

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE UN “TROYANO”: EL EFECTO URBANO (UHI) SOBRE LAS TEMPERATURAS

José QUEREDA SALA, Enrique MONTÓN CHIVA,
Belén MOLLÁ CANTAVELLA, Victoria QUEREDA VÁZQUEZ

Estación de Climatología Aplicada

Laboratorio de Clima, Universitat Jaume I

quereda@uji.es, montone@uji.es, bmolla@uji.es, mquereda@uji.es

RESUMEN

El presente trabajo ofrece los recientes resultados de un plan experimental de investigación, iniciado en el año 2001, cuyo objetivo ha sido analizar los procesos térmicos inherentes al efecto de urbanización. Un efecto de isla de calor (UHI, *Urban Heat Island*) que, aunque innegable, es muy controvertido en su importancia. Los resultados preliminares bajo nuestro diseño inicial del campo de observación, han permitido mejorar y completar las observaciones a lo largo de los primeros trece años del actual siglo XXI (2001-2013).

Los resultados obtenidos, tanto en la red universitaria de estaciones automáticas y de AEMET, como en la imagerie de teledetección (NOAA) permiten confirmar tanto la naturaleza del fenómeno como su importante magnitud. Estos resultados permiten considerar que el UHI podría comportarse como un “troyano” en los análisis sobre la evolución de las temperaturas regionales y globales. Consecuentemente, soslayando este proceso, un verdadero talón de Aquiles de las tendencias térmicas, se podría estar cometiendo un grave sesgo en los análisis de la evolución de las temperaturas, principal eje de la hipótesis de cambio climático.

Palabras clave: temperaturas, efecto urbano, UHI (*Urban Heath Island*), homogeneidad, cambio climático.

ABSTRACT

This work presents the results of a recent experimental research plan, launched in 2001 and whose goal was to analyze the thermal processes around the effect of urbanization. A heat island effect (UHI, *Urban Heat Island*) that although undeniable, is very controversial in its importance. The results, obtained under our initial design of observation field, have been able to improve and complete observations along the first thirteen years of the current century (2001-2013).

The results have been derived from both the own university network of automatic stations and AEMET network. The remote sensing imagery from NOAA satellites confirms the nature of the phenomenon and its significant magnitude. Results support the conclusion that the UHI could behave as a real Trojan on the analysis of the evolution of regional and global temperatures. Consequently bypassing this process, a real Achilles' heel over temperature trends, we could be making a serious bias in the analysis of the evolution of temperatures, the main axis of the climate change scenarios.

Key words: Temperatures, urban effect, UHI (*Urban Heath Island*), homogeneity, climatic change.

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de las tres últimas décadas ha venido desarrollándose un notabilísimo esfuerzo de investigación concerniente a las variaciones climáticas y a la influencia del hombre sobre el

clima. No obstante, toda una serie de procesos no climáticos erizan de dificultades e incertidumbres la analítica de la evolución de la temperatura regional o global. Estas inseguridades se plantean especialmente en las series históricas de los principales observatorios mundiales. Y a pesar del riguroso empleo de las técnicas estadísticas más sofisticadas en el análisis, la inseguridad en la detección de heterogeneidades, y consecuentemente de tendencias significativas, debe tenerse en cuenta en todas las conclusiones alcanzadas sobre la magnitud de calentamiento observada (Mitchell *et al.*, 1966; Sneyers, 1975; Easterling and Peterson, 1992; Lamarque and Jourdain, 1994; Easterling *et al.*, 1997; Moberg and Alexandersson, 1997).

Sin duda alguna, el más sutil e importante de estos procesos no climáticos es el efecto térmico urbano (Kukla *et al.*, 1985; Lee, 1992; Lockwood, 1998; Quereda *et al.*, 2004; Quereda *et al.*, 2009). Este fenómeno ya fue reconocido a comienzos del siglo XIX por Luke Howard (1810), mostrando que la temperatura de un área metropolitana era significativamente mayor que en las áreas rurales circundantes. Este efecto es hoy bien reconocible en la imaginería infrarroja AVHRR (Quereda *et al.*, 2009). Un hecho que obliga a plantearse una cuestión clave: ¿Las áreas urbanas están contribuyendo a la observada tendencia de calentamiento que fundamenta la hipótesis del cambio climático?

Las respuestas ofrecidas dentro del mundo científico muestran que, si bien el efecto UHI (Urban Heat Island) parece innegable, su importancia es muy controvertida. El paradigma de esta encrucijada en las investigaciones viene configurado en los mismos protocolos científicos del IPCC. Así, el Fourth Assessment (IPCC, 2007) aun reconociendo el efecto del microclima de las ciudades, señalaba que su efecto era local y prácticamente despreciable en la tendencia regional o global. La magnitud no superaría el 0,002°C por década desde 1900 y que, bajo la influencia oceánica, el UHI global tendería a cero. En síntesis no existirían evidencias de que el calentamiento alterase la tendencia global de las temperaturas (K.E. Trenberth, 2007). Sin embargo, el Fifth Assessment 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 la revisión. Así, diversos investigadores, comparando la temperatura de áreas urbanas y áreas rurales, han llegado a la conclusión de que el efecto urbano puede representar entre el 40 y el 80 % del valor de la tendencia observada en las últimas décadas (Ren et al., 2007, Yan et al., 2010). Simultáneamente, en USA, McKittrick and Michaels (2007) han concluido que la mitad del valor de la tendencia del calentamiento observada entre 1980 y 2002 podría proceder de cambios en los usos de superficies. Estas magnitudes que han tratado de ponderarse o reducirse mediante medidas de reanálisis y de satélite (Parker, 2011; Jones et al. 2012; Vose et al., 2012). Reducciones que no han evitado una profunda revisión de las afirmaciones del cuarto informe. Así, Efthymiadis and Jones (2010), concluyen que la influencia urbana sería de 0,02 ° C por década y hasta un 15 % del “trend” 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 et al. 1988; Arroyo Ilera y Fernández García, 1991; Domínguez Bascón, 1999; Puigcercer y Zanón, 1999; Montávez, et al. 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) (El Kenawy et al. 2012). Asimismo aparecería reflejada igualmente en los extremos térmicos estivales (Miró et al. 2006; Fernández Montes et al, 2013), aunque el valor de incremento de los valores extremos haya sido inferior al de las temperaturas medias (Acero et al. 2014).

Ante tan controvertida discusión científica, el efecto de la urbanización, junto a los restantes efectos no climáticos, está justificando una incesante búsqueda de técnicas comparativas de homogeneización mediante algoritmos (Venema *et al.*, 2012). Así, junto a los test de homogeneidad interna, los test de homogeneidad relativa han permitido un aceptable control de homogeneidad y corrección de heterogeneidades. Una de las técnicas más utilizadas se ha basado en la metodología expuesta por Alexandersson (1986) y Alexandersson and Moberg (1997). Esta metodología SNHT (*Standard Normal Homogeneity Test*), recogiendo las principales formulaciones estadísticas proporciona, hoy por hoy, una de las mejores aproximaciones al problema de tratamiento de las heterogeneidades y “ruidos” en las series climáticas temporales.

Sin embargo, para ello es obligado definir una serie de referencia con las diferentes series y en la que las heterogeneidades queden difuminadas. Ciertamente, aquí podría radicar una debilidad del método. En efecto, el procedimiento consiste en promediar series homogéneas o no, 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 diferencias o ratios están sesgados. El corregir una serie a partir de otra 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.

2. UN ANÁLISIS “EXPERIMENTAL” DEL EFECTO TÉRMICO URBANO

Este efecto térmico urbano podría estar constituyendo un auténtico “troyano” en el análisis de la evolución térmica. La verdadera “elevación natural” de la temperatura, corregida del efecto urbanización, podría ser mucho más reducida de lo que los estudios y modelos preconizan. Ello viene a justificar una investigación de un proceso que puede estar constituyendo un gran sesgo en el estudio de la evolución térmica, verdadero eje de la hipótesis de cambio climático (Lee, 1992; Quereda *et al.*, 2000). El reciente Plan Nacional para el Cambio Climático en España (MIMAM, 2007) señala en su preámbulo “no es lo mismo planificar una adaptación para un horizonte de calentamiento de 2 °C que para otro de 4 °C”.

2.1. El dispositivo observacional

Todas estas interrogantes -esencialmente ¿cuál es la magnitud del efecto urbano?- han determinado que hayamos abordado el análisis específico del efecto térmico urbano, con el recurso complementario a la imaginería infrarroja AVHRR, a través de la evolución de la temperatura en los albores del siglo XXI (2001-2013), correspondiente a los registros de cinco estaciones de observación emplazadas en el área de la ciudad de Castellón (Fig. 1). Esta ciudad ha experimentado un notable incremento demográfico en las últimas décadas ya que en 1970 tenía 93.000 habitantes y en 2010 está próxima a los 200.000 habitantes.

De esas cinco estaciones de observación, cuatro observatorios (Casino Antiguo, UJI, Port e Isleta) corresponden a la red de estaciones automáticas de la Universitat Jaume y el quinto, al observatorio de primer orden de Castellón-Almazora (AEMET, Agencia Estatal de Meteorología). La selección de observatorios ha estado dirigida, tal como muestra la figura 1, a registrar la temperatura en el mismo centro urbano de Castellón de la Plana (Casino Antiguo) y, simultáneamente, en la periferia de la ciudad, observatorios AEMET, UJI, Port e Isleta. Todas estas estaciones han sido rigurosamente calibradas con dos equipos (CASELLA-DAVIS Instrument) en cada una de ellas. En el observatorio central del Casino se ha utilizado la estación situada a 5 metros sobre la terraza, y en la UJI la estación exterior del campus.

Asimismo, la misma estación portuaria está ubicada a 1,5 Km de la estación más alejada de la influencia urbana, la estación marina sobre la Plataforma de BPOil (Isleta) (Fig. 2).



Fig. 1: Red de estaciones utilizadas en el presente estudio



Fig. 2. Estación marina Isleta, BP Oil Platform, coordenadas $39^{\circ}56'42''\text{N}$ y $00^{\circ}01'36''\text{E}$, frente a la estación meteorológica del Port (al fondo).

2.2. Los resultados del análisis experimental

Los registros meteorológicos aquí analizados han cubierto el período reciente 2001-2013. En este período el funcionamiento del observatorio de AEMET se ha simultaneado con las cuatro estaciones automáticas de la red universitaria, aportando una experiencia de alto valor en lo concerniente al estudio del efecto de calor urbano.

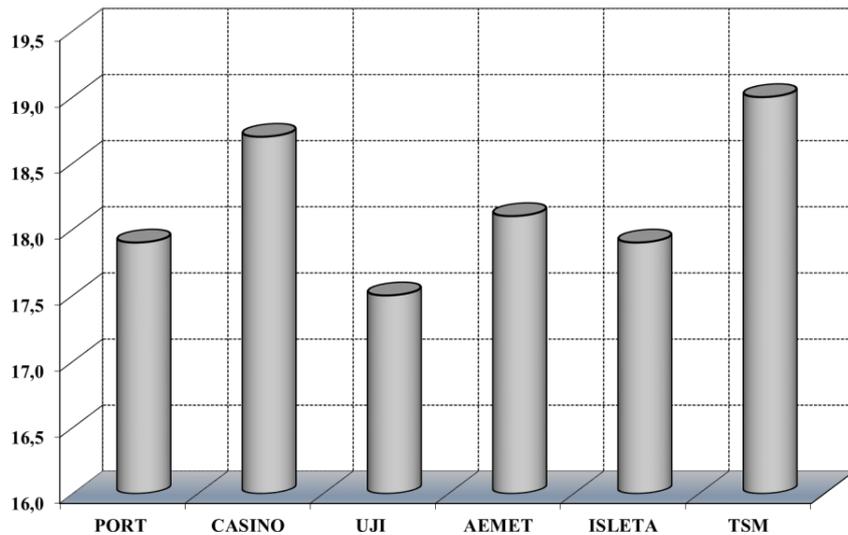


Fig. 3: Temperatura media anual en los distintos observatorios (2001-2013).

La temperatura media anual (Fig. 3) muestra la gran diferencia del valor entre la estación del Casino Antiguo, ubicada en el mismo centro de la ciudad, 18,7 °C, y el de las otras cuatro estaciones meteorológicas, ubicadas en la periferia urbana, con promedios de entre 17,5 °C (UJI), 18,1 °C (AEMET), 17,9 °C (Port). Este mismo valor de temperatura media de la estación del Port ha sido idéntico, 17,9 °C, al de la estación de la Isleta de BPOil, a 14 metros sobre la superficie del mar e inferior al valor medio de la temperatura superficial marina (TSM) de 18,9 °C (Fig. 3)

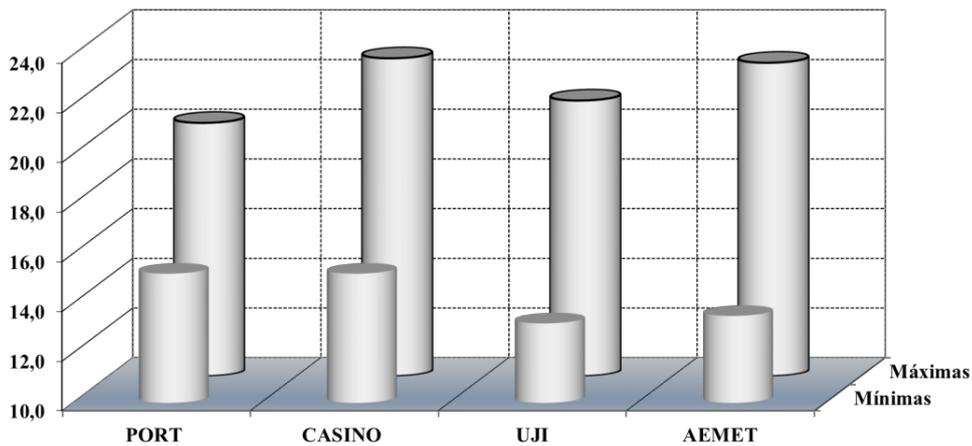


Fig. 4: Temperaturas medias de máximas y mínimas

Estos resultados permiten evaluar la gran magnitud que el UHI puede estar adquiriendo en observatorios que actualmente establecen sus registros en el interior de áreas urbanas. Así, con respecto a los observatorios periféricos de la ciudad de Castellón, la temperatura en el centro urbano (Casino) quedaría unos 0,6 °C superior al observatorio de AEMET, y 1,2 °C y 0,8 °C, con respecto a las estaciones de la UJI y del Port respectivamente. Este valor de 1,2 °C podría definir la magnitud máxima actual del UHI en la ciudad de Castellón.

Esta influencia urbana se pone también de manifiesto en el diferenciado gradiente térmico que entre el centro urbano y la periferia establecen las temperaturas medias de máximas y, especialmente, las medias de mínimas (Fig. 4). Las temperatura mínimas medias ofrecen una diferencia de 2 °C entre la estación universitaria (UJI) y el Casino, diferencia que es de 1,7 °C entre el Casino y AEMET. No obstante, parece existir una similitud de los valores obtenidos en el Casino y el Port (15,2 °C). Esto parece poner de manifiesto la gran influencia urbana sobre la estación portuaria. El hecho de que el UHI sea más notable en esta estación que en el resto de la periferia puede deberse a la predominante “brisa nocturna” (mayor en verano) que actuaría de tierra a mar, es decir desde el centro de la ciudad hacia la costa. Además, la estación Port, situada en el extremo del dique portuario del faro, actúa en una interfase atmósfera-mar dominada por una temperatura superficial del mar media anual de 19 °C y de 14,9 °C en las medias de las mínimas (Quereda, 1985, 1990; Quereda et al, 2002, 2006). Así, el papel termostático del mar parece ser también determinante, unido al efecto urbano, sobre las temperaturas mínimas.

3. ¿LAS ÁREAS URBANAS ESTAN CONTRIBUYENDO A LA TENDENCIA DE CALENTAMIENTO QUE FUNDAMENTA EL CAMBIO CLIMÁTICO?

Nos hallamos ante la cuestión clave del proceso del UHI. Verdaderamente la respuesta que se desprende de nuestra analítica experimental es plenamente afirmativa. Una respuesta que nos conduce a interrogarnos sobre ¿cuál sería la tendencia en la temperatura obtenida en las series históricas de la región mediterránea si eliminásemos el efecto urbano? Sin extrapolar a otros ámbitos, puede responderse a través de la evolución térmica registrada en los 22 principales observatorios de las regiones de Valencia y de Murcia.

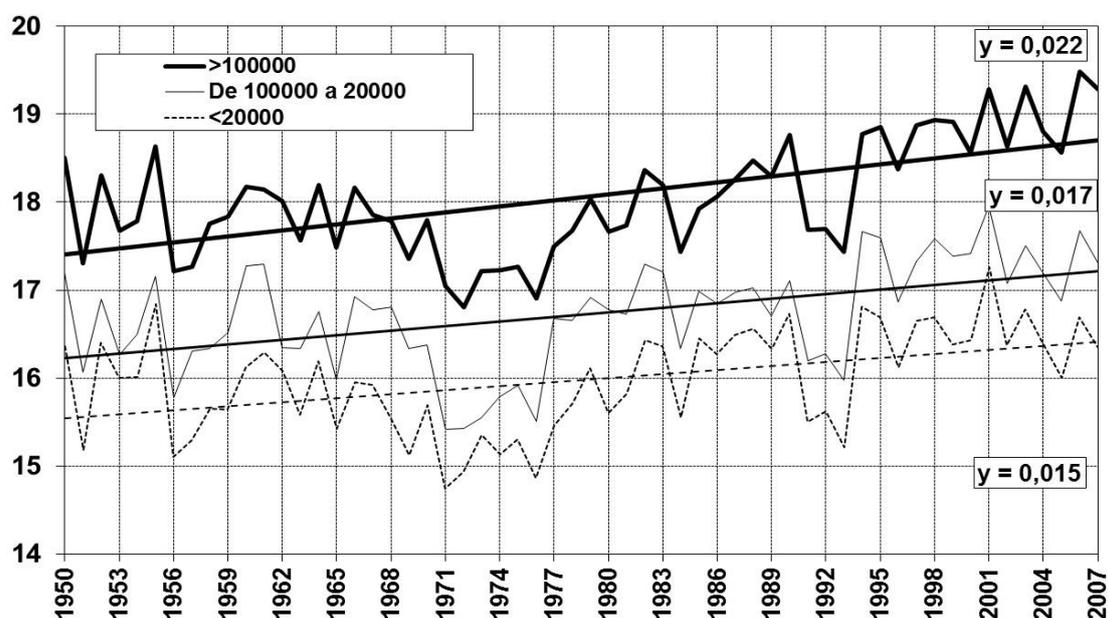


Fig. 5: Evolución y tendencia (°C/década) de la temperatura media anual en las 22 series históricas, con más de 60 años, según los habitantes del núcleo de población, de las comunidades de Valencia y de Murcia (AEMET).

La figura 5 muestra la evolución histórica y tendencia de las temperaturas medias en los observatorios de Valencia y de Murcia (1950-2007), debidamente tratadas y corregidas con el

test de homogeneidad SNHT. El valor de “trend” es netamente más elevado en las series de los observatorios de las grandes capitales (Murcia, Elche, Alicante, Valencia y Castellón) que en los núcleos menores. Ello equivaldría a un aumento térmico de 1,3 °C en los grandes núcleos urbanos frente al 0,9 °C en los núcleos menores de 20.000 habitantes. Una diferencia que podría mostrar la innegable existencia del UHI. En síntesis, comparando la diferencia total de aumento térmico (1950-2007) entre los observatorios de las grandes ciudades regionales (1,3 °C) y el de los núcleos menores (0,9 °C), el valor del UHI con respecto a los observatorios “rurales” alcanzaría 0,4 °C, un valor ligeramente inferior al de 0,6 °C que, en nuestra experiencia, se registra entre el centro urbano de Castellón y la estación de AEMET.

4. LA DETECCIÓN DEL EFECTO TÉRMICO URBANO A TRAVÉS DE LAS IMÁGENES NOAA

La mejor validación de los procesos de UHI analizados viene aportada por las técnicas de teledetección. Sin duda alguna el contraste de los espacios urbanos sobre el resto puede constituir una de las aplicaciones más interesantes de la teledetección.

De este modo, y ante la importancia que el efecto isla urbana de calor puede estar teniendo en esos “ruidos” que encierran las series de temperatura, hemos procedido a resaltar el proceso mediante las imágenes de satélite. Las imágenes utilizadas proceden del satélite NOAA. Situados a una altitud media de 833 Km, poseen una resolución espacial de 1 x 1 Km (1,1 Km píxel en el nadir). Actualmente están operativos el NOAA-18 y NOAA-19. El sensor que transportan los satélites actuales es el AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), cuyos filtros proporcionan información multiespectral en el rango del visible al infrarrojo térmico mediante seis canales. De ellos, los canales 4 y 5 filtran el infrarrojo térmico (en 10,8 y 11,5 μm respectivamente) y son los especialmente utilizados para extraer información acerca de las temperaturas.

La adquisición de la citada imagerie se ha realizado en el Laboratorio de Climatología de la Universitat Jaume I, mediante estación DARTCOM y antena rotatoria de recepción. La calibración y navegación de las imágenes se realiza siguiendo las indicaciones de la NOAA KLM User's guide, integradas en el software SIAMIV. Tras su recepción, para obtener temperaturas de la superficie terrestre es necesario aplicar un procesado, consistente en tres fases (Quereda *et al.*, 2004):

- 1) La eliminación de aquellos píxeles cubiertos o contaminados por nubes mediante una serie de máscaras.
- 2) La estimación de la emisividad a través de los umbrales del índice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), calculado mediante la información de los satélites Landsat.
- 3) La aplicación del algoritmo de temperatura o asignación de píxeles mediante un algoritmo de máxima verosimilitud, basado en la técnica del *split-window* o ecuación bicanal (McMillin, 1975; Sobrino and Raissouni, 2000).

Las imágenes ponen de manifiesto la existencia de ese foco de calor que representan las áreas urbanizadas y de actividad humana, un eje entre el mar y la zona rural. Especialmente en la imagerie nocturna y de madrugada es cuando la asignación algorítmica de temperatura en los píxeles se muestra más nítida y contrastada. En cambio, las imágenes obtenidas durante los períodos diurnos y con máxima insolación son poco contrastadas entre espacios urbanos y rurales, habida cuenta de la bajísima capacidad conductora de los suelos y, consecuentemente, de la notable elevación térmica que pueden experimentar durante los períodos de mayor incidencia solar.

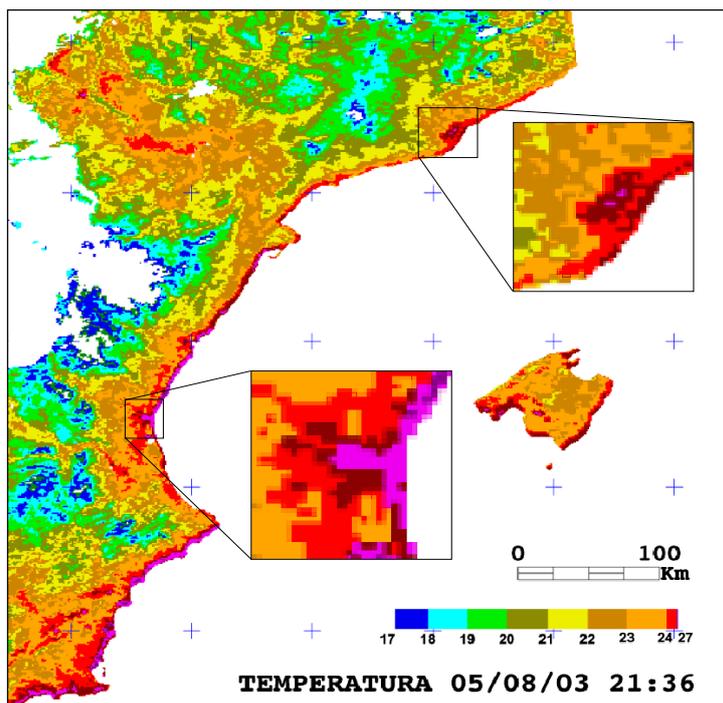


Fig. 6: Imagen NOAA, día 5-8-2003. Laboratorio de Climatología, Universitat Jaume I.

Este es el caso ilustrado en la figura 6 y correspondiente al día 5 de agosto de 2003. En la imagen se puede observar la perfecta delimitación de las áreas urbanizadas a tenor de los píxeles más cálidos. La notable conurbación litoral y su concentración de actividades se manifiestan en esos valores térmicos de 30 °C a comienzos del período nocturno y que contrastan netamente con el entorno rural, con notables gradientes térmicos. La imagen NOAA pone igualmente de manifiesto que las grandes ciudades de Barcelona y Valencia dilatan más estas células de calor, al igual que las extensas áreas de conurbación litoral de Alicante y Murcia, así como sobre la bahía de Palma de Mallorca.

En cambio, en la imagen de la figura 7, correspondiente al mismo día aunque durante el período de máxima insolación, la asignación algorítmica de píxeles muestra el intenso caldeoamiento de áreas interiores semiáridas y continentalizadas. Es por ello por lo que los procesos urbanos son menos discernibles estadísticamente sobre las temperaturas máximas, donde factores como la irrigación y el aumento de superficies reflectantes pueden, incluso, disminuir las temperaturas máximas.

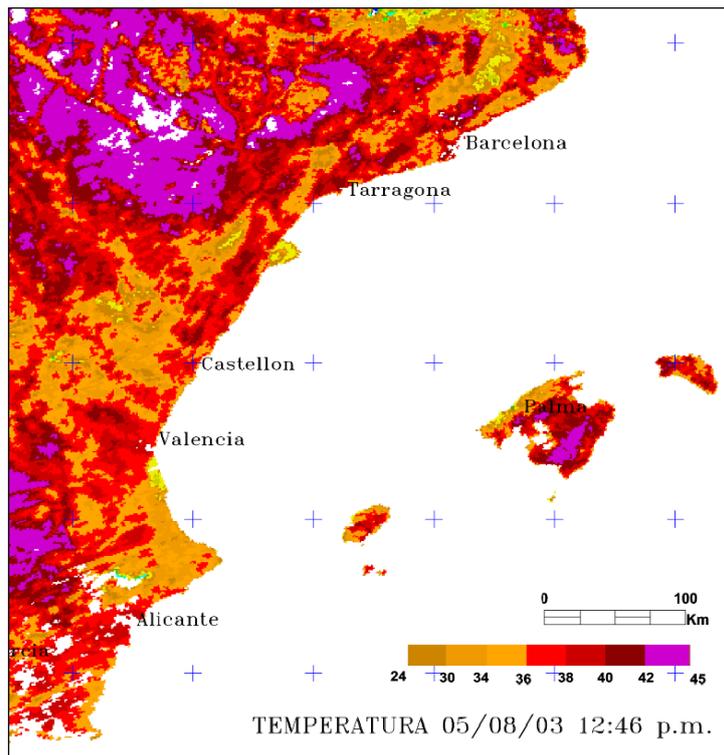


Fig. 7: Imagen NOAA, día 5-8-2003. Laboratorio de Climatología, Universitat Jaume I.

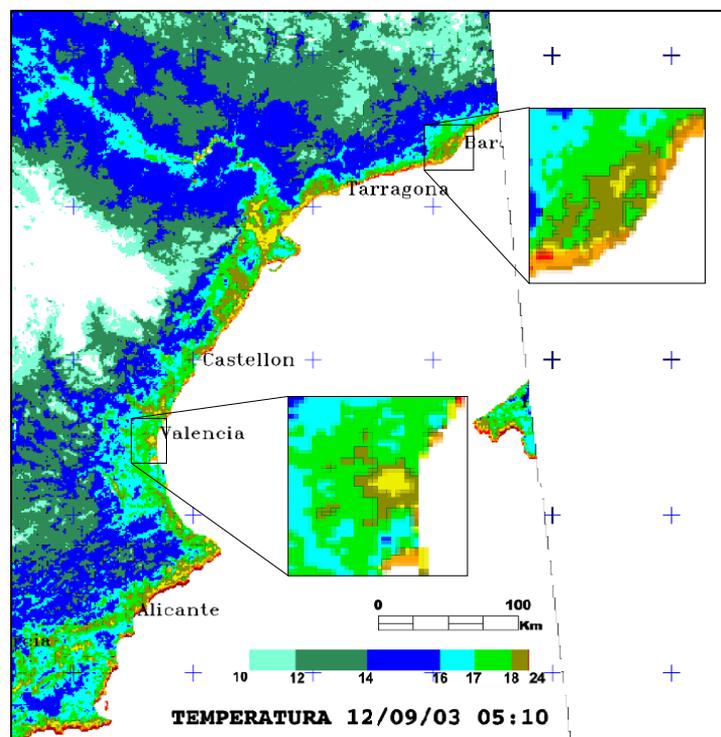


Fig. 8: Imagen NOAA, día 12-9-2003, Laboratorio de Climatología, Universitat Jaume I.

Todos estos procesos pueden ser igualmente observados sobre imágenes correspondientes al mes de septiembre de 2003. La imagen, correspondiente al día 12 de septiembre (Fig. 8), permite observar en el campo térmico de las temperaturas mínimas, poco antes de la salida del sol, la delgada conurbación litoral de calor sobre las áreas urbanas y de actividad litoral.

5. CONCLUSIONES

El presente trabajo muestra los resultados de un plan experimental de investigación, especialmente diseñado para analizar los procesos térmicos inherentes al efecto de urbanización. Este análisis se ha realizado a través de dos técnicas complementarias. La primera, y básica, ha consistido en el registro de las temperaturas durante el período 2001-2013, en una red de cinco estaciones meteorológicas ubicadas en el área urbana, suburbana y marítima de la ciudad de Castellón. De esas cinco estaciones de observación, cuatro observatorios (Casino Antiguo, UJI, Port e Isleta) corresponden a la red de estaciones automáticas de meteorología de la Universidad Jaume y el quinto, al observatorio de primer orden de Castellón-Almazora (AEMET-A500). La segunda técnica ha sido el recurso a la teledetección mediante la imagería infrarroja AVHRR, sistema DARTCOM, recibida y tratada en el Laboratorio de Climatología de la Universidad Jaume I.

Los resultados obtenidos han tratado de responder a las dos cuestiones claves del proceso: ¿Cuál sería la magnitud? y ¿está afectando al valor del “trend” regional de las temperaturas? La magnitud promedio del UHI ha oscilado entre un valor de 0,6 °C y 1,2 °C. Ello podría afectar significativamente al valor del “trend” regional de las temperaturas, ya que el valor de la tendencia adquiere magnitudes más elevadas a medida que se analiza sobre núcleos de población mayores.

6. REFERENCIAS

- Acero, F. J., García, J. A., Gallego, M. C., Parey, S. y Dacunha-Castelle, D. (2014). “Trends in summer extreme temperatures over the Iberian Peninsula using nonurban station data”, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, JD020590, pp. 35-93.
- Alexandersson. H. (1986). “A homogeneity test applied to precipitation data”. *International Journal of Climatology*, 6, pp. 661-675.
- Alexandersson. H. y Moberg, A. (1997). “Homogenization of Swedish temperature data. Part I: Homogeneity test for linear trends”. *International Journal of Climatology*, 17, pp. 25-34.
- Arroyo Ilera, F. y Fernández García, F. (1991). *Aproximación al conocimiento del confort térmico urbano de Madrid*, Col. Estudios, Universidad Autónoma de Madrid, 109 pp.
- Brunet, M., Jones, P. D., Sigró, J., Saladié, O., Aguilar, E., Moberg, A., Della-Marta, P. M., Lister, D., Walther, A. y López, D. (2007). “Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850–2005”, *J. Geophys. Res.*, 112, D12117.
- Dominguez Bascón, P. (1999). *Clima, Medio Ambiente y Urbanismo en Córdoba*. Estudios Cordobeses. 340 pp.

Easterling, D. R. y Peterson, T. C. (1992). “Techniques for detecting and adjusting for artificial discontinuities in climatological time series: a review”. *5th International Meeting on Statistical Climatology*, June 22-26, 1992, Toronto, pp. J28-J32.

Easterling, D. R., Horton, B., Jones, P. D., Peterson, T. C., Karl, T. R., Parker, D.E., Salinger, M. J., Razuvayev, V., Plummer, N., Jamason, P. y Folland, C. K. (1997). “Maximum and minimum temperature trends for the globe”. *Science*, 277, pp. 364–367.

Efthymiadis, D. A. y 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, pp. 51-61.

Fernández-Montes, S., Rodrigo, F. S., Seubert, S. y Sousa P. M. (2013). “Spring and summer extreme temperatures in Iberia during last century in relation to circulation types”. *Atmospheric Research*, Volumen 127, pp. 154-177

Howard, L. (1818). *The climate of London, deduced from Meteorological observations, made at different places in the neighbourhood of the metropolis*, London, W. Phillips, 2 vols. 1818, 183 pp. Rev. ed. 1833, Harvery and Darton, London.

IPCC Working Group I Fifth Assessment Report, Climate Change 2013: *The Scientific Basis*. Available online at: <http://www.gcrio.org/online.html>

IPCC Working Group I Four Assessment Report (2007). *Climate Change 2007: The Scientific Basis*. Available online at: <http://www.gcrio.org/online.html>

Jones, P. D., Lister, D. H., Osborn, T. J., Harpham, C., Salmon, M. y Morice C. P. (2012). “Hemispheric and large-scale land-surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010”. *Journal of Geophysical, Research-Atmospheres*, 117, D05127, 46 pp.

Kenawy, A., López-Moreno, I. y Vicente-Serrano, S. M. (2012). “Trend and variability of temperature in northeastern Spain (1920–2006): linkage to atmospheric circulation”. *Atmospheric Research*. 106, pp. 159–180.

Kukla, G., Gavin, J. y Karl, T. R. (1985). “Impact of urban heating on recent temperature trends in eastern and central North America”, in: *Third Conference on Climatic Variations and Symposium on Contemporary Climate 1850-2100*, American Meteorological Society, Los Angeles, California, pp. 23-24.

Lamarque, Ph. y Jourdain, S. (1994). “Production of long and homogeneous climatological series for the study of the climatic evolution”, *The Meteorology* 8th series 7, pp. 61-69.

Lee, D. O. (1992). “Urban warming? An analysis of recent trends in London’s heat island”, *Weather* 47, pp. 50-56.

Lockwood, J. G. (1998). “Future trends in daytime and night-time temperatures”, *Weather*, 53, pp. 72-78.

Lopez Gomez, A., Lopez Gómez, J., Fernández García, F. y Arroyo Ilera, F. (1988). *El clima urbano de Madrid, La isla de calor*. Madrid, CSIC, 200 pp.

Mckitrick, R. R. y Michaels P. J. (2007). “Quantifying the influence of anthropogenic surface processes and inhomogeneities on gridded global climate data”. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 112.

McMillin, L. M. (1975). “Estimation of sea surface temperatures from two infrared window measurements with different absorption”. *Journal of Geophysical Research*, 80, pp. 5113-5117.

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

Miró J. J., Estrela M. J. y Millán, M. (2006). “Summer temperature trends in a Mediterranean area (Valencia region)”. *International Journal of Climatology* 26, pp. 1051–1073.

Mitchell, J. R., Dzerdzevskii, J. M., Flohn, H., Hoymeyr, W. L., Lamb, H.H., Rao, K. N. y Wallen, C. C. (1966). *Climatic change*, T. note N° 79, WMO, Ginebra, p. 78.

Moberg, A. y 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, pp. 35-54.

Montáñez, J. P., Rodríguez, A. y Jiménez, J. I. (2000). “A study of the urban heat island of Granada”, *Int. J. Climatol.*, 20, pp. 899–911.

Parker, D. E. (2011). “Recent land surface air temperature trends assessed using the 20th century Reanalysis”. *Journal of Geophysical Research - Atmospheres*, 116, D20125.

Puigcerver y 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., Montón, E. y Escrig, J. (2002). “Los procesos interactivos atmósfera-mar en la climatología mediterránea”, *El Agua y el Clima*, Asociación Española de Climatología, A, 3, Mallorca, pp. 53-62.

Quereda J., Montón, E. y Escrig, J. (2006). “La temperatura superficial del mar como señal de alerta en las grandes ciclogénesis mediterráneas”, *Colección Casa de Velázquez*, Universidad de Alicante Vol. 95, pp. 91-115.

Quereda Sala, J. (1990). “Intense cyclones in the Spanish Mediterranean”, *Weather*, Royal Meteorological Society 45, 7, pp. 278-280, Reino Unido.

Quereda Sala, J. (1985). “Ciclogénese et convection dans le Levant Espagnol”, *La Météorologie*, Société Météorologique de France, CNRS, VII, 6, pp. 5-10.

Quereda, J. y Montón, E. (2012). *Un “Troyano” en el cambio climático*. Editorial Académica Española, 65 pp.

- Quereda, J., Gil, A., Olcina, J., Rico, A., Montón, E. y Escrig, J. (2000). “Climatic warming in the Spanish Mediterranean. Natural Trend or Urban effect”, *Climatic Change*, 46, 4, Stanford University, Kluwer Academic, pp. 473-483.
- Quereda, J., Montón, E. y Escrig, J. (2004). “Resultados preliminares del Plan experimental de observaciones térmicas en la Comunidad Valenciana”, *Cuadernos de Geografía*, Universidad de Valencia, pp. 1-15.
- Quereda, J., Ruescas, A., Montón, E., Escrig, J., y Mollá, B. (2004). “Detection of the urban effect over temperature trend by means of NOAA-AVHRR Imagery”, *MeGeo, First Mediterranean Conference on Earth Observation*, Belgrade, pp. 32-39.
- Quereda, J., Ruescas, A., Montón, E., y Escrig, J. (2009). *Teledetección sobre la Cuenca del Mediterráneo Occidental*. Colección Medi Ambient, Universitat Jaume I. 235 p.
- Ren, G. Y., Zhou, Z. Y., Chu, J. X., Zhou, A. Y., Zhang, J., Guo, J y Liu X. F. (2008). “Urbanization effects on observed surface air temperature trends in north China”. *Journal of Climate*, 21, pp. 1333-1348.
- Sneyers, R. (1975). *Sur l'analyse statistique des séries d'observation*, N. Technique, 143, OMM. Genève, 192 pp.
- Sobrino, J. A. (2000). *Teledetección*. Ed. José A. Sobrino. Universitat de València, España.
- Sobrino, J.A. y Raissouni, N. (2000). “Towards remote sensing methods for land cover dynamic monitoring”. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 21, pp. 353-363.
- Trenberth, K. E., Jones, P. D., Ambenje, P. *et al.*, IPCC (2007). Fourth Assessment Report-Chapter 3-Observations: Surface and Atmospheric Climate Change, Intergovernmental Panel on Climate Change, available online at: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter3.pdf>
- Venema, V. K. C., Mestre, O., Aguilar, E. *et al.* (2012). “Benchmarking Homogeneization Algorithms for Montly Data”, *Climate of the Past*, 8, pp. 89-115.
- Vose, R. S., Applequist, M. J., Menne, C. N., Williams, J. R., y Thorne, P. (2012). “An intercomparison of temperature trends in the US Historical Climatology Network and recent atmospheric reanalyses”. *Geophysical Research Letters*, 39.
- Yan, Z., Li, Z., Li, Q. y Jones, P. (2010). “Effects of site change and urbanisation in the Beijing temperature series.1977-2006”. *International Journal of Climatology*, 30, pp. 1226-1234.