor medio de la estación del puerto era casi idéntico a la registrada en la estación de la plataforma petrolífera de BP (18,3 ºC), a 14 metros sobre el nivel del mar y en la interfase de aire-mar, con una TSM (temperatura superficial del mar) de 19 ºC. La temperatura media anual en las Islas Columbretes ha sido de 18,5 ºC.

Figura 6. Significativo valor de las temperaturas medias anuales en los diferentes observatorios (2001-2016), mostrando la magnitud que el UHI puede alcanzar



Fuente: Universidad Jaume I, AEMET. Elaboración propia.

Estos resultados han permitido evaluar la gran magnitud que el UHI puede adquirir. Así, suponiendo que los observatorios ubicados en el exterior de la ciudad de Castellón no estuviesen afectados por la influencia de calor urbano, el valor de UHI en relación con el centro urbano (Casino) oscilaría entre 0,6 ºC en el Observatorio AEMET (a sólo 2 km del centro de la ciudad de Castellón) y 1,2 ºC, 0,8 ºC y 0,8 ºC en el campus la UJI, Puerto y Columbretes respectivamente.

Los valores pueden resultar poco destacados, pero se debe tener en cuenta que se trata de los valores medios anuales. Otros estudios, realizados en el mismo ámbito regional, concretamente para la ciudad de Valencia, revelan valores de UHI mucho más destacados. Además de analizar un área urbana de mayor tamaño, se centran en los eventos más destacados, caso de algunas noches de invierno, que arrojan

registros de 3ºC de UHI, medidos por transectos en automóvil, y 4,5ºC, a través de imágenes de satélite NOAA (Caselles, López García, Meliá, & Pérez Cueva, 1991). La comparación entre los observatorios de Viveros y del Aeropuerto de Valencia da una diferencia en las temperaturas mínimas de entre 1,4 y 2ºC, como valores más frecuentes (Lehoczky, Sobrino, Skokovic & Aguilar, 2017).

Asimismo, esta magnitud de elevación de la temperatura atmosférica es coherente con la establecida entre 0,5 y 0,9 ºC, por el Instituto de Oceanografía en el período 1948-2007, en valor medio, para las aguas superficiales del Mediterráneo español (Vargas Yanez *et al.*, 2010). Asimismo, la evaluación reciente del aumento térmico regional en las principales series de Cataluña ha dado un incremento medio de 0,23 ºC por decenio entre 1950 y 2014 (Martín-Vide, Prohom & Busto, 2016). Un incremento que da un valor muy próximo al obtenido en nuestro análisis.

4. Discusión

Analizados los resultados, procede discutir dos cuestiones. ¿Las zonas urbanas contribuyen a la tendencia de calentamiento observada en el clima de la Comunidad Valenciana? La respuesta que se desprende de nuestro análisis es afirmativa. El análisis experimental verifica que el valor añadido de la UHI podría explicar hasta un 40 % del calentamiento registrado, muy en la línea del 50% del aumento térmico registrado para Estados Unidos por Kalnay & Cai (2003). En este orden de análisis, si el Observatorio de Castellón registró un aumento térmico de 2,2 ºC entre 1950 y 2016, la magnitud de calentamiento climático real resultaría ser inferior, de 1 ºC a 1,4 ºC, lógico teniendo en cuenta el importante crecimiento urbano sobre el territorio (Quereda, Montón & Quereda, 2016). Los cambios más dramáticos en el paisaje español se han dado en la costa mediterránea, sur y sudeste, por debajo de los 500 metros de altitud (Pena-Angulo, Cortesi, Brunetti & González-Hidalgo, 2015; Moliní y Salgado, 2010). Esa magnitud de aumento térmico vendría avalada por los registros térmicos insulares de las islas Columbretes, entre el período 1905-1926 (Wrobel, 1940) y el valor medio del período reciente 1992-2016 (AEMET). Los registros al principio del siglo corresponden a las observaciones del farero que vivía con su familia, en las islas en aquel momento. Los registros actuales corresponden a las observaciones de AEMET automatizadas desde 1992. Los registros indican que la temperatura media aumentó de 1,4 ºC entre el valor medio de 1906-1925, 17,1 ºC, y el valor medio de 1992-2016, 18,5 ºC. El incremento es aún más bajo, si recurrimos a las medias de idénticos períodos para la base de datos NOAA ERSST (Huang *et al.*, 2017), en el punto de grid más próximo a las islas: 0,89ºC. Preciso es de destacar que la técnica de medida antigua, semisuma de máxima y mínima, tan sólo ha mostrado un error inferior a 0,1 ºC en los registros marinos de la plataforma (2001-2012). Un error mínimo, entre 0,1 y 0,2 ºC, que ha sido verificado en las series térmicas de Cataluña (López Díaz, Aguilar Anfrons, Luna Rico, Prohom Duran, Gilabert Gallart, 2014).

Figura 7. Vista de las Islas Columbretes, a 28 millas náuticas de la costa de Castellón. (39°55′00″N-0°40′00″E), con la Illa Grossa, el Mascarat, la Senyoreta y el Montcolibre

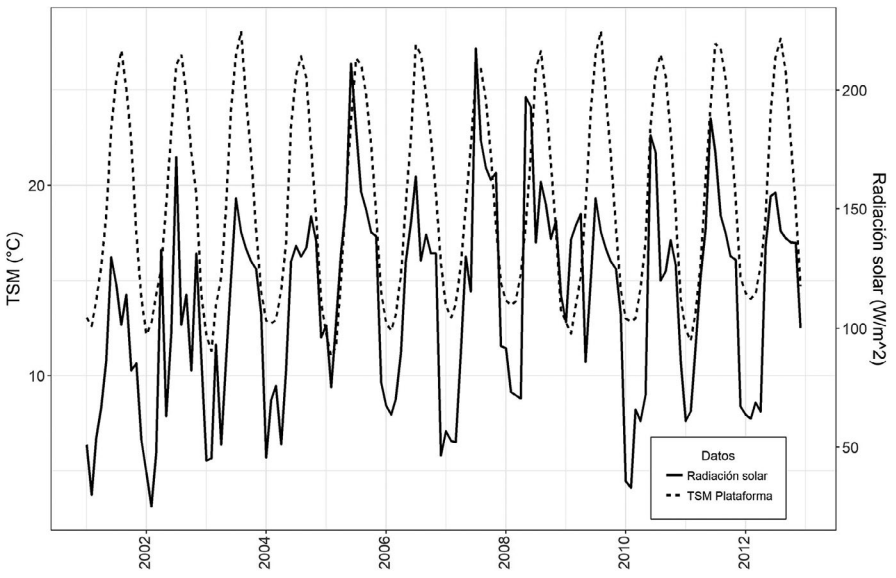
Fuente: Reserva Natural de les Illes Columbretes. (http://www.parquesnaturales.gva.es/web/pn-illes-columbretes).

La estación meteorológica insular está situada junto al faro automatizado en las Islas Columbretes, que comprenden cuatro pequeñas islas volcánicas a 28 millas de la costa de Castellón. El archipiélago, de naturaleza volcánica, está deshabitado y tiene una superficie sobre el nivel del mar de sólo 19 Hm^2, 14 de los cuales corresponden a la Illa Grossa, que se eleva a 67 metros sobre el nivel del mar, justo en el faro automatizado. La estación meteorológica se encuentra junto a las Casernas, a unos 37 metros de altitud, y sus registros fueron sometidos a un control sistemático de las correlaciones de tiempo con aquellos de la plataforma del mar y el faro del puerto de Castellón (figura 7). Unas correlaciones que han mostrado la gran influencia de la temperatura superficial del mar. Una temperatura marina que simultáneamente ha venido elevándose. Ello plantea la búsqueda de las bases físicas del Cambio Climático.

En segundo lugar, la determinación de este significativo calentamiento climático en la Comunidad Valenciana, no debe impedir la respuesta a una trascendente cuestión: ¿efecto de invernadero o actividad solar? Una cuestión básica en las actuales políticas de mitigación. Las bases científicas de los dos últimos informes del IPCC (IPCC, 2007 y 2013) establecen que en *un muy alto grado de confianza* el calentamiento climático global ha sido determinado por la actividad antropogénica. Así, el forzamiento antropogénico neto, desde 1750, equivaldría a 1,6 W/m^2, mientras que el debido a la irradiación solar habría sido de tan sólo 0,12 W/m^2.

Esta magnitud de forzamiento energético se revela altamente coherente con la calculada y registrada sobre las aguas mediterráneas durante el reciente período 2001-2012 (Quereda, Montón, Quereda y Mollá, 2013). La radiación solar global incidente ha registrado un valor de tendencia de 0,01, simultáneamente a un débil valor de calentamiento de las aguas superficiales de 0,0003. El aumento de la radiación solar sería equivalente a un valor medio de 0,16 W/m^2 (figura 8), mientras que la TSM, no parece haber mostrado variación apreciable en el período 2001-2012 y cuyo estudio plantea grandes incertidumbres. Así, los valores de aumento térmico durante la segunda mitad del XX dan resultados de pura abstracción, entre 0,01 y 0,19 ºC (Vargas Yañez *et al.*, 2009). Ambos valores llegan a ser superiores en estudios para el período más dilatado 1982-2012 (Shaltout & Omstedt, 2014). Especialmente es la observación de la TSM en las aguas superficiales de Cataluña, Estartit, para el período 1972-2017, en que se registra un aumento de 0,6 º (Meteo.cat, 2017).

Figura 8. Régimen de la Radiación Solar (W/m^2) y de la TSM en la estación de la plataforma petrolífera de BP (2001-2012)



Fuente: Universidad Jaume I. Elaboración propia.

5. Conclusiones

El presente trabajo constituye una aproximación al conocimiento de la magnitud y naturaleza del calentamiento climático en la Comunidad Valenciana. Un objetivo científico que se halla en el eje del gran problema ambiental del Cambio Climático. Los análisis regionales sobre la red regional de observatorios con series completas de temperatura durante el período 1950-2016, homogeneizadas mediante el SNHT,

han mostrado que esa elevación térmica regional podría haber sido de hasta 1,7 ºC a lo largo del período 1950 y 2016. No obstante, y a pesar del riguroso proceso de homogeneización, los registros experimentales llevados a cabo en el área de Castellón, en el período 2001-2016, han mostrado que el efecto de UHI podría estar afectando con una generación de calor urbano evaluada entre 0,6 y 0,8 ºC. Ello permite concluir que la verdadera elevación de la temperatura regional podría haber sido de 1 ºC entre 1950 y 2016. Una magnitud de calentamiento climático que, asimismo, vendría avalada por los registros térmicos insulares de las islas Columbretes. Unos registros que permiten comparar la temperatura media del período 1905-1926 (Wrobel, 1940) y el valor medio del período reciente, con estación automática, 1992-2016 (AEMET). Los registros indican que la temperatura media aumentó 1,4 ºC entre el valor medio de 1906-1925, 17,1 ºC, y el valor medio de 1992-2016, 18,5 ºC. La técnica de medida antigua (1905-1926), semisuma de máxima y mínima, tan sólo ha mostrado un error inferior a 0,1 ºC en los registros marinos de la plataforma (2001-2012).

Simultáneamente, el estudio aproxima algunas correlaciones físicas sobre las causas de esa elevación de las temperaturas basadas en las interacciones atmósfera-mar. Los registros térmicos y de radiación solar obtenidos en la plataforma marina y en las islas Columbretes permiten afirmar que la aportación de la radiación solar al forzamiento térmico, al menos regional, sea algo más elevada a ese escaso 7,5 % global reconocido en el Quinto Informe del IPCC (2013). En las tierras valencianas de la Cuenca Occidental del Mediterráneo, ese forzamiento solar (0,16 W/m^2 sobre 1,6 W/m^2 global) tal vez podría alcanzar algo más del 10 % del aumento térmico total.

Referencias

Acero, F. J., García, J. A., Gallego, M. C., Parey, S. & Dacunha-Castelle, D. (2014). Trends in summer extreme temperatures over the Iberian Peninsula using nonurban station data. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 39-53. https://doi.org/10.1002/2013JD020590

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) (2018). Datos de observatorios de la Comunitat Valenciana.

Aguilar, E., Auer, I., Brunet, M., Peterson, T.C. & Wieringa, J. (2003). Guidelines on climate metadata and homogenization. WMO-TD No. 1186, WCDMP No. 53. Geneva: World Meteorological Organization.

Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *International Journal of Climatology*, 6, 661-675. https://doi.org/10.1002/joc.3370060607

Alexandersson. H. & Moberg, A. (1997). Homogenization of Swedish temperature data. Part I: Homogeneity test for linear trends. *International Journal of Climatology*, 17, 25-34. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199701)17:1<25::AID-JOC103>3.0.CO;2-J

Arroyo Ilera, F. y Fernández García, F. (1991). *Aproximación al conocimiento del confort térmico urbano de Madrid*. Madrid: Col. Estudios, Universidad Autónoma de Madrid.

Brunet, M., Jones, P. D., Sigró, J., Saladié, O., Aguilar, E., Moberg, A., … López, D. (2007). Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850-2005. *J. Geophys. Res.*, 112, D12117. https://doi.org/10.1029/2006JD008249

Caselles, V., López García, M. J., Meliá, J., & Pérez Cueva, A. J. (1991). Analysis of the heat-island effect of the city of Valencia, Spain, through air temperature transects and NOAA satellite data. *Theor. Appl. Climatol.*, 43, 195-203. https://doi.org/10.1007/BF00867455

Domínguez Bascón, P. (1999). *Clima, Medio Ambiente y Urbanismo en Córdoba*. Córdoba: Diputación de Córdoba.

Easterling, D. R. & Peterson T. C. (1992). Techniques for detecting and adjusting for artificial discontinuities in climatological time series: a review. *5th International Meeting on Stat. Climatology*, June 22-26, 1992, Toronto.

Easterling, D. R., Horton, B., Jones, P. D., Peterson, T. C., Karl, T. R., Parker, D. E.., … Folland, C. K. (1997). Maximum and minimum temperature trends for the globe. *Science,* 277, 364-367. https://doi.org/10.1126/science.277.5324.364

Efthymiadis, D. A. & Jones, P. D. (2010). Assessment of Maximum Possible Urbanization Influences on Land Temperature Data by Comparison of Land and Marine Data around Coasts. *Atmosphere*, 1, 51-61. https://doi.org/10.3390/atmos1010051

Fernández-Montes, S., Rodrigo, F. S., Seubert, S. & Sousa P. M. (2013). Spring and summer extreme temperatures in Iberia during last century in relation to circulation types. *Atmospheric Research*, *127*, 154-177. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.07.013

Folland, C. K., Karl, T. R., Christy, J. R., Clarke, R. A., Gruza, G. V., Jouzel, J., … Wang, S. W. (2001). Observed climate variability and change. In J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Johnson, (eds.). *Climate Change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 99-182). New York: Cambridge Univ. Press.

Gonzalez-Hidalgo, J. C., Peña-Angulo, D., Brunetti, M. & Cortesi, N. (2015). MOTEDAS: a new monthly temperature database for mainland Spain and the trend in temperature (1951-2010). *International Journal of Climatology*, 35, 4444-4463. https://doi.org/10.1002/joc.4298

Gonzalez-Hidalgo, J. C., Peña-Angulo, D., Jiménez-Castañeda, A. & Brunetti, M. (2016). Variaciones recientes de las temperaturas en España: el efecto del período elegido en las tendencias de las series estacionales de promedios de máximas y mínimas. En J. Olcina Cantos, A. M. Rico Amorós & E. Moltó Mantero (eds.). *Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), nº 10, Serie A (pp. 471-482). https://doi.org/10.14198/XCongresoAECAlicante2016-44

Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt K B, Tignor M, Miller H L (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp. Available online at: http://www.gcrio.org/online.html

Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (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 [Stocker T F, Qin D, Plattner G - K, Tignor M, Allen S K, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley P M (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. Retrieved from: http://www.gcrio.org/online.html

Horcas, R., Rasilla, D. & Fernández-García F. (2001). Temperature variations and trends in the Segura River Basin. An exploratory analysis. In M. Brunet & D. Lopez (eds). *Detecting and Modeling Regional Climate Change* (pp. 133-142). https://doi.org/10.1007/978-3-662-04313-4_12

Huang, B., Thorne, P. W., Banzon, V. F., Boyer, T., Chepurin, G., Lawrimore, J. H., … Zhang, H.-M. (2017). *NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST), Version 5*. NOAA National Centers for Environmental Information. https://doi.org/10.7289/V5T72FNM. NOAA_ERSST_V5 data provided by the NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA, from their Web site at https://www.esrl.noaa.gov/psd/

Kalnay, E. & Cai, M. (2003). The impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, 423, 528-531. https://doi.org/10.1038/nature01675

Kenawy, A., López-Moreno, I. & Vicente-Serrano, S. M. (2012). Trend and variability of temperature in northeastern Spain (1920-2006): linkage to atmospheric circulation. *Atmospheric Research*. 106, 159-180. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.12.006

Lamarque, Ph., & Jourdain S. (1994). Élaboration de longues séries climatologiques homogènes pour l'étude de l'évolution climatique. *La Météorologie*, 8e série, 7, 61-69. https://doi.org/10.4267/2042/53443

Lehoczky, A., Sobrino, J. A., Skokovic, D. & Aguilar, E. (2017). The urban heat island effect in the city of Valencia: a case of study for hot summer days. *Urban Sci.*, *1*(1), 9. https://doi.org/10.3390/urbansci1010009

López Díaz, J. A., Aguilar Anfrons, E., Luna Rico, Mª. Y., Prohom Duran, M. y Gilabert Gallart, A. (2014). Corrección del sesgo de la temperatura diaria con la introducción de las estaciones automáticas, *Cambio climático y cambio global*, IX Congreso Internacional AEC (Almería), Serie A, nº 9, 1-10.

López Gómez, A., López Gómez, J., Fernández García, F. y Arroyo Ilera, F. (1988). *El clima urbano de Madrid, La isla de calor*. Madrid: CSIC.

Martí Ciriquián, P y Ponce Herrero, G. (2011). Pautas en la fragmentación de la forma urbana en las ciudades del arco mediterráneo español. En Gozálvez Pérez, V. y Marco Molina, J-A. (Eds). XXII Congreso de Geógrafos Españoles. *Urbanismo expansivo, de la utopía a la realidad* (pp. 391-402).

Martín-Vide, J., Prohom, M., & Busto, M. (2016). Evolució recent de la temperatura, la precipitació i altres variables climàtiques a Catalunya. *Tercer Informe del Canvi Climàtic a Catalunya* (pp. 93-112). Barcelona: Institut d'Estudis Catalans i Generalitat de Catalunya.

Membrado Tena, J.C. (2011). Cartografía del urbanismo expansivo valenciano, según SIOSE. En V. Gozálvez Pérez y J-A. Marco Molina (Eds). XXII Congreso de Geógrafos Españoles. *Urbanismo expansivo, de la utopía a la realidad* (pp. 427-438).

Meteo.cat. (2017). Temperatura del mar en L'Estartit en 2017. http://www.meteo.cat/wpweb/climatologia/el-clima-ara/temperatura-del-mar/.

Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM) (2007). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*.

Miró J. J., Estrela M. J. & Millán, M. (2006). Summer temperature trends in a Mediterranean area (Valencia region). *International Journal of Climatology*, 26, 1051-1073. https://doi.org/10.1002/joc.1297

Mitchell, J. R., Dzerdzeevskii, J. M., Flohn, H., Hoymeyr, W. L., Lamb, H. H., Rao, K. N., and Wallen, C. C. (1966). *Climatic Change*, T. Note No.79. Geneva: World Meteorological Organization (WMO).

Moberg, A. & Alexandersson, H. (1997). Homogenization of Swedish temperature data, Part II: Homogenized gridded air temperature compared with a subset of global gridded air temperature since 1861. *International Journal of Climatology*, 17, 35-54. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199701)17:1<35::AID-JOC104>3.0.CO;2-F

Moliní, F. y Salgado, M. (2010). Superficie artificial y viviendas unifamiliares en España, dentro del debate entre ciudad compacta y dispersa. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 54, 125-147.

Montávez, J. P., Rodríguez, A. & Jiménez, J. I. (2000). A study of the urban heat island of Granada, *International Journal of Climatology*, 20, 899-911. https://doi.org/10.1002/1097-0088(20000630)20:8<899::AID-JOC433>3.0.CO;2-I

Pena-Angulo, D., Cortesi, N., Brunetti, M. & González-Hidalgo, J. C. (2015). Spatial variability of máximum and mínimum monthly temperatura in Spain during 1981-2010 evaluated by correlation decay distance (CDD). *Theor Appl Climatol*, *122* (1-2), 35-45. https://doi.org/10.1007/s00704-014-1277-x

Puigcerver i Zanón, M. (1999). *Curs secular de la temperatura a l'observatori Fabra: una anàlisi preliminar*. Sesión inaugural del Curso 1999-2000 de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, 957, Vol. LVIII, núm. 2, 74 pp.

Quereda, J., Gil, A., Olcina, J., Rico, A. Montón, E., & Escrig. J. (2000). Climatic warming in the Spanish Mediterranean. Natural Trend or Urban effect. *Climatic Change*, *46*(4), 473-483. https://doi.org/10.1023/A:1005688608044

Quereda, J., Montón, E., Quereda, V. y Mollá, B. (2013). La Radiación solar (global y ultravioleta) en la Provincia de Castellón. *Boletín Sociedad Castellonense de Cultura*, 89, 5-11.

Quereda, J., Montón, E. and Quereda, V. (2016). Significant Climatic Warming (1950-2013) in the Spanish Mediterranean: Natural Trend or Urban Heat Island (UHI). *Tethys*, *Revista de Meteorología y Climatología Mediterránea,* 13, 11-20.

Reserva natural de les Illes Columbretes (2018). Parc natural de la Comunitat Valenciana: les illes Columbretes. http://www.parquesnaturales.gva.es/web/pn-illes-columbretes

Serafí Bernat, J., Alama Sabater, Mª. L., Alcañiz Moscardó, M., Maset Llaudes, Mª. A., Soto Personat, G., Valls Fabregat, S. y Martínez Rafael, V. (2015). *La inmigración en Castellón de la Plana, Capital social, redes sociales y estrategias de adaptación a la crisis económica, Castelló (Espanya)*. Castellón: Ed. Fundación Dávalos-Fletcher.

Shaltout, M. & Omstedt, A. (2014). Recent sea Surface temperatura trends and future scenarios for the Mediterranean sea. *Oceanologia*, 56(3), 411-443. https://doi.org/10.5697/oc.56-3.411

Sneyers, R. (1975). *Sur l'analyse statistique des séries d'observations*. Note technique nº 143. Genève: Organisation Météorologique Mondiale .

Universidad Jaume I (2018). Datos de la red de observatorios de la Estación de Climatología Aplicada.

Vargas Yánez, M., García Martínez, Mª. C., Moya Ruiz, F., Tel, E., Parrilla, G., Plaza, F., Lavín, A., García, Mª. J. (2010). *Cambio climático en el Mediterráneo español*. Madrid: Instituto Español de Oceanografía, Ministerio de Ciencia e Innovación.

Vargas-Yáñez, M., Moya, F., Tel, E., García-Martínez, Mª. C., Guerber, E. & Bourgeon, M. (2009). Warming and salting in the western Mediterranean during the second half of the 20th century: inconsistencies, unknowns and the effect of data processing. *Scientia Marina*, 73, 1, 7-28. https://doi.org/10.3989/scimar.2009.73n1007

Venema, V. K. C., Mestre, O., Aguilar, E., Auer, I., Guijarro, J. A., Domonkos, P., … Willett, K. (2013). Benchmarking homogenization algorithms for monthly data. *AIP Conference Proceedings*, 1552 8, 1060-1065. https://doi.org/10.1063/1.4819690

Wrobel, J. (1940). *Das Klima von Catalonien und der Provinz Castellon auf Grund der spanischen Wetterbeobachtungender Jahre 1906 bis 1925*. Hamburg: Aus dem Archiv der Deutschen Seewarte und des Marineobservatoriums.