Nº 78, julio-diciembre de 2022, pp. 9-25.
ISSN: 0213-4691. eISSN: 1989-9890.
DOI: 10.14198/INGEO.20670

Investigaciones Geográficas
Instituto Interuniversitario de Geografía
Universidad de Alicante

Cita bibliográfica: Quereda Sala, J., & Montón Chiva, E. (2022). Las tendencias actuales de la temperatura en las regiones de Valencia y Murcia entre 1950 y 2020. *Investigaciones Geográficas,* (78), 9-25. https://doi.org/10.14198/INGEO.20670

Las tendencias actuales de la temperatura en las regiones de Valencia y Murcia entre 1950 y 2020

Temperature trends in the Valencia and Murcia regions from 1950 to 2020

José Quereda Sala[1*]
Enrique Montón Chiva[2]

Resumen

Este estudio viene a completar la línea de investigaciones sobre la evolución térmica de la región mediterránea española iniciada en el Plan Nacional de Clima (1999). Una línea que ha tratado de evaluar la magnitud del calentamiento climático registrado en la región mediterránea española. En el presente trabajo se ha realizado una revisión rigurosa de las conclusiones previamente alcanzadas (Quereda et al., 2000, 2016, 2020) sobre la magnitud y la naturaleza del calentamiento climático registrado en la región. Revisión que se ha fundamentado en tres ejes. El primero ha sido la actualización de 22 series de temperaturas históricas regionales entre 1950 y 2020. Los resultados de este análisis han sido contrastados con los obtenidos complementariamente en dos nuevos ejes de investigación. El primero de ellos ha sido la realización de un plan experimental encaminado a comparar la evolución térmica del observatorio urbano de Castellón (Casino Antiguo) con los datos de temperatura registrada en observatorios de su entorno situados en zonas menos afectadas de la actividad humana. Los resultados de este plan, relativos al periodo 2001-2020, han evidenciado tanto la existencia del efecto térmico de la urbanización (UHI), como su magnitud. La segunda investigación ha consistido en el análisis de la evolución térmica registrada en el observatorio de las Islas Columbretes (a 28 millas de la costa de Castellón). Esta serie climática insular, analizada así por primera vez, ha implicado una revisión de las conclusiones y tendencias establecidas en estudios anteriores. Los valores obtenidos, si bien obligan a revisar la magnitud del UHI, han mostrado una gran coherencia con la magnitud del calentamiento climático obtenido en el análisis central de las 22 series térmicas completas regionales. Un calentamiento climático real que ha mostrado un valor secular de 1,4 a 1,6 ºC.

Palabras clave: Temperatura; UHI; isla de calor; homogeneidad; SNHT; Islas Columbretes; consumo energético.

Abstract

This study completes a line of research on the thermal evolution of the Spanish Mediterranean region started in the National Climate Plan (1999). A line that has tried to evaluate the magnitude of the climatic warming registered in the Spanish Mediterranean region. In the present work, a rigorous review of the conclusions previously reached (Quereda et al., 2000, 2016, 2020) on the magnitude and nature of the climatic warming recorded in the region has been made. The review is based on three axes. The first is the updating of the regional historical temperature series between 1950 and 2020. The results of this analysis have been compared with those obtained in a complementary manner in two new lines of research. The first of which was an experimental plan aimed at comparing the thermal evolution of the urban

1 Estación de Climatología Aplicada (ECA), Universitat Jaume I, España. quereda@uji.es. Autor para correspondencia
2 Estación de Climatología Aplicada (ECA), Universitat Jaume I, España. montone@uji.es

Recepción: 12/08/2021. **Aceptación:** 09/02/2022. **Publicación:** 20/07/2022 (anticipada: 12/04/2022).
Este trabajo se publica bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional.
© José Quereda Sala, Enrique Montón Chiva

observatory of Castellón (Casino Antiguo) with the temperature data registered in nearby observatories located in areas less affected by human activity. The results of this plan, relative to the 2001-2020 period, have shown the existence of the thermal effect of urbanization (UHI) as well as its magnitude. The second investigation consisted in the analysis of the thermal evolution recorded in the Columbretes Islands observatory (28 miles off the coast of Castellón). This insular climate series, thus analysed for the first time, has involved a review of the conclusions and trends established in our previous studies. Although the values obtained make it necessary to review the magnitude of the UHI, they have shown great consistency with the magnitude of climate warming obtained in the central analysis of the 22 complete regional thermal series. A real climate warming is shown with a secular value of 1.4 to 1.6 ºC.

Keywords: Temperature; UHI; heat island; homogeneity; SNHT; Columbretes Islands; energy consumption.

1. Introducción

El proceso atmosférico de cambio climático emerge actualmente como uno de los principales retos científicos. El reto es urgente, a la vista de las grandes anomalías climáticas registradas en los últimos años, especialmente en lo que se refiere al aumento de las temperaturas. En este contexto, el estudio del cambio climático en la región mediterránea ha pasado a ser de gran importancia a la vista de las predicciones desarrolladas por los modelos de cambio climático. Los informes del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) (2007, 2013), indican que ésta será la región europea más vulnerable a los efectos del cambio climático. Vulnerabilidad debida a que, simultáneamente al aumento térmico regional previsto de 1,5 a 3 ºC durante el siglo XXI, se asistirá a una disminución de los recursos hídricos, tanto por migración septentrional de la zona de frontogénesis como por la intensificación del ciclo hidrológico. El último informe (IPCC, 2021) califica como alta confianza los efectos esperados para 2050 en la región mediterránea en caso de cumplirse un calentamiento global igual o superior a 2 ºC: calentamiento, temperaturas extremas, aumento de sequías y aridez, descenso de precipitación, mayor riesgo de incendios, ascenso del nivel marino de medio a extremo, descenso de cobertura nivosa, así como de la velocidad del viento. Es la única región europea donde no se espera con alta confianza un aumento de la precipitación extrema y de las inundaciones. Queda limitada a confianza media.

Se evidencia, pues, que el eje energético de estos importantes procesos atmosféricos y ambientales es la elevación de la temperatura. Los veinte años más cálidos de la serie histórica (1880-2021) se han registrado entre 1998 y 2020, con los tres récords absolutos de temperatura (2008, 2009 y 2021). Una elevación cuya magnitud y naturaleza, constituyen el objetivo científico de este trabajo que viene a completar la línea de investigaciones sobre la evolución térmica de la región mediterránea española iniciada en el Plan Nacional de Clima (1999).

En este marco, veinte años después del susodicho plan, es juicioso comprobar de nuevo, a nivel de 2020, la validez de las conclusiones que ofrecía la evolución térmica del clima regional. El litoral mediterráneo es un buen laboratorio para profundizar en esta cuestión, puesto que ya manifiesta consecuencias (Olcina, 2020). Y ver el papel que el efecto urbano o UHI puede tener en el ascenso térmico.

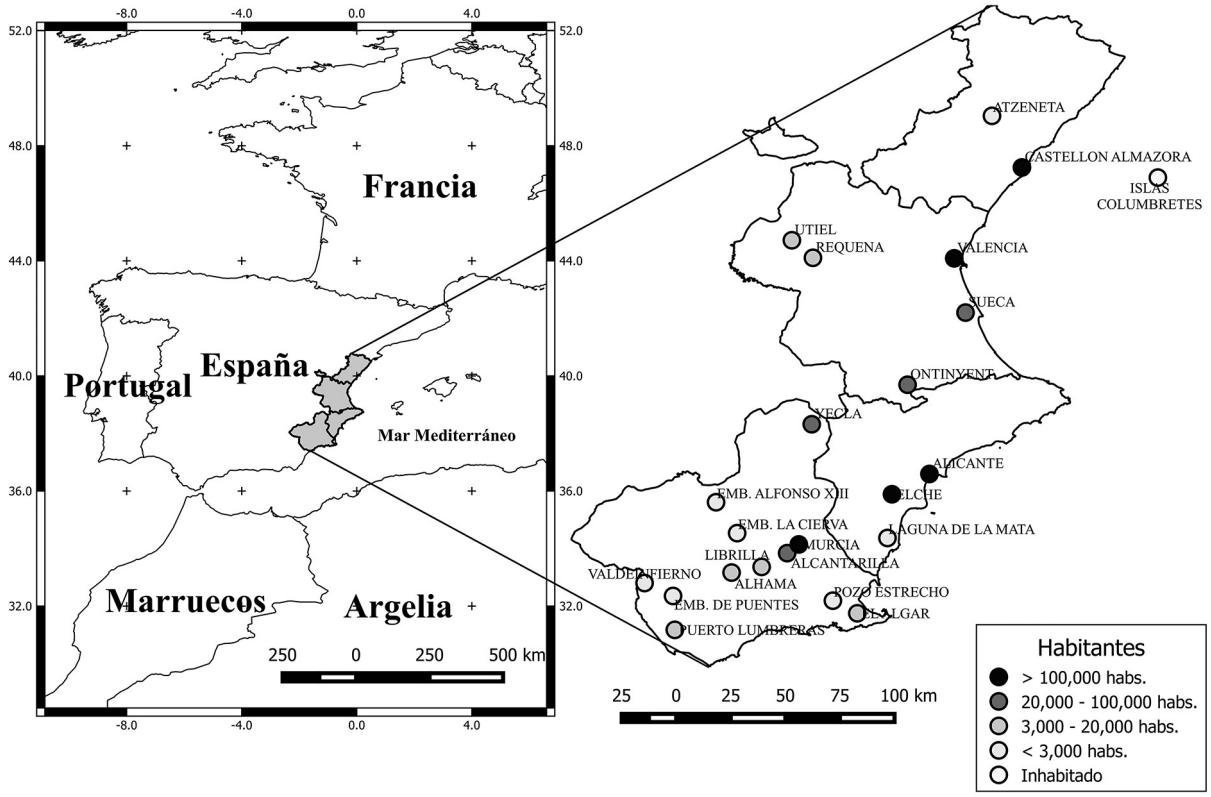
2. Metodología

La metodología básica para alcanzar los objetivos propuestos ha consistido en el análisis de los registros térmicos de las 22 series de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) con series completas de los últimos 71 años. Este análisis ha constituido el fundamento científico para establecer con precisión el eje o la tendencia climática regional y su verdadera magnitud entre 1950 y 2020. Dicha red incluye cinco observatorios plenamente urbanos con poblaciones que superan los 100,000 habitantes, pero también muchos otros con baja o nula urbanización y, por tanto, rurales. Permite establecer con claridad las diferencias de evolución térmica que determina la isla de calor (Figura 1).

El método de homogeneización SNHT (Standard Normal Homogenity Test) (Alexandersson, 1986) ha sido utilizado para controlar la calidad de las series. Ideado inicialmente para series pluviométricas, es ampliamente empleado en el análisis de series climáticas (Moberg & Alexandersson, 1997; Aguilar et al., 2003). Sin embargo, no es perfecto. Precisamente en el proceso UHI se encuentra una de las principales debilidades del método (Khaliq & Ouarda, 2007). La expansión urbana sufrida en el litoral de la Comunidad Valenciana supone un reto a la hora de validar tendencias térmicas a largo plazo. Si en las series

predomina una tendencia que no es natural ni de distribución aleatoria, podría ser confundida como señal natural por los métodos de homogeneización relativa (Miró et al., 2012).

Figura 1. Red de observatorios de AEMET usados en el estudio



Fuente: AEMET. Elaboración propia

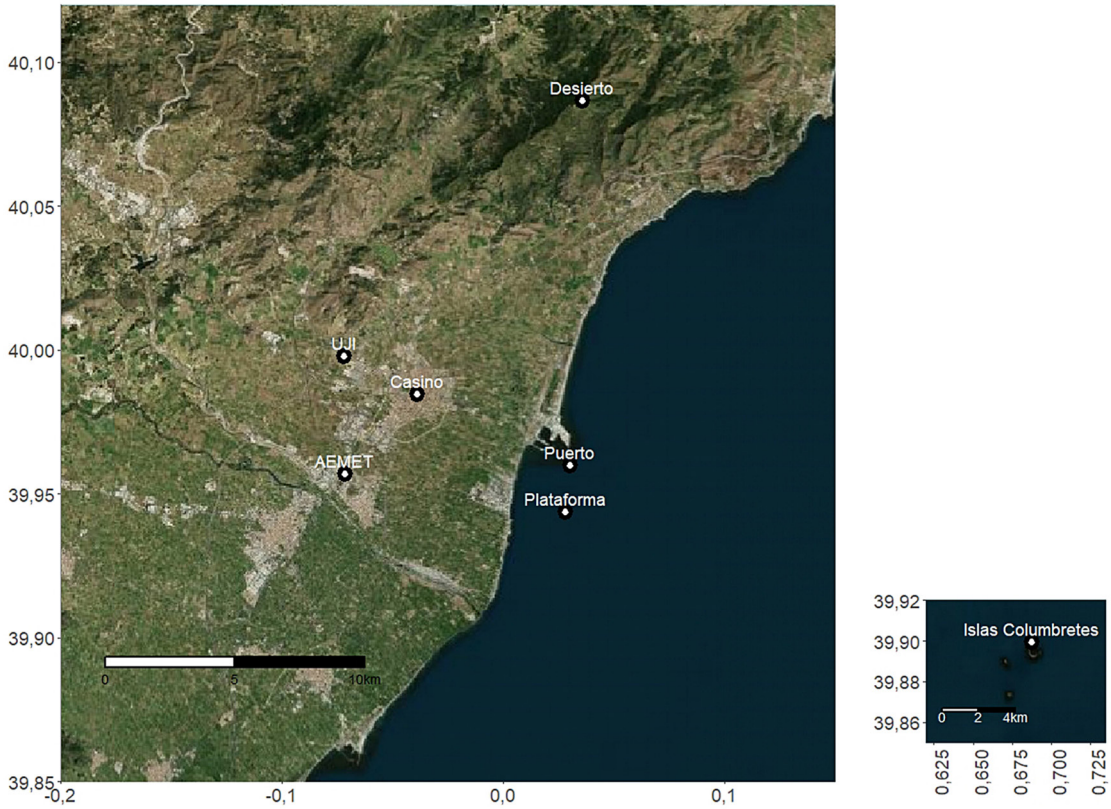
El SNHT comprueba la homogeneidad de cada serie, calculando la diferencia (para el caso de las temperaturas) con una serie de referencia, construida con la media de otros observatorios del entorno, cuyo número varía entre cinco y diez, dependiendo de la disponibilidad. Los criterios de selección son la proximidad, una geografía similar y, por supuesto, la correlación. En el presente estudio, el coeficiente de correlación nunca ha estado por debajo de 0,7, aunque Alexandersson (1986) establece un valor mínimo de 0,3. La idea es que en esta serie media se atenúe el efecto de las rupturas en las series individuales que la componen, las cuales pueden ser bastante frecuentes, en observatorios de largo recorrido con importantes cambios tanto en el observatorio como en su entorno. En el proceso de corrección de cada serie, se repite el proceso con otra serie de referencia para comprobar que la heterogeneidad detectada procede de dicha serie y no de irregularidades en las series que componen la serie de referencia.

El método fue aplicado con un software propio, elaborado a partir del proyecto "Dimensión espacial y temporal del cambio del clima en España: cuenca occidental del mediterráneo. Análisis de la evolución del comportamiento de los elementos climáticos a partir de datos instrumentales", dentro del Plan nacional de I+D sobre el clima (cli96-1842-c05-04). El test crea una serie de referencia o serie g. Para ello, se toma cada una de las series de referencia (Q1, Q2, Q3, ...) y se les resta su media y se multiplica por su coeficiente de correlación al cuadrado con la serie a corregir. El resultado se suma y luego se divide por la suma de los coeficientes de correlación al cuadrado. Con ello, se consigue que la serie que tenga una mayor correlación adquiera igualmente un mayor protagonismo en el proceso.

A continuación, se obtiene la serie q, es decir la diferencia (en el caso de las temperaturas) entre la serie a corregir y la serie g de referencia. El siguiente paso es crear la serie z, es decir, la serie q menos su media partido la desviación estándar. Por último, el estadístico Tm nos indicará las heterogeneidades potenciales. El primer estadístico será n por el promedio al cuadrado de los n valores de z sumado a n-m por el promedio al cuadrado de los n-m valores de z.

El valor de T crítico viene dado por Alexandersson y depende de la longitud de la serie. Indica si la heterogeneidad potencial supera la significación. Cualquier heterogeneidad potencial que supere el T95 se corrige, mientras que aquellas que solo queden por encima del T90 se corregirán en caso de estar justificados por la historia del observatorio.

Figura 2. Mapa de estaciones meteorológicas de la red universitaria en el entorno del casco urbano de Castellón



Fuente: AEMET. Elaboración propia

Este proceso se hará con todas y cada una de las series. Pero la primera serie sometida al test se habrá testeado con series que no lo han sufrido, mientras que la última habrá tenido como referencia series que han experimentado el test. Para compensar esta situación se lleva a cabo una segunda fase del test o fase final sobre las series, de forma que se elimine esta descompensación.

Para compensar las debilidades propias del SNHT, la magnitud del UHI ha sido analizada mediante un plan experimental (2001-2020), con estaciones ubicadas en la llanura litoral de la Plana de Castellón. Esta llanura aparece dominada, en altura, por el Observatorio del Desierto (712 metros de altitud). A 28 millas del puerto de Castellón, encontramos las Islas Columbretes. Esta zona urbana de la ciudad de Castellón-Almazora ha crecido notablemente en los últimos años. En 1970, la zona urbana tenía 106.000 habitantes, mientras que en 2010 tenía 215.000 habitantes, aunque en 2020 ha descendido a 200.534 habitantes.

Este plan ha tenido por objetivo comparar los registros de temperatura de un observatorio meteorológico ubicado en el mismo centro de la ciudad de Castellón (Casino), previsiblemente afectado por UHI con otras seis estaciones meteorológicas ubicadas en un entorno de menor o nula urbanización (Figura 2). Se trata de los observatorios de la AEMET (Castellón-Almazora y las Islas Columbretes) y de otras cuatro estaciones meteorológicas automáticas de la Red Universitaria, en el propio campus universitario (UJI), en el puerto, en la plataforma marina de hidrocarburos (Plataforma), mostrada en la Figura 3 y en el monte Bartolo, que, como se ha descrito anteriormente, domina la plana castellonense (Desierto). Estas estaciones, con registros de intervalos de diez minutos, fueron constantemente controladas y calibradas. A pesar de que tan sólo cubre veinte años, su análisis ha sido riguroso en todos los registros y puede considerarse una experiencia valiosa en el estudio del efecto del calor urbano.

Figura 3. Estación meteorológica marina, en la Plataforma de BP Oil, coordenadas geográficas 39º56´42´´N y 00º01´36´´E, frente a la estación meteorológica del Puerto (al fondo)

Elaboración propia

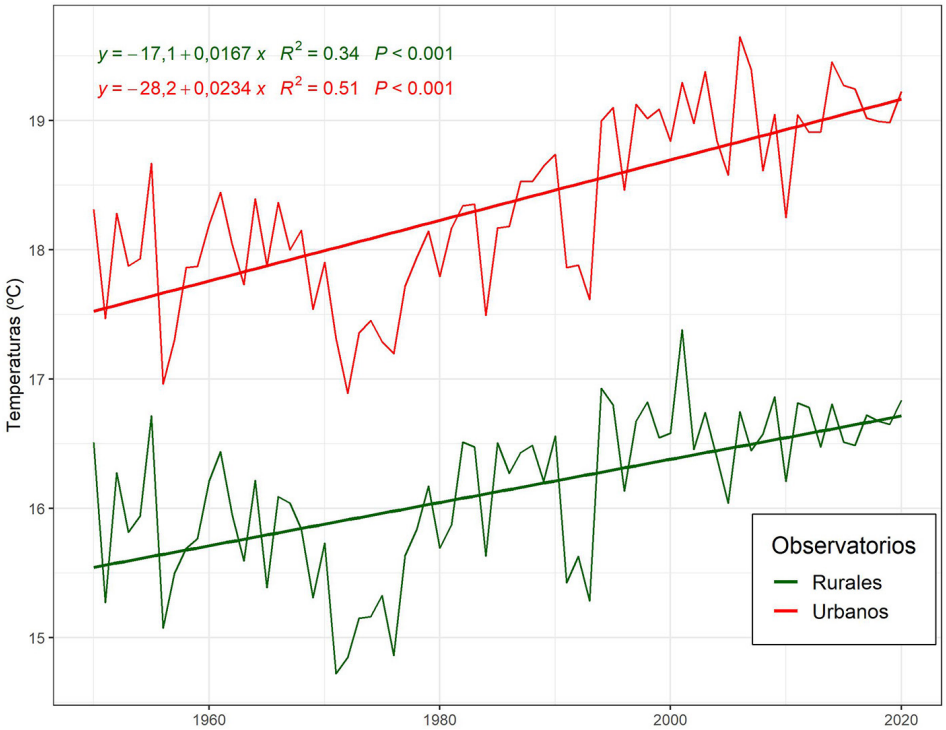
La investigación se completa con la evolución térmica en el observatorio de las Islas Columbretes. Además de los registros recientes, entre 1992-2020, se realizaron mediciones entre 1906-1925. Esta serie climática insular, analizada así por primera vez, ha implicado una revisión en profundidad de las conclusiones y tendencias establecidas en estudios anteriores. El fundamento de la misma recae sobre los registros de temperatura en el período inicial del siglo XX (1906-1925) y su correlación con los del observatorio de Castellón. Unos registros y anotaciones que son bastante defectuosos en la serie de Castellón (AEMET) cuyo observatorio, dentro del Instituto Geográfico y el Servicio Meteorológico de entonces, comienza en 1912.

3. Resultados

Los resultados obtenidos han mostrado una notable tendencia de calentamiento climático en la región mediterránea española. El valor medio de esta tendencia, durante esos 71 últimos años, ha sido notable, 1,6 ºC en los cinco observatorios urbanos, es decir, aquellos ubicados en urbes por encima de los 100,000 habitantes (Murcia, Elche, Valencia, Alicante y Castellón-Almazora). Un valor que ha sido algo inferior en el promedio de los observatorios rurales, 1,2 ºC (Figura 4). Buena parte del calentamiento en los observatorios urbanos ha afectado a las temperaturas mínimas, con un valor de 2 ºC entre los años 1950 y 2020 (0,0285 ºC/año), mientras que las temperaturas máximas se han elevado 1,3 ºC, en el mismo periodo, con un promedio anual de 0,0187 ºC/año (Figura 5).

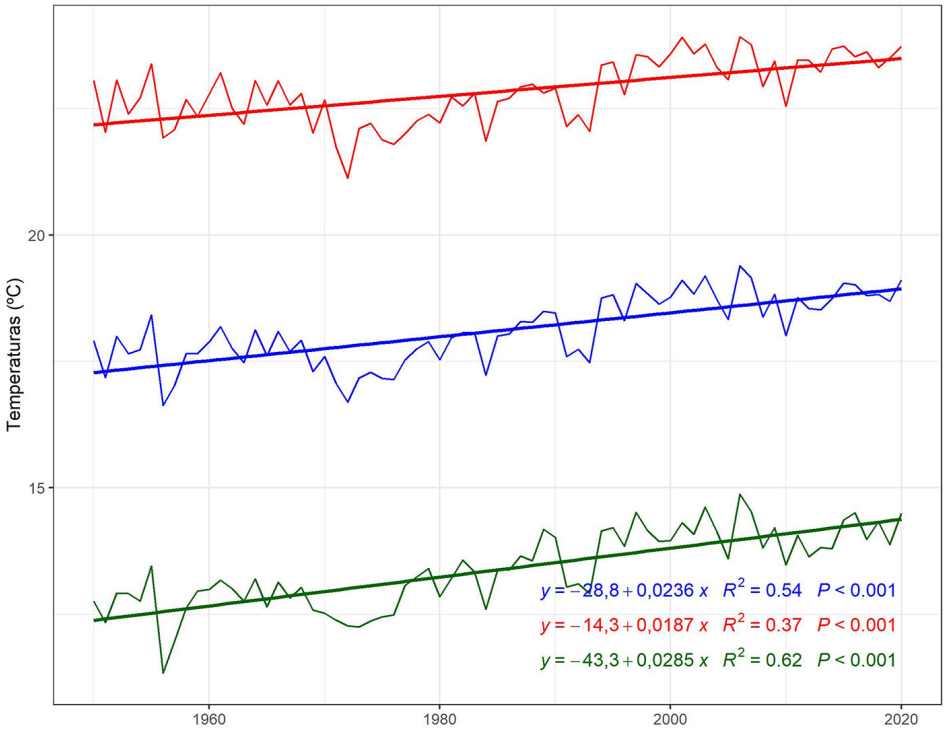
A los datos de AEMET, el presente estudio añade aquellos de su red propia. La temperatura media anual de los cinco observatorios situados en la llanura litoral ha mostrado una diferencia significativa entre el valor de la estación del Casino, en el centro de la ciudad, 19,2ºC, y el valor de los restantes observatorios del entorno. Así, el observatorio de Castellón-Almazora (AEMET), sito en un polígono industrial apenas a 3 kilómetros del centro de Castellón, ha registrado una temperatura media de 18,3ºC, y el valor del resto de estaciones meteorológicas situadas en la periferia urbana ha sido de UJI, 18,4 ºC; Puerto, 18,3 ºC y Plataforma, 18,4ºC). Por su parte, la media anual en las Islas Columbretes es de 19,2. En cuanto a sus valores máximos y mínimos, quedan expuestos en la Figura 6. Cabe destacar que las mínimas más elevadas corresponden a aquellos observatorios de mayor influjo marino, Plataforma, islas Columbretes y Puerto. Sin embargo, este último observatorio es ligeramente superado por el más urbano de la red, Casino, mientras que las mínimas caen al dirigirnos al extrarradio urbano, tanto en la UJI como en el caso de Castellón-Almazora. El observatorio sirve de enlace entre la red propia y la de AEMET. Por su parte, las máximas son superiores en los observatorios terrestres, de modo que rondan e incluso superan los 23 ºC, muy por encima de aquellos marinos. El menos influido por el mar, el Puerto, se queda en 21,3, mientras que los otros dos, totalmente rodeados por el líquido elemento, no sobrepasan los 21.

Figura 4. Evolución de la temperatura anual (1950-2020) en la región mediterránea española en los cinco observatorios "urbanos" frente a la media de los 17 observatorios "rurales"



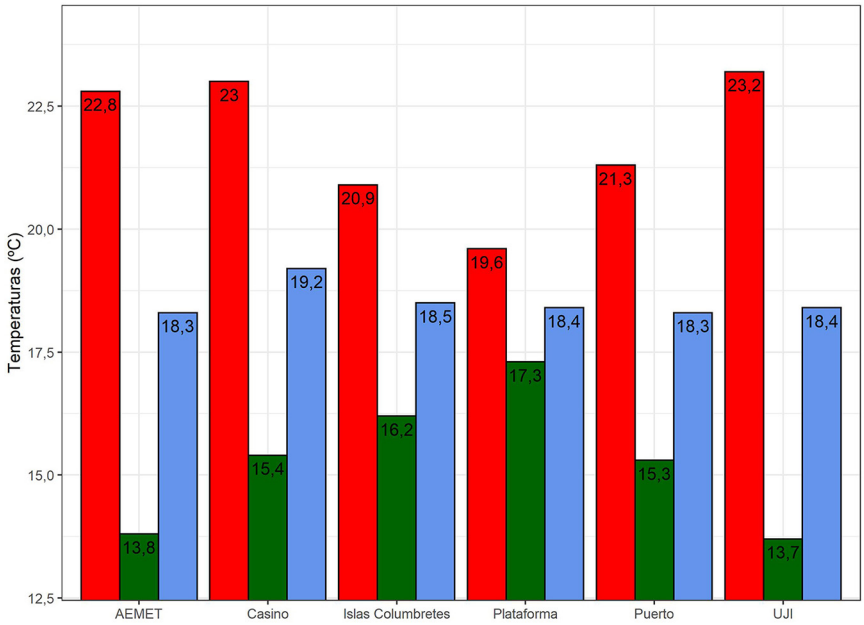
Fuente: AEMET. Elaboración propia

Figura 5. Evolución y tendencia de las temperaturas medias (Tmedias), medias máximas (Tmax) y medias mínimas anuales (Tmin) en la red de observatorios urbanos



Fuente: AEMET. Elaboración propia

Figura. 6. Temperaturas promedio de máximas, medias y mínimas en los observatorios analizados



Fuente: Universitat Jaume I, AEMET. Elaboración propia

Tabla 1. Evolución secular de la temperatura mediterránea

Periodo/Estación	TM Columbretes	TM Castellón
1906-1925	17,1	16,8
2001-2020	18,5	18,2
Δ Diferencia	1,4	1,4

Fuente: Universitat Jaume I, AEMET. Elaboración propia

La investigación se completa con el análisis de la evolución térmica registrada en sus dos períodos (1906-1925 y 1992-2020) en el observatorio de las Islas Columbretes. A 28 millas de la costa de Castellón y con la mínima actividad humana que supone un faro, se ha comparado con los datos del observatorio de AEMET en Castellón, que, en aquellos años, se ubicaba en el Instituto Ribalta de la ciudad, décadas antes de su traslado al municipio de Almazora en los años 70 del siglo pasado. Sus registros y anotaciones que son bastante defectuosos en la serie de Castellón (AEMET) cuyo observatorio, dentro del Instituto Geográfico y el Servicio Meteorológico de entonces, comienza en 1912. Por ello, el valor de la temperatura de Castellón en ese período 1906-1925, se ha reducido con Valencia, dando una media de 16,1 ºC. No obstante, la serie de Valencia ofrece los mismos defectos de la de Castellón. En ambos casos se acusa el cambio de metodología para la obtención de la temperatura media diaria básica. A partir de 1910 las dos lecturas termométricas pasan a efectuarse a las 8 y a las 16 horas, frente a las 9 y 13 del período anterior (Bañón Garcia & Cantó Perez, 2011). Ello supone un enfriamiento medio próximo a un grado centígrado, más en invierno que en verano. Consecuentemente, la temperatura media del período 1906-1925 en Castellón, 16,1 ºC, debió ser más elevada. Esta elevación ha sido obtenida reduciendo la serie de Castellón con la serie de Tortosa y con la serie completa de Barcelona (Universidad). Con ello el valor de la temperatura media del período 1906-1925 es de 16,8 ºC en Castellón (Wrobel, 1940). Un valor que también es coherente con el obtenido en el observatorio histórico de Fabra que comienza en octubre de 1913 (Puigcerver, 1999).

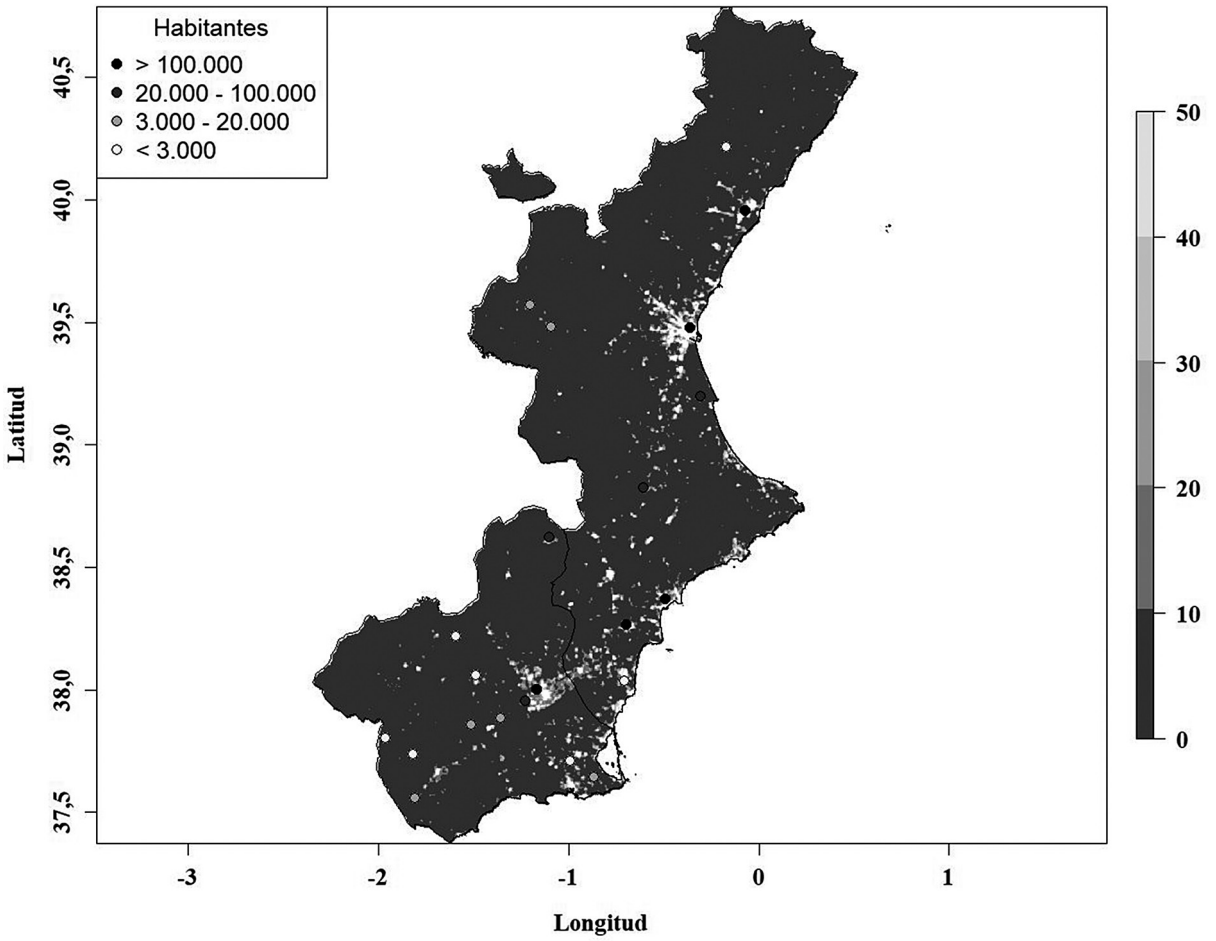
4. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos plantean dudas razonables sobre el posible protagonismo del UHI en el calentamiento climático. No puede ser de otra manera al constatar la diferencia de magnitud en el ascenso térmico entre los observatorios urbanos y los observatorios rurales. A ello se une el mayor ascenso de

las temperaturas mínimas frente a las máximas en los observatorios urbanos. Dicho efecto urbano sería confirmado con la red experimental propia, sita en el área urbana de Castellón, e incluso muestra buena correlación con la tendencia demográfica regional.

Aunque los resultados, acerca del variado comportamiento de máximas y mínimas, difieren de los obtenidos en algunos estudios (Montávez et al., 2000), el mayor aumento de las temperaturas mínimas para las zonas costeras mediterráneas también se ha observado en otras investigaciones (Kenawy et al., 2012; Fernández-Montes et al., 2013), también posiblemente causado por la urbanización (Horcas et al., 2001; Gonzalez-Hidalgo et al., 2015). Destacado es el estudio realizado por Miró et al. (2016), al coincidir parcialmente con el área de investigación, si bien la presentación de resultados en grupos o clusters dificulta la comparación, al tiempo que los autores no diferencian entre observatorios rurales y urbanos. La desigual evolución de máximas y mínimas también se ha demostrado claramente en las termografías satelitales (Mills et al., 2013), así como con los datos nocturnos de la Suite de Radiómetros de Imágenes Infrarrojas Visibles (VIIRS) Día/Banda Nocturna (DNB), proporcionadas por el Grupo de Observaciones de la Tierra (EOG) (Figura 7).

Figura 7. Mapa de la luminosidad media utilizando luces nocturnas (2018) de VIIRS



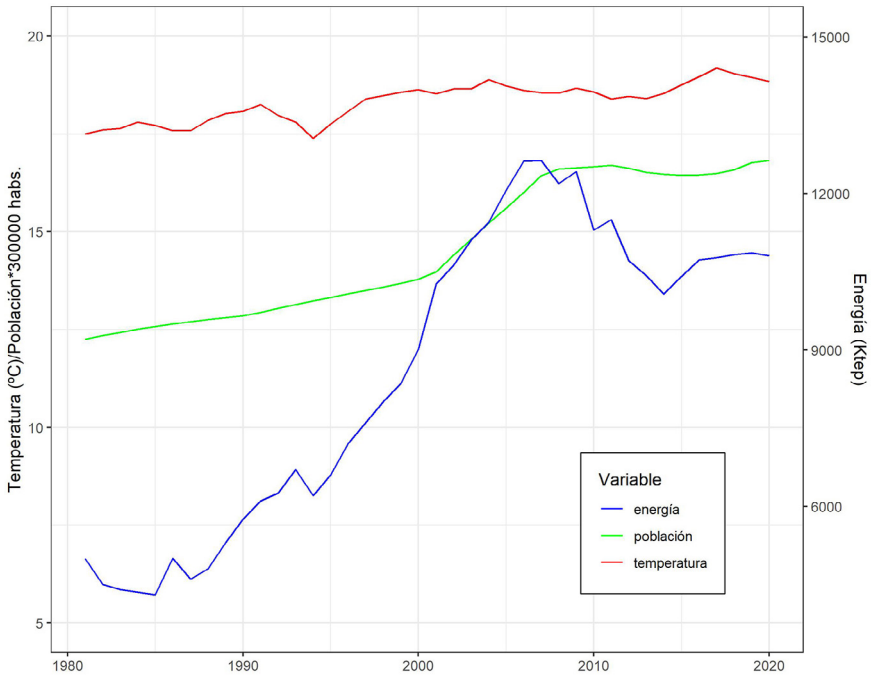
Fuente: Grupo de Observación de la Tierra (EOG). Elaboración propia

Para Estados Unidos, se ha detectado un descenso en la amplitud térmica diaria que se explica, al menos en un 50%, por la urbanización y otros cambios en los usos del suelo (Kalnay & Cai, 2003). Nicola Scafetta (2021) ha comparado los datos de amplitud térmica diaria entre observatorios y modelizaciones y ha concluido que grandes extensiones de Asia, especialmente, Rusia y China, y Norteamérica, una parte importante de Europa, parte de Oceanía y algunas regiones de Sudamérica y África muestran reducciones de la amplitud de hasta 0,5-1,5 ºC más elevadas en datos reales, especialmente donde se ha dado una rápida urbanización. La variación de la amplitud térmica diaria se usa para identificar los efectos de

urbanización en China, donde las regiones con mayor divergencia entre máximas y mínimas coinciden con las de mayor urbanización (Scafetta & Ouyang, 2019).

La notable tendencia de calentamiento, especialmente en los observatorios urbanos, no ha sido regular. Iniciada en 1980, se ha estabilizado desde el año 2000. Una estabilización simultánea al de la demografía y del consumo energético total en la región mediterránea española (Figura 8). La observación de este fenómeno, un estancamiento del calentamiento global, que ha sido denominado el "hiato del calentamiento global", ha causado un feroz debate sobre su existencia y formación (Spanish Emissions Inventory (SEI), 2019; Gonzalez-Hidalgo at al., 2016; Li et al., 2015). El Quinto Informe de Evaluación del IPCC también declaró claramente que la tendencia del calentamiento global se desaceleró significativamente en el período 1998-2012 en comparación con los 30-60 años anteriores (IPCC, 2013). El Sexto y más reciente califica dicho hiato como temporal (IPCC, 2021). La coincidencia con la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, parecen confirmar que la influencia humana ha sido relevante en el calentamiento registrado por los observatorios.

Figura 8. Evolución de la población (x300.000 habitantes) y de la demanda energética (Ktep) correlativa con el hiato en la evolución de la temperatura media (ºC) en el Mediterráneo español



Fuente: Ministerio de Transición Ecológica e Instituto Nacional de Estadística (INE), Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial (IVACE) y AEMET

Sin embargo, por elevada que se muestre la correlación entre el consumo de energía (0,8) y la demografía (0,7) con la temperatura media, la naturaleza y magnitud del calentamiento climático requieren un análisis más riguroso. Es cierto que tanto el fuerte aumento de la temperatura regional entre 1980 y 2002 como el hiato posterior quedan bien fundamentados.

En vista de las incertidumbres mencionadas anteriormente, se ha realizado un examen minucioso de un proceso que podría estar sesgando la comprensión de la evolución térmica (Instituto Cartográfico Valenciano/Infraestructura Valenciana de datos espaciales [ICV/IDEV], 2018; Lee, 1992). Aunque los estudios se han esforzado por controlar la calidad de los datos, el campo en cuestión sigue mostrando muchas incertidumbres. Es preciso ser consciente de que oscilaciones de medio grado, o incluso más, requieren una minuciosa verificación, habida cuenta del efecto de los procesos no climáticos. El más llamativo de los cuales y extremadamente sutil, es claramente el efecto UHI.

Aunque el efecto UHI parece incontrovertible, su papel es ampliamente polémico. Así, aunque los protocolos científicos del IPCC reconocen el efecto del microclima urbano, solo consideran que afecta a la tendencia de temperatura local y es prácticamente insignificante a una escala regional o mundial.

Además, el fenómeno podría verse compensado por la influencia del océano y, por lo tanto, el impacto general del efecto UHI en el calentamiento global puede tender a cero (Quereda et al., 2000). De este modo, aunque el calentamiento urbano puede considerarse de importancia local, faltan pruebas sobre su efecto en las temperaturas globales (Quereda et al., 2000, 2004). El debate sigue abierto, como demuestran los estudios que analizan la influencia del cambio climático en la UHI (Trenberth et al., 2007; Sachindra et al., 2015), como lo demuestra el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (IPCC, 2013).

Del mismo modo, los estudios en curso en China y en las regiones industriales de otros lugares han puesto de relieve aún más estas consideraciones. La comparación de las temperaturas regionales urbanas y rurales, como el aquí realizado, ha llevado a varios investigadores a sugerir que el efecto UHI podría representar entre el 40 y el 80% de la tendencia de temperatura observada en las últimas décadas (Chapman et al., 2017; Ren et al., 2008). En los Estados Unidos, McKitrick y Michaels concluyeron de manera similar que las modificaciones locales de la superficie terrestre podrían haber causado la mitad de la tendencia de calentamiento observada de 1980 a 2002 (Yan et al., 2010). Se han realizado intentos de ponderar estas magnitudes y reducir las mediciones de radiación satelital y reanálisis (Mckitrick & Michaels, 2007; Parker, 2011). Sin embargo, estas disminuciones no han impedido un examen significativo de las conclusiones extraídas en el cuarto informe del IPCC (IPCC, 2007). Según Efthymiadis y Jones (2010), el efecto UHI representa 0,02 ºC por década y hasta el 15% del calentamiento global en el período comprendido entre 1951 y 2009. Otros estudios informan de un mayor impacto del efecto UHI sobre el cambio climático (Trenberth, et al., 2007). En la misma región mediterránea española, la imaginería Landsat 8 *Land Surface Temperature* ha mostrado que las temperaturas sobre áreas verdes de la ciudad de Barcelona eran hasta 2,5 ºC más bajas que las zonas de fuerte urbanización (Lemus-Canovas et al., 2020).

En la climatología española, este proceso ha sido reconocido en grandes ciudades como Madrid, Barcelona, Córdoba y Granada (López et al., 1988; Arroyo & Fernández, 1991; Puigcerver, 1999; Domínguez, 1999; Montávez et al., 2000; Miró et al., 2012; Martin-Vide & Moreno-García, 2020). El interés de este proceso ha determinado que el PNACC (Plan Nacional español de Cambio Climático) en su introducción, señala: "planificar una adaptación para un horizonte de calentamiento de 2 ºC no es lo mismo que planificar un horizonte de calentamiento de 4 ºC" (Roberts et al., 2015).

Para ayudar a aclarar estas incertidumbres, la investigación se apoya en la red instrumental propia, especialmente diseñada en su ubicación para tal fin. Es el centro urbano, representando por el Casino, quien aporta la mayor temperatura media, la única que supera los 19 ºC, mientras que los restantes observatorios, siempre menos urbanos, muestran valores similares entre 18,3 y 18,5 ºC. Así, suponiendo que los observatorios de la periferia de la ciudad de Castellón no se vieran influidos por el calor urbano, se puede estimar que el valor de la UHI con respecto al centro urbano (Casino) oscila entre 0,8 y 0,9 ºC. Esta última es la diferencia con respecto al observatorio de la AEMET, Castellón-Almazora.

Asimismo, el efecto urbano se destaca igualmente con la temperatura media anual (2001-2020) en las Islas Columbretes, 18,5 ºC, frente a la temperatura media anual registrada en la estación del Casino, 19,2 ºC. Se trata de un valor elevado, ya que la estación de islas Columbretes, situada a 63 metros sobre la interfase mar-tierra, tiene un régimen térmico regido por el efecto termostático del mar. La temperatura media anual de la superficie del mar (TSM), medida en la Plataforma es de 19 ºC. El papel termostático del mar es un factor determinante, como lo demuestra la elevada temperatura mínima media de 16,2 ºC en las Islas Columbretes.

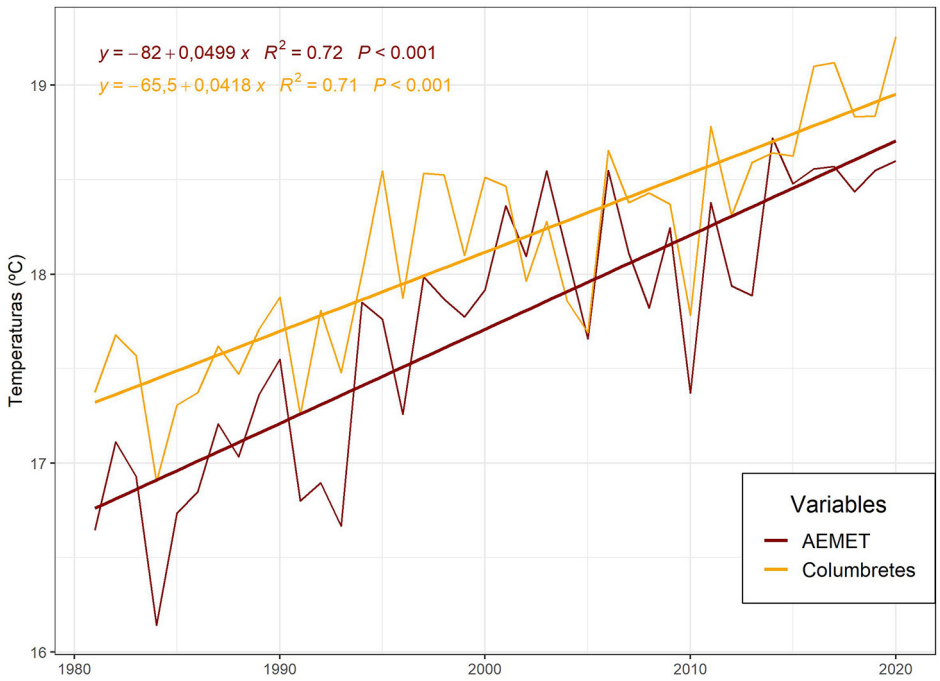
Esta influencia urbana se pone también de manifiesto en la diferenciada amplitud u oscilación térmica existente entre el centro urbano y la periferia. En efecto, las temperaturas mínimas medias ofrecen una diferencia de 1,7 y 1,6 ºC entre los observatorios de la Universidad (UJI) y de AEMET, con las del Casino. No obstante, en este orden de las temperaturas mínimas medias, parece existir una similitud de los valores obtenidos en el Casino y el Puerto (15,4 y 15,3 ºC). Esto parece poner de manifiesto que la estación Puerto, situada en el extremo del dique portuario del faro, actúa en una interfase atmósfera-mar dominada por una temperatura superficial del mar con media anual de 19 ºC (Bañón Garcia & Cantó Perez, 2011). Así, en la estación portuaria, el papel termostático del mar parece ser semejante al UHI en la estación del Casino.

Consecuentemente, la evolución secular de la temperatura ha registrado un aumento de 1,4 ºC. Un aumento que se ha producido básicamente en los últimos 40 años. La configuración de este aumento térmico revela igualmente que, al menos en el observatorio de Castellón-Almazora, ha corrido paralelo al

incremento demográfico y de consumo energético. Unas elevadas correlaciones que vuelven a resaltar el papel del UHI y del consumo de energía en el aumento de las temperaturas.

Sin embargo, tal y como muestra la Tabla 1, la comparación del calentamiento secular registrado en las Islas Columbretes con el registrado en la estación de Castellón-Almazora es idéntico, 1,4 ºC. El coeficiente de correlación entre ambas series térmicas (1992-2020) es notable 0,79. Consecuentemente ello permite reconstruir la serie de las islas Columbretes hasta 1981 en que comienza el proceso regional de elevación de las temperaturas. De este modo, la elevación de la temperatura en Castellón, en los últimos cuarenta años (1981-2020), ha sido de 2 ºC, frente al 1,6 ºC que ha registrado la estación de islas Columbretes (Figura 9).

Figura 9. Evolución de la temperatura media anual en los observatorios de AEMET en Castellón-Almazora y de las islas Columbretes



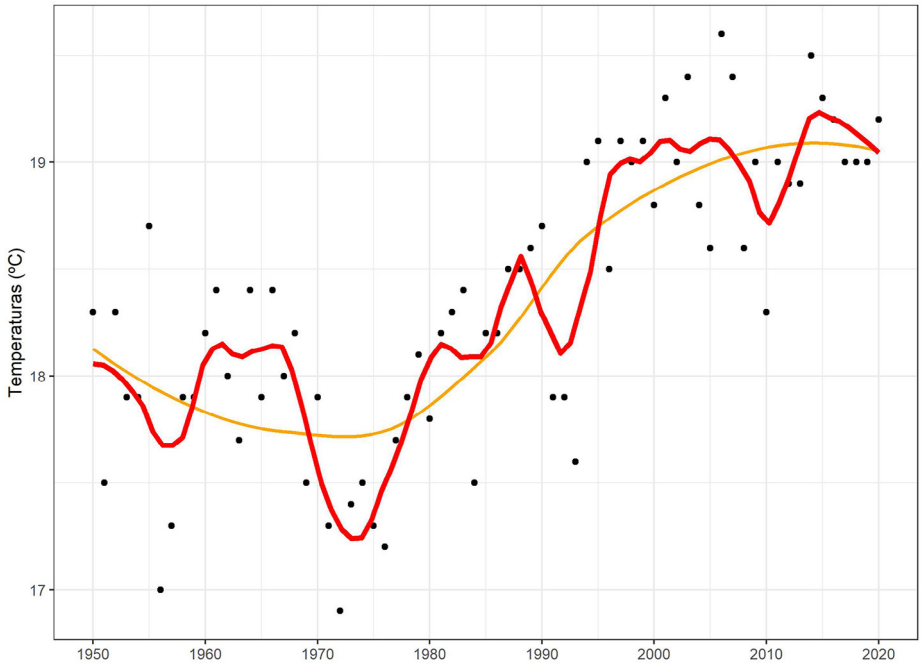
Fuente: AEMET. Elaboración propia

Dado que sobre la estación insular los efectos de la urbanización pueden considerarse nulos, esa diferencia de calentamiento, 0,3-0,4 ºC en los últimos cuarenta años, podría estar marcando la magnitud del UHI. Una magnitud que, en el observatorio de Castellón-Almazora, supondría un 20 % del aumento térmico global observado entre 1981 y 2020. Valores que aparecen verificados por el comportamiento de las temperaturas medias de las máximas y de las mínimas. Así, mientras que en los registros insulares ambas temperaturas han mostrado el mismo valor de aumento durante los últimos cuarenta años, en el observatorio de Castellón-Almazora las temperaturas mínimas han mostrado un aumento muy superior al de las máximas, 2,5 ºC frente a 1,4 ºC.

Consecuentemente, puede concluirse que, durante los últimos cuarenta años, la magnitud del calentamiento climático de Castellón vendría representado por ese aumento de 1,6 ºC registrado en las islas Columbretes y el 1,2ºC de los observatorios rurales. Un aumento que ha sido de 2 ºC en la estación continental de Castellón. La diferencia de calentamiento (0,3 a 0,4 ºC), podría ser debida a los efectos de la urbanización. El UHI representaría así una aportación del 20 % al aumento de la temperatura. La evaluación porcentual es similar a la alcanzada por Scafetta (2021) a nivel global al comparar los períodos 1940-1960 y 2000-2020.

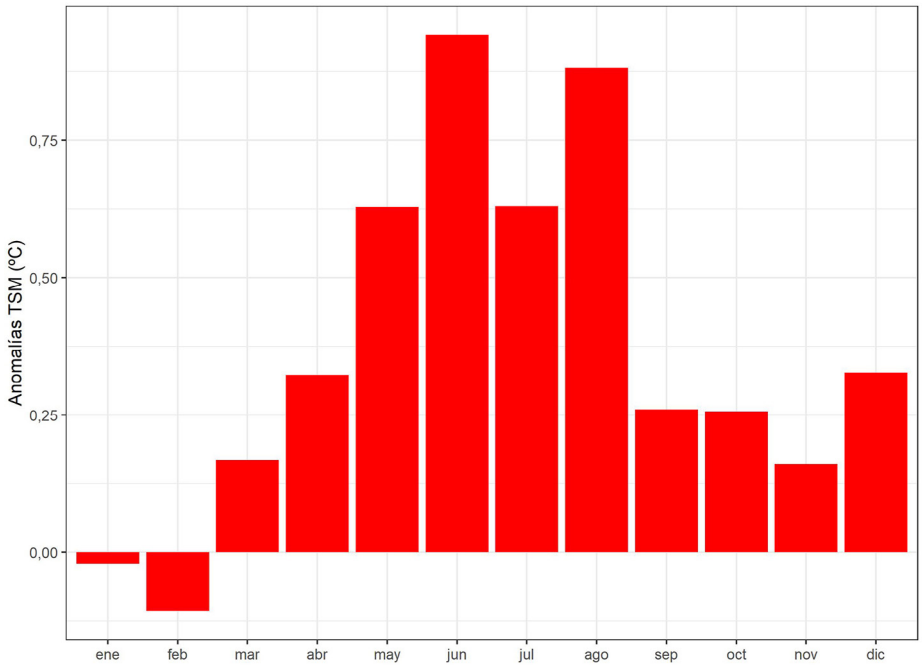
La validez de la serie de temperaturas medias de islas Columbretes se pone de manifiesto por su buena correlación (0,71) con las anomalías de la temperatura marina en el cuadrado de dos grados de latitud-longitud (NOAA ERSST) centrado en las mismas. Al mismo tiempo, el régimen anual de estas anomalías (1981-2017) con respecto a la media de 1960-1990, es de gran significación con respecto a la naturaleza del calentamiento climático regional (Figura 11).

Figura 10. Evolución de las temperaturas en el Observatorio de Castellón-Almazora con curvas suavizadas para diferenciar tendencias



Fuente: AEMET. Elaboración propia

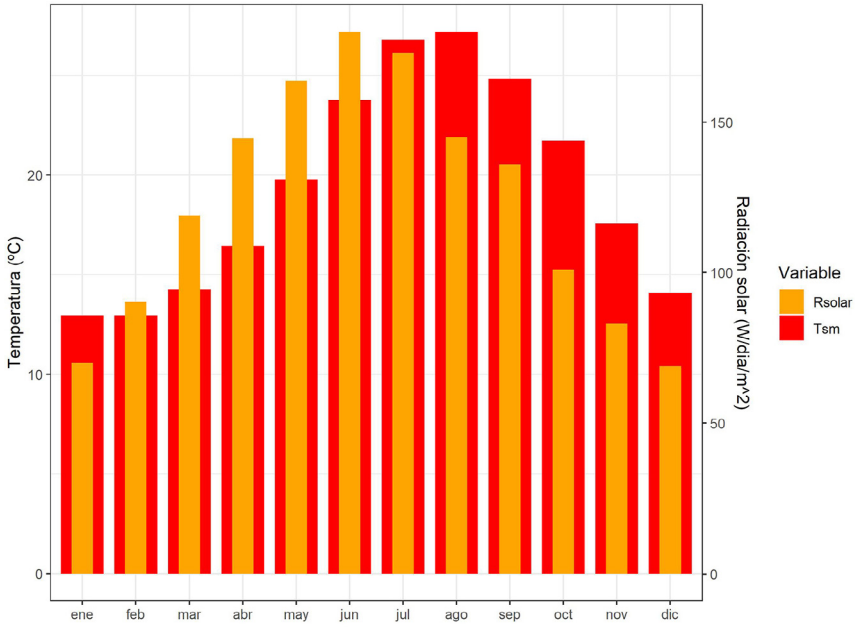
Figura 11. Anomalías de la temperatura superficial marina (TSM) (1981-2017) con respecto a la media 1960-1990 en el Mediterráneo (NOAA ERSST).



Fuente: AEMET, Huang et al., 2017. Elaboración propia

Una significación climática basada en que si bien la absorción de la energía solar es la primera causa del incremento térmico marino (Figura 12), las interacciones atmósfera-mar determinan la configuración del campo de temperaturas del mar y sus anomalías. Unas interacciones que se han podido analizar en el observatorio universitario marino (Plataforma) y que desprenden la alta significación de las anomalías registradas en la temperatura superficial del mar.

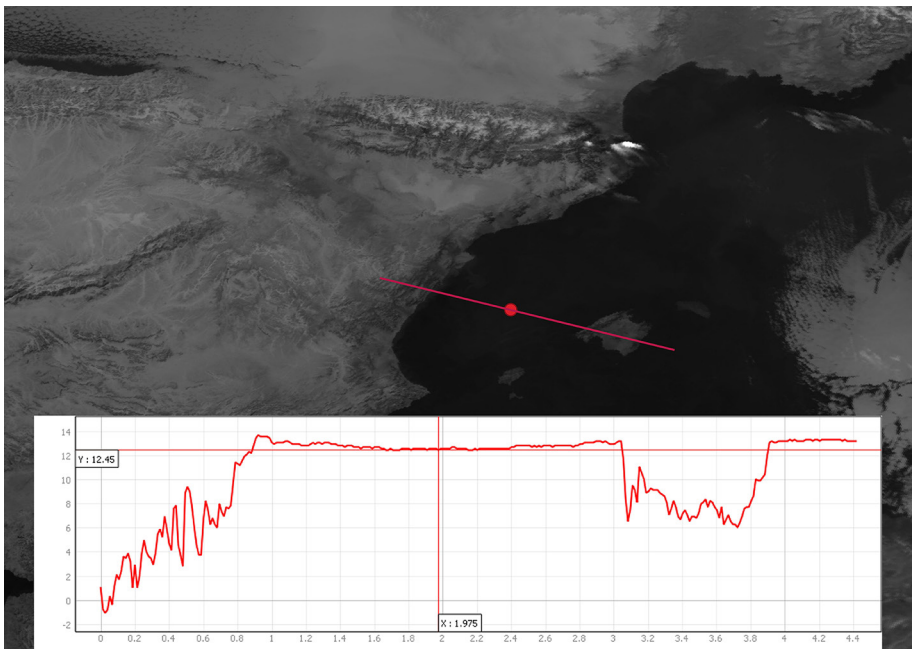
Figura 12. Radiación solar en W/día/m² y Temperatura superficial del mar (TSM) en medias de 2001-2012



Fuente: Universitat Jaume I. Elaboración propia

Las interacciones energéticas en esa interfase atmósfera-mar experimentan fuertes contrastes estacionales. Durante el otoño e invierno, la temperatura superficial del mar supera con frecuencia a la del aire, generando una destacada transferencia energética desde el mar a la atmósfera y a continuación un enfriamiento de las aguas superficiales. La subsidencia de las aguas más frías de superficie crea un importante espesor de aguas homotermas, con la profundización o desaparición de la termoclina. Ese espesor llega a su máximo nivel a finales del invierno. Es, por tanto, en el período invernal en el que se cuenta con un mayor volumen de capa marina activamente implicada en el intercambio de calor con la atmósfera. Como consecuencia la diferencia térmica media entre -1 y -3 m es de tan solo 0,03 ºC.

Figura 13. El perfil térmico entre la zona costera peninsular y la isla de Mallorca muestra el papel de manantial caliente del mar durante la época invernal (Imagen NOAA HRPT, 6/01/2019, 9 h)



Fuente: Universitat Jaume I

Por su parte, en el período estival, la intensa radiación solar y las elevadas temperaturas resultantes limitan la turbulencia convectiva. La termoclina se ubica cerca de la superficie y a ese sector superior queda reducida la capa activa participe de los intercambios con la atmósfera. La falta de mezcla en la columna de agua intensifica el calentamiento del agua superficial, tal y como muestra el régimen anual de las anomalías en la Figura 13. Así, mientras que en enero las variación de temperaturas entre los 1 y 3 metros de profundidad apenas alcanza 0,03 ºC, en el mes de agosto, en plena canícula estival, aumenta hasta 0,12 ºC.

5. Conclusiones

Este estudio ha tenido por objetivo evaluar la magnitud y naturaleza del calentamiento climático registrado en la región mediterránea española, concretamente en las provincias valencianas y murciana. Una evaluación basada en tres ejes. El primero se centra en los registros de 22 observatorios pertenecientes a la red de la AEMET, con series completas que abarcan el periodo 1950-2020. Dichos observatorios muestran una tendencia de calentamiento, con un valor medio de esta tendencia, durante esos 71 últimos años, de 1,6 ˚C en los cinco observatorios de urbano (Murcia, Elche, Valencia, Alicante y Castellón-Almazora). Un valor que ha sido algo inferior en el promedio de los observatorios rurales, 1,2ºC.

Esta diferencia de magnitud entre observatorios urbanos y rurales unida a la registrada entre las temperaturas máximas y las temperaturas mínimas ha suscitado la posibilidad del efecto urbano (UHI) en el proceso de calentamiento climático. Un efecto que muestra una buena correlación con la demografía regional y que ha sido confirmado experimentalmente en el área urbana de Castellón en el período 2001-2020, con la media más elevada en el centro de la ciudad y los observatorios terrestres viendo disminuir sus mínimas en mucha mayor medida que sus máximas, a medida que nos desplazamos hacia la periferia. Esta destacada aportación, una red propia y plenamente organizada para evaluar el UHI, se ha completado con la serie de las Islas Columbretes con una media mínima muy notable, dado que en el pequeño archipiélago volcánico el efecto urbano puede considerarse nulo, pero donde juegan un papel destacado las interacciones atmósfera-mar.

Por otro lado, los registros ambientales disponibles muestran una elevada correlación (r>0,82) entre la evolución de las temperaturas y el consumo de energía regional durante los últimos cuarenta años. Esta notable correlación con el consumo energético regional parece confirmar que la influencia humana ha sido relevante en el calentamiento registrado por los observatorios. Una tendencia de calentamiento que puede situarse en un valor secular de 1,4 a 1,6 ºC y que la aportación del UHI estaría siendo de un 20 %., 0,3-0,4 ºC.

Establecido el valor de la tendencia de calentamiento y el influjo que en ella puede tener el UHI, las futuras investigaciones pueden centrarse en asuntos más concretos, como la variación del UHI según los distintos tipos de tiempo, la evolución del número de noches tropicales y la incidencia de olas de calor y de frío, en los distintos tipos de observatorios, aspecto de gran interés y de aplicación en el confort de la población. Y cartografiar su variación en el entorno urbano de la ciudad de Castellón con la ayuda de los datos de satélite.

Financiación

El presente trabajo ha sido posible gracias a un Convenio con la Excelentísima Diputación Provincial de Castellón (proyecto 2021-0042, exp 974/2021).

Referencias

Aguilar, E., Auer, I., Brunet, M., Peterson, T.C., & Wieringa, J. (2003). *Guidelines on Climate Metadata and Homogenization*, WCDMP-No. 53, WMO-TD No. 1186. World Meteorological Organization.

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

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

Bañón Garcia, M., & Cantó Perez, L.M. (2011). Historia del Observatorio meteorológico de Alicante. *Revista digital RAM*, 39.

Caselles, V., López García, M.J., Meliá, J., & Pérez Cueva, A. (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*(4), 195-203. https://doi.org/10.1007/BF00867455

Chapman, S., Watson, J. E. M., Salazar, A., Thatcher, M., & McAlpine, C. (2017). The impact of urbanization and climatic change on urban temperatures: a systematic review. *Landscape Ecology*, 32, 1921-1935. https://doi.org/10.1007/s10980-017-0561-4

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

Earth Observation Group. Monthly Cloud-free visible and infrared Imaging Suite Day Night Band. https://eogdata.mines.edu/nighttime_light/monthly/v10/

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*(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

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*(15), 4444-4463. https://doi.org/10.1002/joc.4298

Gonzalez-Hidalgo, J. C., Peña-Angulo, D., Brunetti, M., & Cortesi, N. (2016). Recent trend in temperature evolution in Spanish mainland (1951–2010): from warming to hiatus. *Int. J. Climatol.*, *36*(6), 2405-2416. https://doi.org/10.1002/joc.4519

Horcas, R., Rasilla, D., & Fernández-García F. (2001). Temperature variations and trends in the Segura River Basin. An exploratory analysis. In M. Brunet, & D. López, (Eds.), *Detecting and Modeling Regional Climate Change* (pp. 133-142). Springer-Verlag. 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., Menne, M. J., Smith, T. M., Vose, R. S., & 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, proporcionado por el NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA. https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.noaa.ersst.v5.html

Instituto Cartográfico Valenciano/Infraestructura Valenciana de datos espaciales. Valencian Infrastructure of Spatial Data (Infraestructura Valenciana de Datos Espaciales). http://www.idev.gva.es/va/inicio

Instituto Nacional de Estadística. Población residente por fecha, sexo y edad. https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=9687&L=0

Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial. Plan de Energía Sostenible de la Comunitat Valenciana 2020. https://www.ivace.es/images/energia/2018/Plan_Energ%C3%ADa_Sostenible_CV_2020_Para_web.pdf

Kalnay E., & Cai M. (2003). 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

Khaliq, M. N., & Ouarda, M. J. (2007). On the critical values of the standard normal homogeneity test (SNHT). *International Journal of Climatology*, 27(5), 681-687. https://doi.org/10.1002/joc.1438

Lee, D. O. (1992). Urban warming? An analysis of recent trends in London's heat island. *Weather*, *47*(2), 50-56. https://doi.org/10.1002/j.1477-8696.1992.tb05773.x

Lemus-Canovas, M., Martin-Vide, J., Moreno-Garcia, M. C., & Lopez-Bustins, J. A. (2020). Estimating Barcelona's metropolitan daytime hot and cold poles using Landsat-8 Land Surface Temperature. *Science of the Total Environment*, 699, 134307. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134307

Li, Q., Yang, S., Xu, W., Wang, X. L., Jones, P., Parker, D., Zhou, L., Feng, Y., & Gao, Y. (2015). China experiencing the recent warming hiatus. *Geophys. Res. Lett.*, *42*(3), 889-898. https://doi.org/10.1002/2014GL062773

López, A., López, J., Fernández, F., & Arroyo, F. (1988). *El clima urbano de Madrid, La isla de calor.* CSIC.

Martin-Vide, J., & Moreno-Garcia, M. C. (2020). Probability values for the intensity of Barcelona's urban heat island (Spain). *Atmospheric Research*, 240, 104877. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104877

Mckitrick, R. R., & Michaels P. J. (2007). Quantifying the influence of anthropogenic surface processes and inhomogeneities on gridded global climate data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 112(D24), 1-14. https://doi.org/10.1029/2007JD008465

Mills, S., Weiss, S., & Liang. (2013). C. VIIRS day/night (DNB) stray light characterization and correction. In J.J. Butler, X. Xiong, & X. Gu (Eds.), *SPIE Proceedings* (Vol. 8866, 88661P.). Earth Observing Systems XVIII. https://doi.org/10.1117/12.2023107

Miró, J. J., Estrela, M. J., & Barberá, M. J. (2012). Análisis de tendencias de series diarias de temperatura a partir de un downscaling estadístico con datos de reanálisis y redes neuronales. Aplicación a la Comunidad Valenciana. In C. Rodríguez, A. Ceballos, N. González, E. Morán, & A. Hernández~~,~~ ~~A.~~ (Eds.),. *Cambio climático. Extremos e impactos* (Serie A, nº 8, pp. 549-560). Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC).

Miró, J. J., Estrela, M. J., & Olcina, J. (2016). Reconstrucción de la señal térmica local en la Comunidad Valenciana entre 1948 y 2011 a partir de un downscaling estadístico mediante una red neuronal artificial: detección de patrones locales de cambio. *Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles*, (70). https://doi.org/10.21138/bage.2165

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*(1), 35-54. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199701)17:1<35::AID-JOC104>3.0.CO;2-F

Montávez, J. P., Rodríguez, A., & Jiménez, J. I. (2000). A study of the urban heat island of Granada. *International Journal of Climatology*, *20*(8), 899-911. https://doi.org/10.1002/1097-0088(20000630)20:8%3C899::AID-JOC433%3E3.0.CO;2-I

Olcina, J. (2020). Clima, cambio climático y riesgos climáticos en el litoral mediterráneo. Oportunidades para la geografía. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, *66*(1), 159-182. https://doi.org/10.5565/rev/dag.629

Panel Intergubernamental del Cambio Climático (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*. In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, & H. L. Miller, (Eds.). Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/

Panel Intergubernamental del Cambio Climático (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*. In T.F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, & P. M. Midgley (Eds.). Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/

Panel Intergubernamental del Cambio Climático (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. In V. P. Masson-Delmotte, A. Zhai, S. L. Pirani, C. Connors, S. Péan, N. Berger, Y. Caud, L. Chen, M. I. Goldfarb, M. Gomis, K. Huang, E. Leitzell, J. B. R. Lonnoy, T. K. Matthews, T. Maycock, O. Waterfield, R. Yu Yelekçi, & B. Zhou (Eds.). Cambridge University Press. In Press. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf

Parker, D. E. (2011). Recent land surface air temperature trends assessed using the 20th century. *Journal of Geophysical Research*, *116*(D20), 1-6. https://doi.org/10.1029/2011JD016438

Puigcerver, 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 Olcina, A., Pérez Cuevas, A., Olcina Cantos, J., Rico Amoros, A., & Montón Chiva, E. (2000). Climatic warming in the Spanish Mediterranean: Natural Trend or Urban effect. *Climatic Change*, 46, 473-483. https://doi.org/10.1023/A:1005688608044

Quereda, J., Monton, E., & Quereda, V. (2016). Significant Climatic Warming (1950–2013) in the Spanish Mediterranean: Natural Trend or Urban Heat Island (UHI). *Tethys,* 13, 11-20. https://doi.org/10.3369/tethys.2016.13.02

Quereda, J., Montón, E., & Quereda, V. (2020). Climate Warming in the Spanish Mediterranean: Its Magnitude and Nature. *Tethys*, 17, 1-9. https://doi.org/10.3369/tethys.2020.17.01

Quereda, J., Ruescas, A., Monton, E., Escrig, J., & Mollá B. (2004). Detection of the urban effect over temperature trend by means of NOAA-AVHRR Imagery. In *MeCeo, First Mediterranean Conference on Earth Observation* (pp. 32-39).

Ren, G. Y., Zhou, Y. Q., Chu, Z. Y., Zhou, J. X., Zhang, A. Y., Guo, J., & Liu X. F. (2008). Urbanization effects on observed surface air temperature trends in north China. *Journal of Climate*, *21*(6), 1333-1348. https://doi.org/10.1175/2007JCLI1348.1

Roberts, C. D., Palmer, M. D., McNeall, D., & Collins, M. (2015). Quantifying the likelihood of a continued hiatus in global warming. *Nature Climate Change*, 5, 337. https://doi.org/10.1038/nclimate2531

Sachindra, D. A., Ng, A. W. M., Muthukumaran, S., & Perera, B. J. C. (2015). Impact of Climate Change on Urban Heat Island Effect and Extreme Temperatures: A Case Study. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, *142*(694), 172-186. https://doi.org/10.1002/qj.2642

Scafetta, N. (2021). Detection of non-climatic biases in land surface temperature records by comparing climatic data and their model simulations. *Clim Dyn,* 56, 2959-2982. https://doi.org/10.1007/s00382-021-05626-x

Scafetta, N., & Ouyang, S. (2019). Detection of UHI bias in China climate network using Tmin and Tmax surface temperature divergence. *Global and Planetary Change*, 181, 102989. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.102989

Spanish Emissions Inventory. (2019). Spanish Emissions Inventory System, Ministry for Ecological Transition. Government of Spain. https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/volumen2.aspx

Trenberth, K. E., Jones, P.D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Klein Tank, A., Parker, D., Rahimzadeh, F., Renwick, J.A., Rusticucci, M., Soden, B., & Zhai P. (2007). Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, & H.L.Miller (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter3-1.pdf

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

Yan, Z. W., Li, Z., Li, Q. X., & Jones P. (2010). Effects of site change and urbanisation in the Beijing temperature series, 1977-2006. *International Journal of Climatology*, *30*(8), 1226-1234. https://doi.org/10.1002/joc.1971