

## UN ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL EFECTO URBANO SOBRE LAS TEMPERATURAS

J. Quereda Sala, E. Montón Chiva y J. Escrig Barberá

Laboratorio de Clima  
Universitat Jaume I

### RESUMEN

El presente trabajo ofrece los resultados preliminares de un plan experimental de investigación cuyo objetivo es analizar los procesos térmicos inherentes al efecto de urbanización. Un efecto que, aunque innegable, es controvertido en su importancia. Los resultados obtenidos han mostrado tanto la naturaleza del fenómeno como su importante magnitud. Consecuentemente, soslayando este proceso se puede estar cometiendo un grave sesgo en los análisis de la evolución térmica, principal eje de la hipótesis de cambio climático.

*Palabras clave:* temperaturas, efecto urbano, isla de calor, homogeneidad, cambio climático.

### ABSTRACT

This paper shows the preliminary results of an experimental work whose objective is to analyze the thermal processes inherent to the urbanization effect. Although undeniable, this effect is controverted in their importance. The obtained results have shown the nature of the phenomenon and their important magnitude. Consequently, if we ignore this process, we can be making a serious bias in the analyses of the evolution thermal, main axis in the hypothesis of climatic change.

*Key words:* temperature, urban effect, heat island, homogeneity, climatic change.

### 1. Introducción

Un notabilísimo esfuerzo de investigación concerniente a las variaciones climáticas y a la influencia del hombre sobre el clima está siendo desarrollado en las dos últimas décadas. Intensa actividad de estudio que está justificada sobre la base de las actuales hipótesis de nuestro porvenir climático. No obstante, y a pesar del formidable esfuerzo desplegado en

el control de la calidad de los datos, numerosas incertidumbres persisten en este dominio en plena efervescencia y en el que oscilaciones de medio grado, tal vez más, deben ser examinadas con circunspección ya que un simple cambio de abrigo o cambio de localización en los observatorios pueden ser su causa.

De este modo, el análisis de la evolución de la temperatura a través de las series históricas disponibles de los principales observatorios mundiales no es fácil de llevar a cabo, ya que ciertos procesos no climáticos deben ser tenidos en cuenta. Sin duda alguna, el más sutil e importante de estos procesos es el efecto térmico urbano. Este efecto, aunque innegable, es controvertido en su importancia. Las ciudades se han convertido en células o burbujas de condiciones climáticas muy distintas a las del entorno atmosférico o rural en que están enclavadas. Este proceso, denominado de la «isla de calor», puede constituir un auténtico talón de Aquiles en los análisis sobre la evolución de las temperaturas.

Todo ello obliga a ser conscientes de las enormes dificultades inherentes a la verificación de la hipótesis de calentamiento climático a causa de la gran heterogeneidad de las series térmicas temporales. En efecto, a pesar del riguroso empleo de las técnicas estadísticas más sofisticadas en el análisis, la inseguridad en la detección de tendencias significativas viene permaneciendo en todas las conclusiones alcanzadas sobre la magnitud de calentamiento observada (Easterling and Peterson, 1992). Proceso capital de esta inseguridad es el efecto de la urbanización (Quereda et al., 2004).

## 2. Los procesos térmicos en las series históricas de la región mediterránea española

La evolución de la temperatura en la región mediterránea española pone en evidencia una tendencia significativa de calentamiento climático. El valor secular de esta tendencia sería notable, 2,5 °C, equivalente 1,25 °C para el período 1950-2004. Este valor adquiere incluso magnitudes de calentamiento «dramáticas» ya que tan sólo comienza a detectarse a partir de 1980, tras una década anterior relativamente fresca (Fig. 1).

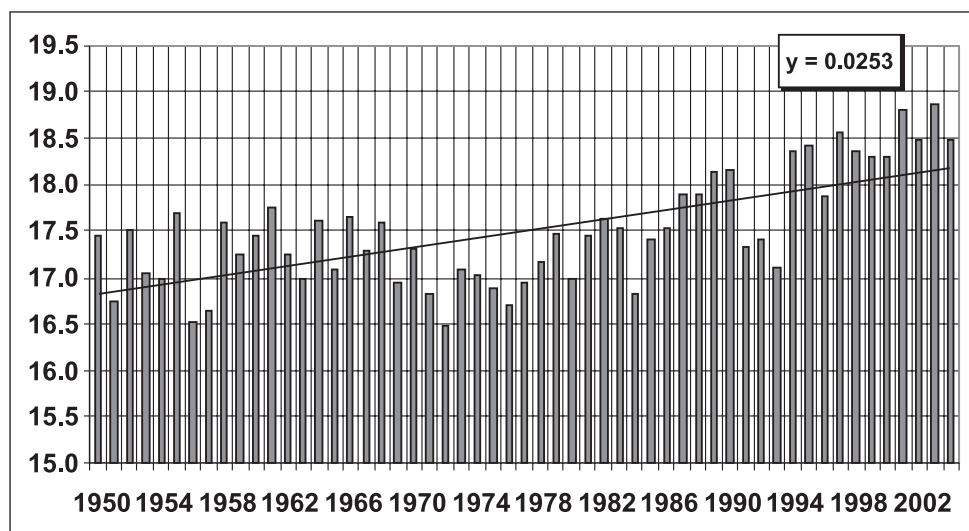


FIGURA 1. Evolución de la temperatura media anual valenciana, homogeneizada, como promedio de los observatorios de Alicante, Valencia y Castellón (INM).

Sin embargo, tanto ese carácter «brusco» de la elevación a partir de 1980, como la diferente magnitud del calentamiento registrado entre observatorios muy próximos,  $+0,03$  °C año en Valencia y tan solo  $+0,003$  °C en Alicante, y el diferente comportamiento de las temperaturas máximas y las mínimas, han venido suscitando dudas sobre la naturaleza del cambio, antropogénico o natural, así como sobre su misma existencia (Quereda *et al.*, 2000) (Fig. 2).

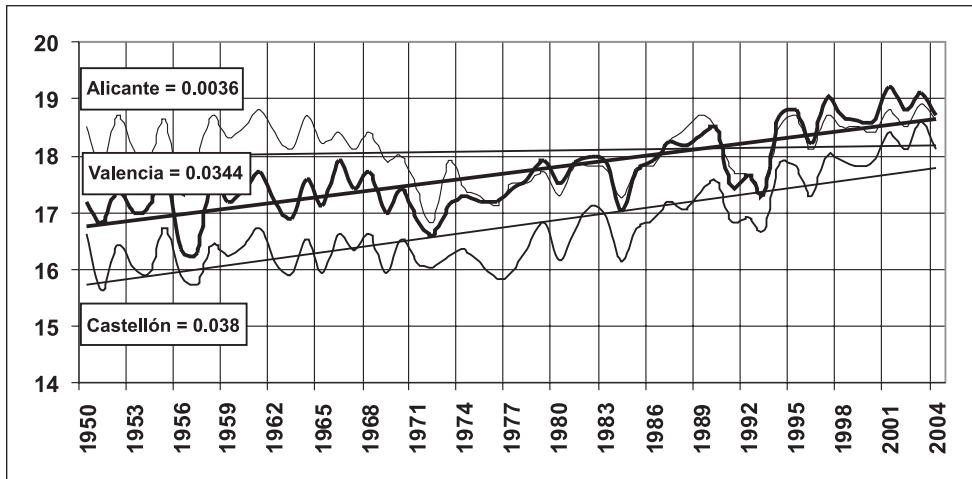


FIGURA 2. Evolución de las temperaturas medias anuales de los observatorios de Alicante, Valencia y Castellón.

A este respecto, tras el complejo y laborioso proceso de homogeneización y corrección de heterogeneidades (Alexandersson and Moberg, 1997; Easterling and Peterson, 1992), podemos estimar que una parte de esa elevación de la temperatura,  $1,25$  °C sobre el período 1950-2004, podría resultar del efecto urbanización. Un efecto que se manifiesta progresiva y acumulativamente ya que los observatorios han sido absorbidos paulatinamente por la expansión de las ciudades. El resultado de este proceso puede venir reflejado en el hecho de que la mayor parte de la elevación térmica se haya venido produciendo en las temperaturas mínimas, con un valor de  $1$  °C a lo largo del periodo 1950-2000 (Fig. 3). La evolución de las temperaturas máximas, con  $0,25$  °C, igualmente durante la segunda mitad del siglo XX, apenas habría aportado una quinta parte del calentamiento.

Consecuentemente, el proceso de generación de calor urbano permanece como una de las principales incertidumbres de la hipótesis de cambio climático. No es para menos por cuanto que esta hipótesis científica se ha fundamentado en los registros de los observatorios históricos. Unos observatorios que, caso de los mediterráneos, establecidos a fines del XIX en la periferia de las ciudades, han venido siendo englobados progresivamente por el crecimiento de las mismas, con efectos que es preciso detectar ya que pueden estar enmascarando las auténticas tendencias climáticas. Soslayando este efecto se puede estar introduciendo un gran sesgo y error en la verificación de la magnitud y naturaleza del calentamiento climático. La gran diferencia en el valor de «trend» entre observatorios enclavados en grandes ciudades y núcleos menores así lo significa (Fig. 4).

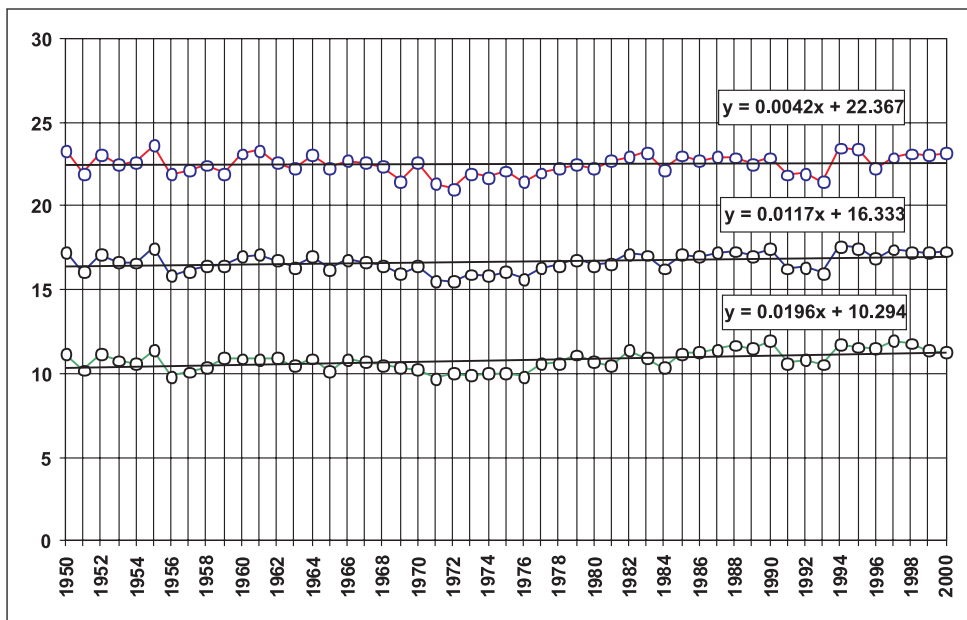


FIGURA 3. Evolución y tendencia de las temperaturas medias anuales, máximas y mínimas en 33 observatorios de la Región de Murcia y de la Provincia de Alicante. Fuente: INM.

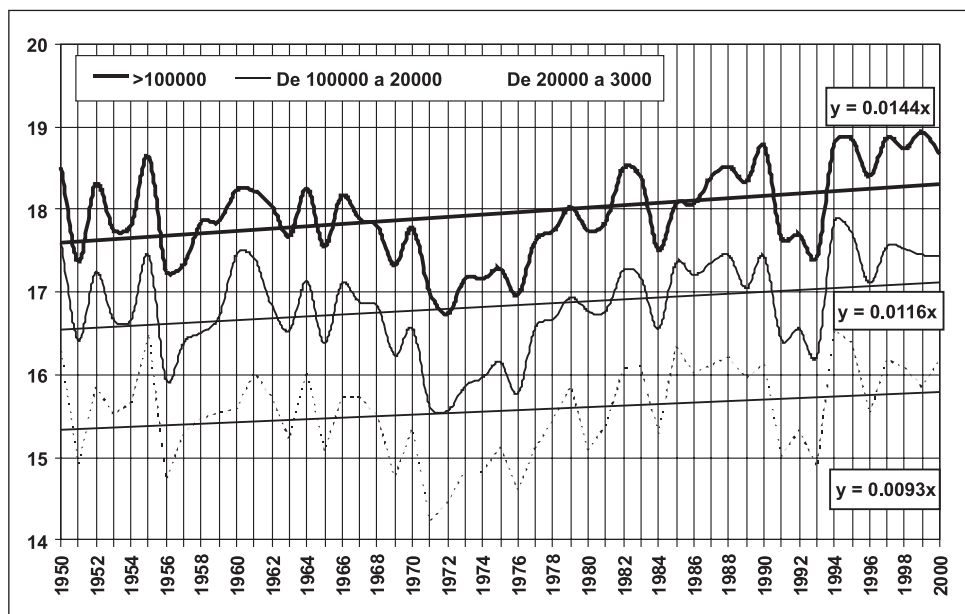


FIGURA 4. Evolución y tendencia de la temperatura media anual en los observatorios urbanos de Murcia, Elche y Alicante, así como en los restantes observatorios «más rurales», (de 80.000 a 20.000 y menores de 20.000 habitantes) Fuente: INM, y elaboración propia.

### 3. Un análisis «experimental» del efecto térmico urbano

Todos estos análisis permiten concluir que la verdadera «elevación natural» de la temperatura, corregida del efecto urbanización, podría ser mucho más reducida de lo que los actuales estudios y modelos preconizan. Asimismo, ellos vienen a justificar una investigación rigurosa 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.*, 2004).

#### 3.1. El dispositivo observacional

Todas estas interrogantes han determinado que hayamos abordado el análisis específico del efecto térmico urbano a través de la instalación de tres estaciones automáticas de meteorología (Davis-Casella) debidamente calibradas. Estas tres estaciones se han ubicado en el área de la ciudad de Castellón, una ciudad con un notable incremento demográfico (Fig. 5) en los últimos años (en 1970 tenía 93.000 habitantes y en 2005 tiene 200.000 habitantes). La selección de emplazamientos ha estado dirigida, tal como muestra la figura 6, a registrar la temperatura en el mismo centro urbano (estación del Casino Antiguo, 51 m), así como a registrar la temperatura sobre las aguas mediterráneas (estación marina sobre la Plataforma de BPOil, 12 m.) y en el extremo oeste de la ciudad (estación de la Universidad Jaime I, 80 m). Las tres estaciones se ubican sobre una diagonal, E-W, de tan solo 10 Km. sobre el llano litoral.

#### 3.2. Los resultados del análisis

Los registros meteorológicos aquí analizados han cubierto un primer trienio de las experiencias, el comprendido desde agosto de 2003 al mes de septiembre de 2006. Un período en el que el funcionamiento de las tres estaciones automáticas de meteorología ha sido perfecto y constantemente controlado a través de una doble estación paralela ubicada junto a las tres de la red experimental. De este modo, el análisis, dentro de la brevedad del período observacional, ha sido extremadamente riguroso en todos los registros y puede ser considerado como una experiencia de alto valor en lo concerniente al proceso estudiado.

##### 3.2.1. La temperatura media anual

La temperatura media anual (Fig. 7), muestra la gran diferencia entre los valores de la estación meteorológica urbana instalada en la terraza del Casino Antiguo de Castellón y los valores de las estaciones situadas fuera del casco urbano, universitaria y marina. La temperatura media anual del período 2004-2006, ha sido de 20 °C en el centro urbano y de tan sólo 17,5 °C sobre la superficie del mar y 18,1 °C en la periferia urbana (Estación universitaria). En este orden de los registros, la temperatura media anual sobre el mar parece más acorde con la temperatura media histórica, 1941-1974, del observatorio de Castellón (Instituto Ribalta, INM) que fue de 17,1 °C (Quereda, 1976). Estos mismos valores parecen mostrar que en la temperatura media de la UJI, 18,1 °C, ya se dejan sentir los efectos de la propia ciudad universitaria elevando actualmente en 1 °C la media histórica del observatorio del INM.

Asimismo resulta muy significativa la notable elevación de la temperatura registrada durante el trienio 2004-2006 en el observatorio del centro de la ciudad con respecto a los otros dos observatorios exteriores. El valor de la tendencia en el Casino Antiguo duplica



FIGURA 5. Centro urbano de Castellón en 1950 y en 2008, con el edificio del casino antiguo a la izquierda.





FIGURA 6. Red de estaciones utilizadas en el presente estudio: Casino Antiguo, estación marina sobre la Plataforma de BPOil (Isleta) y estación de la Universidad Jaume I (UJI), en el extremo oeste de la ciudad.

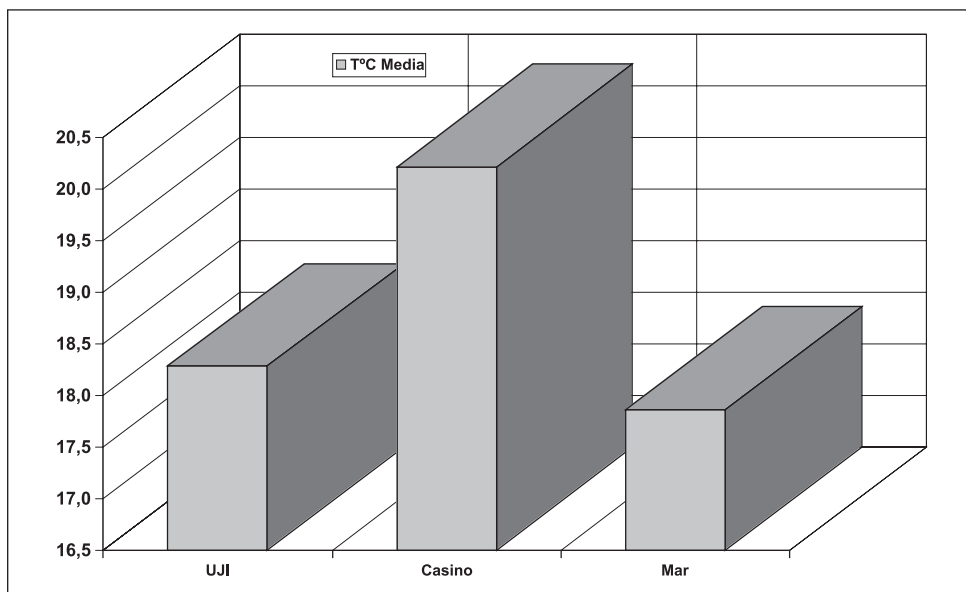


FIGURA 7. Temperatura media anual en los observatorios urbano y periféricos.

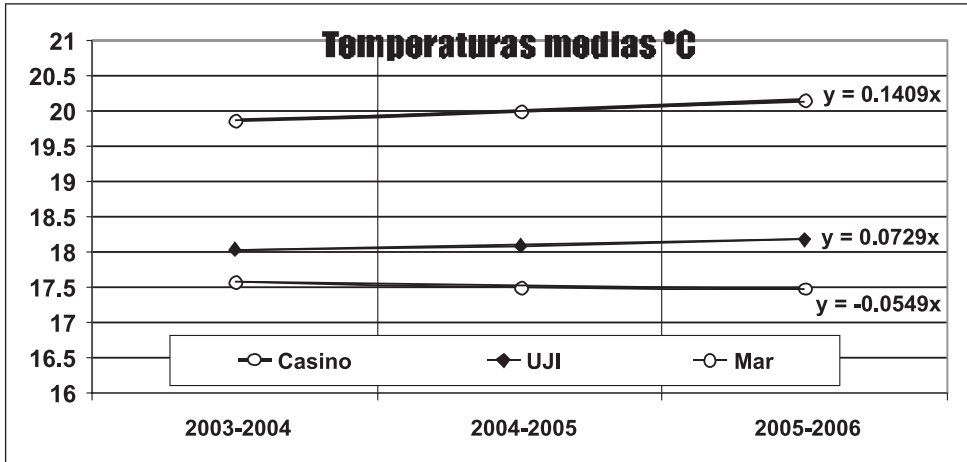


FIGURA 8. Evolución de la temperatura media anual.

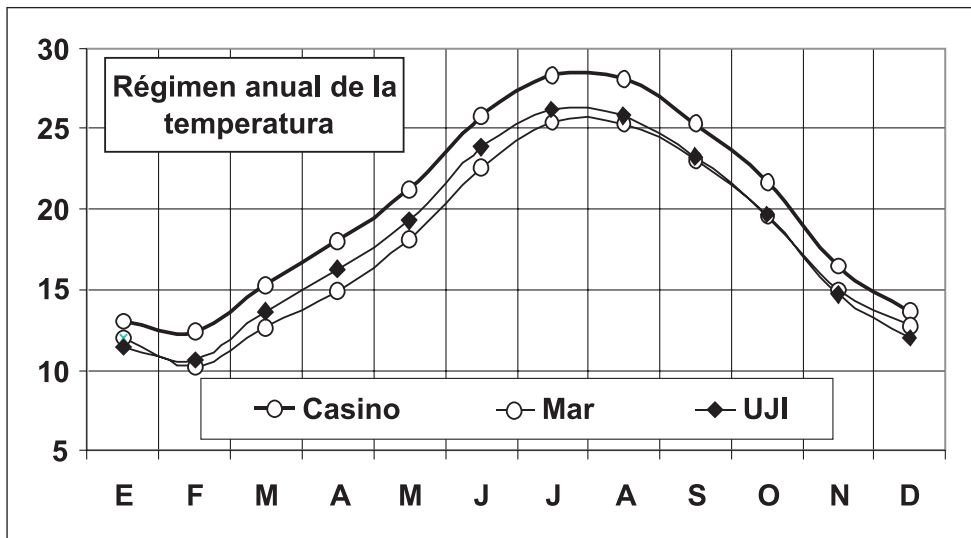


FIGURA 9. Régimen anual de la temperatura.

el de la estación universitaria. Al mismo tiempo, la estación marina muestra una tendencia contraria (Fig. 8).

Estas diferencias entre los valores urbanos y los situados en la periferia se manifiestan constantemente a lo largo de la evolución anual (Fig. 9). Este régimen anual ha mostrado un mínimo sobre el mes de febrero, frente al normal de enero, siendo por lo tanto paralelo al de la temperatura superficial del mar. Las temperaturas marinas acusan a partir del otoño la intensa acumulación de energía en las aguas reduciendo la diferencia con las continentales. En este sentido resulta significativo que la máxima diferencia térmica entre Casino



y UJI se registre en los meses de julio y agosto, cuando cesa la actividad académica en el campus universitario.

### 3.2.2. Las temperaturas máximas y mínimas

Las temperaturas medias máximas mensuales han mostrado igualmente la gran diferencia entre las temperaturas urbanas y las exteriores a la ciudad. El régimen anual mantiene estas diferencias a lo largo de todo el año. La pequeña ampliación de unas décimas entre el Casino y la UJI, en los meses de julio y agosto, puede atribuirse, como hemos dicho, al cese de la actividad académica en el campus universitario. Asimismo la mayor amplitud primaveral y estival entre la estación urbana y la estación marina está forzada por el campo térmico marino. El efecto suavizador del mar queda reflejado en esas diferencias máximas registradas durante los meses de verano, próximas a 5 °C con respecto a las temperaturas máximas urbanas (Fig. 10).

La diferencia en las temperaturas máximas medias anuales es notable. Así el centro urbano ha registrado una media de 24,2 °C, mientras que la estación de la UJI en el campus universitario ha registrado 22,4 °C. Las temperaturas marinas registran un valor de 20,4 °C, reflejando el régimen térmico en las aguas superficiales del mar (Fig. 11).

En cambio, el régimen anual de las temperaturas mínimas muestra una diferencia más exagerada entre los valores urbanos (16,5 °C) y los situados al oeste de la ciudad en el campus universitario (13,7 °C). Una evolución anual que refleja el notable efecto térmico que el microclima urbano está ejerciendo en el observatorio central de la ciudad. Las diferencias próximas a los 3 °C se mantienen durante todo el año entre el Casino y la UJI. Alguna décima de más, al igual que en el régimen de máximas, configura la diferencia en los meses de julio y agosto en que cesa la actividad académica. Las temperaturas marinas, acordes con el efecto termostático del mar mediterráneo con mínima invernal en las aguas de 12 °C, muestran en las temperaturas mínimas unos valores más elevados que las universitarias (14,8 °C) pero igualmente una diferencia de casi dos grados con respecto a las urbanas (Fig. 12).

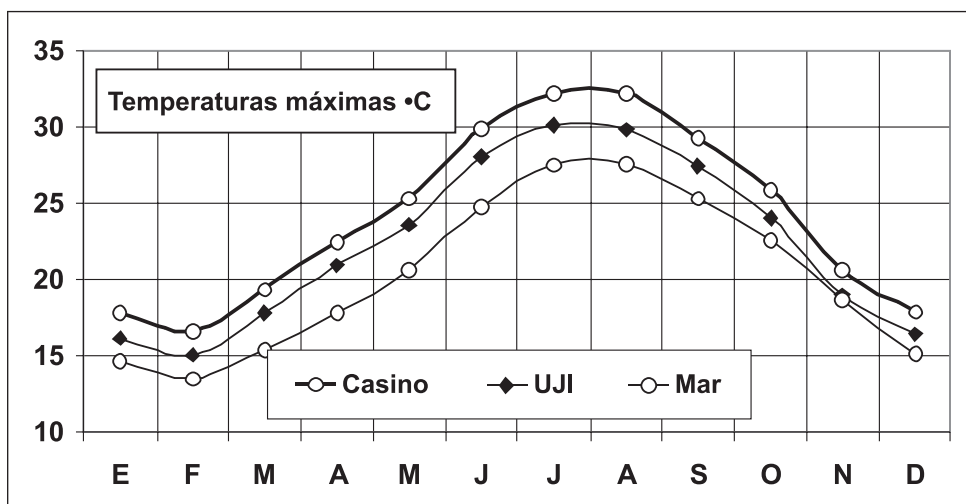


FIGURA 10. Régimen anual de las temperaturas máximas.

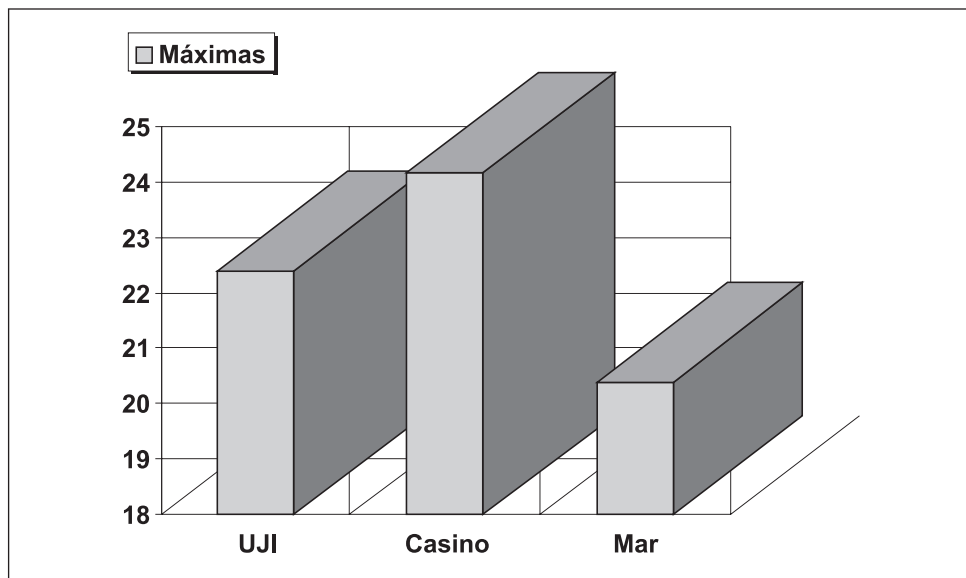


FIGURA 11. Diferencias de valor en las temperaturas máximas medias anuales entre el centro de la ciudad y la periferia.

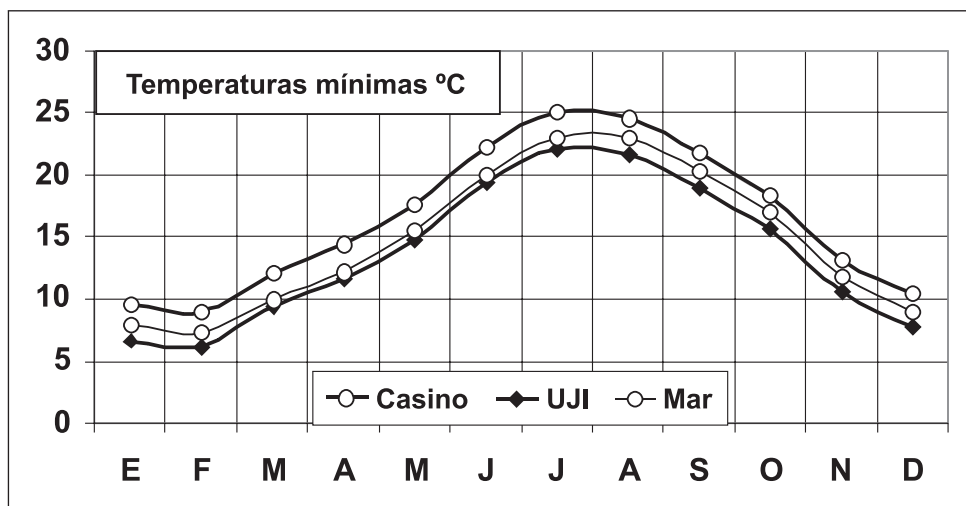


FIGURA 12. Régimen anual de las temperaturas mínimas.

La temperatura media mínima anual refleja más sintéticamente ese notable valor que la ciudad ejerce sobre en la temperatura. La figura 12 es expresiva de la burbuja de calor que la urbanización genera. La estación central de la ciudad con 16,5 °C registra una diferencia próxima a tres grados con respecto a la UJI, 13,7 °C. Una diferencia que es igualmente

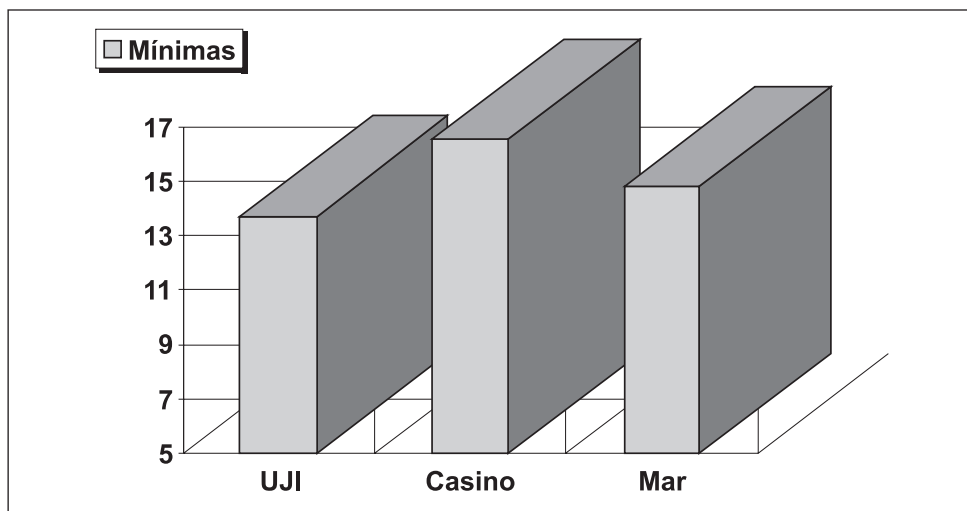


FIGURA 13. Diferencias térmicas en las temperaturas mínimas entre el centro de la ciudad y la periferia.

acusada con respecto a los 14,8 °C de la mínima anual media de la temperatura sobre el mar (Fig. 13).

Un efecto que actualmente muestra la imaginería infrarroja del NOAA (Querreda *et al.*, 2004). Este es el caso ilustrado en la figura 14 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, fenómeno también visible sobre la bahía de Palma de Mallorca.

#### 4. Conclusiones

Los registros obtenidos en la red meteorológica experimental, si bien tan sólo han cubierto un primer trienio de experiencias (2004-2006), permiten extraer conclusiones de gran interés sobre los efectos que el crecimiento urbano provoca sobre las temperaturas. El análisis realizado ha permitido evaluar la magnitud de este efecto de calor en Castellón, una urbe de 200.000 habitantes. Esta generación de calor urbano se ha manifestado tanto en las temperaturas máximas como en las temperaturas mínimas (López *et al.*, 1993). No obstante, ha sido en estas últimas donde el efecto ha mostrado un valor mayor. Así, considerando las diferencias entre las temperaturas urbanas (Casino Antiguo) y las situadas en la periferia (Campus universitario), los valores son notablemente elevados, 1,8 °C en las temperaturas máximas y 2,8 °C en las temperaturas mínimas. Unas diferencias que suponen un fuerte sesgo en la determinación de las temperatura medias.

Estos resultados se traducen en una gran interrogante. ¿Cuál sería verdaderamente la temperatura actual obtenida en las series históricas si eliminásemos el efecto urbano? El

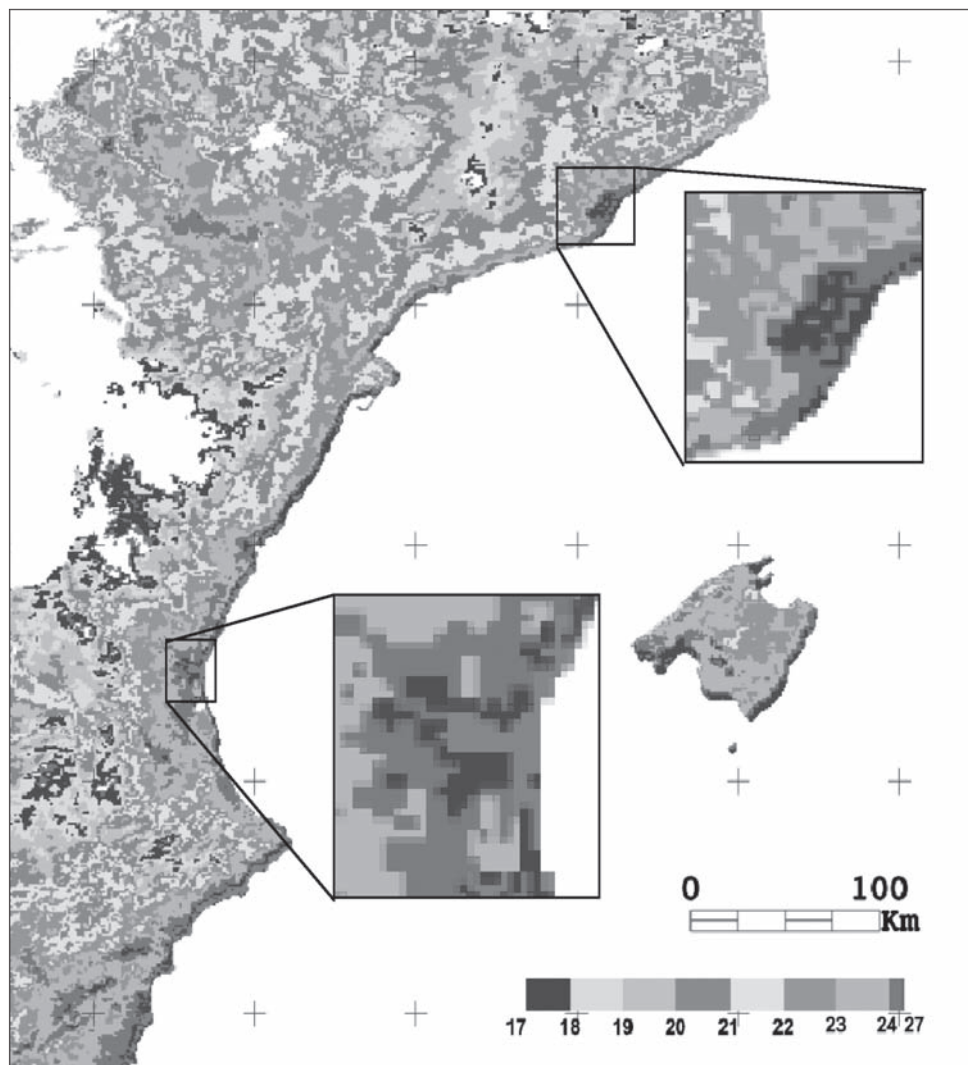


FIGURA 14. Imagen NOAA, (5-VIII-2003). Laboratorio de Climatología, Universitat Jaume I.

presente trabajo pone de manifiesto la naturaleza y relevancia de este proceso sobre la región mediterránea española. El efecto de calor es innegable y su misma magnitud muy elevada. Las notables diferencias de temperatura entre el centro de la ciudad y el exterior determinan la necesidad de profundizar en el análisis del proceso. Ello debe comenzar por el atento examen de la evolución térmica registrada en aquellos observatorios alejados de la actividad humana, tal como dispone la actual normativa sobre la contaminación atmosférica en ecosistemas especiales.

## Referencias bibliográficas

- ALEXANDERSSON, H., (1986): «A homogeneity test applied to precipitation data». *International Journal of Climatology*, 6, pp. 661-675.
- ALEXANDERSSON, H., and MOBERG, A. (1997): «Homogenization of swedish temperature data. Part I: Homogeneity test for linear trends». *International Journal of Climatology*, 17, pp. 25-34.
- BODEN T. A., KAISER D. P., SEPANSKI R. J., STOSS F. W. (eds.). (1994): «*Trends '93: A compendium of data on global change*» ORNL/CDIAC-65. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A., 984 pp.
- EASTERLING, D. R. and 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.
- JONES P.D., WIGLEY T.M.L., BRIFFA K.R. (1994): «Global and hemispheric temperature anomalies-land and marine instrumental records». pp. 603-608; in BODEN T. A., KAISER D. P., SEPANSKI R. J., STOSS F. W. (eds.),.: «*Trends '93: A compendium of data on global change*» ORNL/CDIAC-65. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A. 984 pp.
- LAMARQUE Ph., JOURDAIN S. (1994): «Élaboration de longues séries climatologiques homogènes pour l'étude de l'évolution climatique». *La Météorologie*, 8<sup>e</sup> série, 7, pp. 61-69.
- LEE, D. O., 1992: «Urban warming?-An analysis of recent trends in London's heat island». *Weather*, 47, 2, pp. 50-56.
- LÓPEZ GÓMEZ, A. (coord.) (1993): El clima de las ciudades españolas, *Cátedra*, 268 pp.
- QUEREDA SALA, J. (1976): El clima de la Provincia de Castellón, Excma. Dip. Provincial, Burgos, 134 pp.
- QUEREDA SALA, J., GIL OLCINA, A., OLCINA CANTOS, J., RICO AMORÓS, A. MONTÓN CHIVA, E. and ESCRIG BARBERÁ, J. (2000): «Climatic warming in the Spanish Mediterranean. Natural Trend or Urban effect», *Climatic Change*, 46,4, 4. Univ. de Standford, Kluwer Academic, pp. 473-483.
- QUEREDA SALA, J., RUESCAS ORIENT, A.B., MONTON CHIVA, E., ESCRIG BARBERÁ, J. y MOLLÁ CANTAVELLA, B. (2004): «Detection of the urban effect over temperature trend by means of NOAA-AVHRR Imagery», *MeCeo, First Mediterranean Conference on Earth Observation*, Belgrado, pp. 32-39.
- QUEREDA SALA, J., MONTON CHIVA, E. y ESCRIG BARBERÁ, J. (2004): «Resultados preliminares del Plan experimental de observaciones térmicas en la Comunidad Valenciana», *Cuadernos de Geografía*, Univ. de Valencia, pp.1-15.