

# UN ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL EFECTO URBANO SOBRE LAS TEMPERATURAS

José QUEREDA SALA, Enrique MONTÓN CHIVA, José ESCRIG BARBERÁ

*Laboratorio de Clima, Universitat Jaume I*

quereda@his.uji.es, montone@his.uji.es, escrigj@his.uji.es

## 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 preliminares de este plan, referido a los primeros siete años del siglo XXI, (2001-2007) han mostrado tanto la naturaleza del fenómeno como su importante magnitud. En consecuencia, 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

The present study shows the preliminary results of an experimental plan whose objective is to compare the thermal evolution of urban observatories with it registered in observatories located in areas little affected by the human activity. The preliminary results of this plan, referred at the first seven years of the 21th century, from 2001 to 2007, have permitted to show the existence of an evident thermal effect of urbanization that may be disguising the series of temperatures in the historic observatories. In addition, the analyses justify further research into a process that could be seriously biasing the study of thermal evolution, the cornerstone of the climate change hypothesis.

**Key words:** Temperatures, 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 térmicas de medio grado, tal vez más, deben ser examinadas con circunspección ya que un simple cambio de abrigo, cambio de localización o de entorno en los observatorios pueden ser su causa.

Por estas causas, 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 las conclusiones alcanzadas sobre la magnitud de calentamiento observada. Proceso capital de esta inseguridad es el efecto de la urbanización (MITCHELL *et al.*, 1966; SNEYERS, 1975; KUKLA *et al.*, 1985; LEE, 1992; LAMARQUE and JOURDAIN, 1994; EASTERLING *et al.*, 1997; MOBERG and ALEXANDERSON, 1997; LOCKWOOD, 1998; 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, 1,7 °C, equivalente a 1 °C para el período 1950-2007. 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).

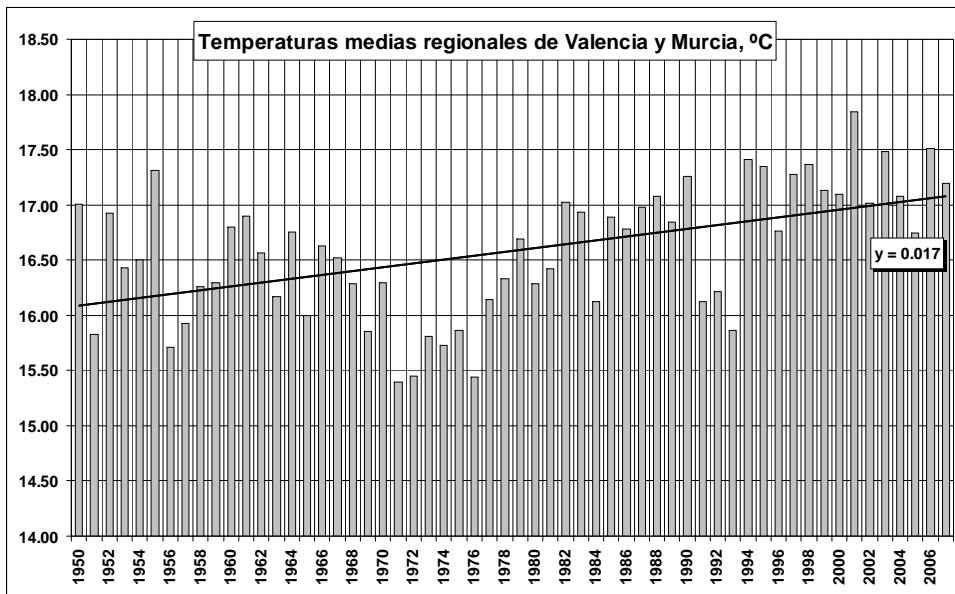


Fig. 1: Evolución de la temperatura media anual en las regiones de Murcia y Valencia, (INM).

Sin embargo, tanto ese carácter “brusco” de la elevación a partir de 1980, como la diferente magnitud del calentamiento registrado entre observatorios muy próximos, + 0,030 °C en Castellón, + 0,020 °C año en Valencia, + 0,017 °C en Murcia y tan solo + 0,016 °C en Alicante, así como el diferente comportamiento de las temperaturas máximas y 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).

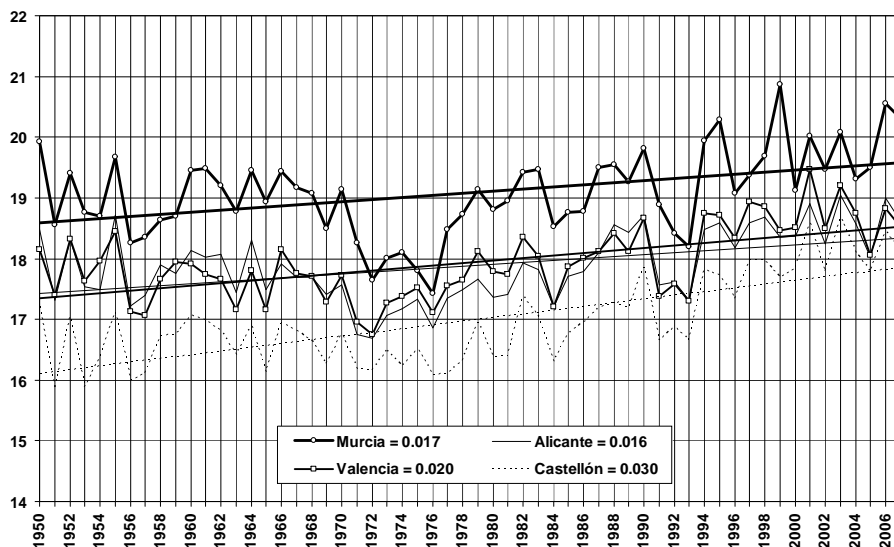


Fig. 2: Evolución de las temperaturas medias anuales de los observatorios de primer orden de Murcia, Alicante, Valencia y Castellón.

Estas son las incertidumbres que plantea el análisis de la evolución térmica en las regiones mediterráneas de Valencia y de Murcia. La red regional de observatorios con series completas del período 1950-2007 está integrada por 22 estaciones (Fig. 3). Todas las series térmicas de esta red han sido sometidas al proceso de homogeneización y corrección de heterogeneidades mediante el Standard Normal Homogeneity Test (SNHT), (ALEXANDERSSON, 1986; EASTERLING and PETERSON, 1992; ALEXANDERSSON and MOBERG, 1997).

Los resultados obtenidos permiten afirmar que una parte de esa elevación de la temperatura, 1 °C entre 1950 y 2007, podría resultar del efecto de urbanización. Un efecto que se ha venido manifestando 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. El valor de incremento de estas temperaturas mínimas ha sido de 1,45 °C a lo largo del periodo 1950-2007. La evolución de las temperaturas máximas, con una elevación de 0,6 °C, apenas representa un tercio del calentamiento registrado (Fig. 4).

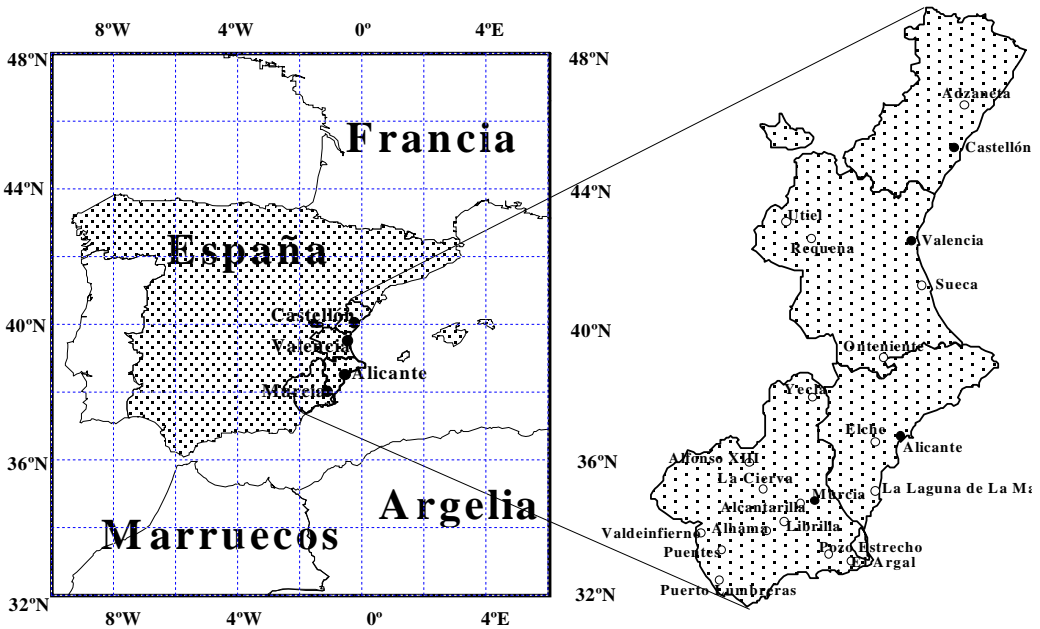


Fig. 3: Mapa de la red regional de observatorios con series completas del período 1950-2007.

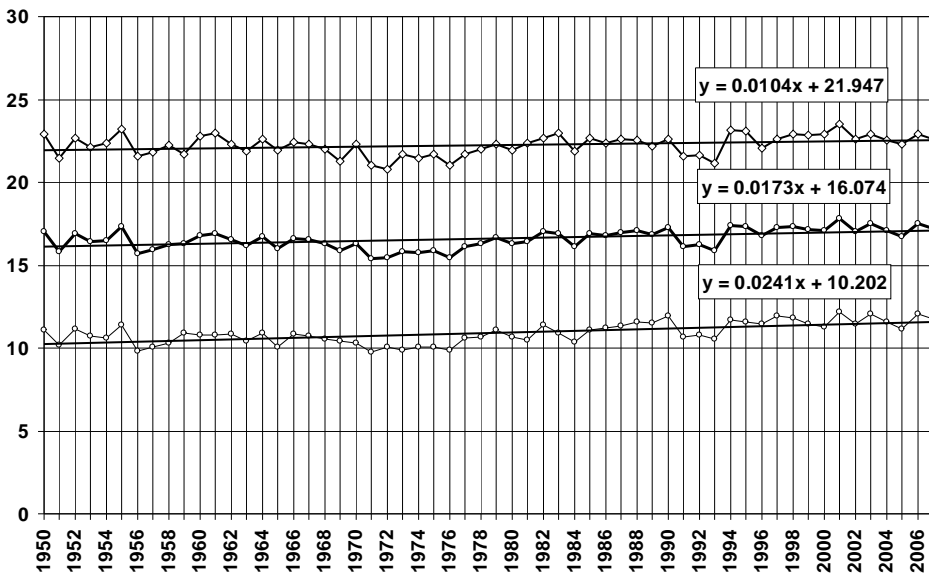


Fig. 4: Evolución y tendencia de las temperaturas medias anuales, máximas y mínimas en la red de 22 observatorios de las regiones de Valencia y de Murcia (1950-2007). Fuente: INM.

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.5).

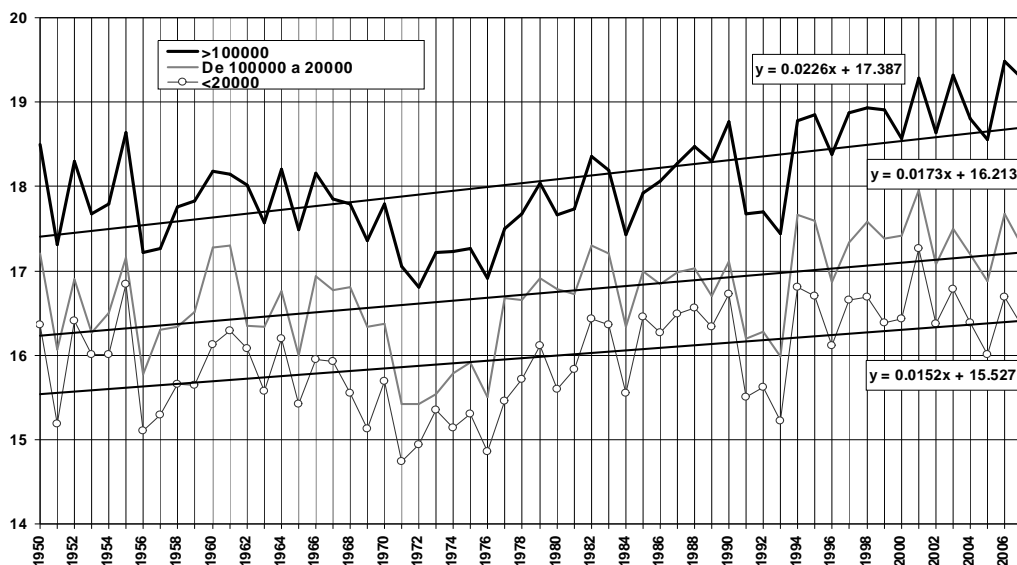


Fig 5: Evolución y tendencia de la temperatura media anual en los observatorios urbanos de Murcia, Elche, Alicante, Valencia y Castellón, así como en los restantes observatorios “más rurales” de las regiones de Valencia y de Murcia (1950-2007). Fuente: INM, y elaboración propia.

### 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, acaso no significativa, 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.*, 2000, QUEREDA, MONTON y ESCRIG, 2004). El reciente PNACC (Plan Nacional para el Cambio Climático, MIMAM, 2007) bien que considerando irrefutable el proceso de Cambio Climático se ve obligado a asumir grandes dudas a la hora de *enfocar las políticas y medidas ante la falta de un horizonte temporal adecuado basado en procesos*

*iterativos y continuos*”. Como el mismo plan 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*”.

### 3.1. El dispositivo observacional

Todas estas interrogantes han determinado que hayamos abordado el análisis específico del efecto térmico urbano a través de la evolución de la temperatura en los albores del siglo XXI (2001-2007). Esta evolución corresponde a los registros de cuatro observatorios emplazados en el área de la ciudad de Castellón. Una ciudad con un notable incremento demográfico en los últimos años ya que en 1970 tenía 93.000 habitantes y en 2005 tiene 200.000 habitantes. Tres de estos observatorios corresponden a la red de estaciones automáticas de meteorología de la Universitat Jaume y el cuarto al observatorio de primer orden de Castellón-Almazora (INM). La selección de observatorios ha estado dirigida, tal como muestra la figura 6, a registrar la temperatura en el mismo centro urbano (Casino Antiguo), en la periferia de la ciudad (INM y UJI) así como en una estación alejada de la influencia urbana, (estación marina sobre la Plataforma de BPOil) (Fig. 7).

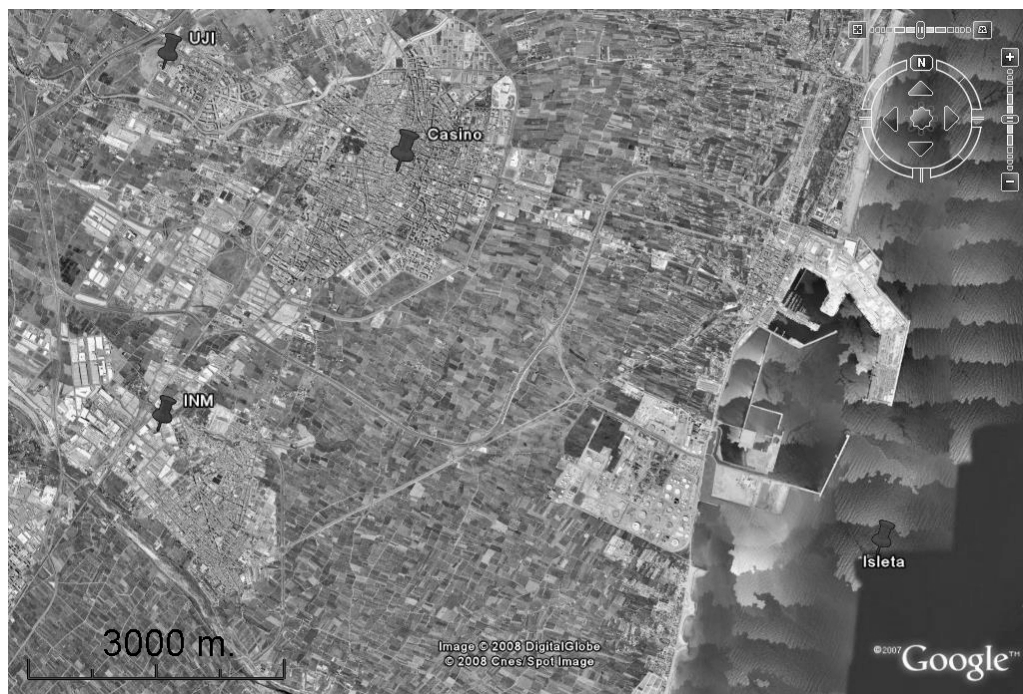


Fig. 6: Red de estaciones utilizadas en el presente estudio: estación universitaria marina sobre la Plataforma de BPOil (Isleta), estaciones “on shore” de la Universidad Jaume I (UJI y Casino) y observatorio de Castellón-Almassora (INM).



Fig. 7: Estación marina, *BP Oil Platform* (Isleta), extremo izquierdo de la foto, coordenadas 39°56'42' N y 00°01'36' E.

### 3.2. Los resultados del análisis

Los registros meteorológicos aquí analizados han cubierto los primeros siete años del siglo XXI, período 2001-2007. Un período en el que el funcionamiento de las tres estaciones automáticas de meteorología de la red universitaria, con intervalos de registro diezminutales, ha sido perfecto y constantemente controlado. De este modo, el análisis, dentro de la brevedad del período, ha sido extremadamente riguroso en todos los registros y puede ser considerado como una experiencia de alto valor en lo concerniente al proceso estudiado.

La temperatura media anual (Fig. 8), muestra la gran diferencia entre el valor de la estación universitaria del Casino Antiguo ubicada en el mismo centro de la ciudad, 20,2 °C, y el de las otras dos estaciones meteorológicas ubicadas en la periferia urbana (INM y UJI) con 18,1 °C. El efecto urbano es todavía más patente en cuanto que la temperatura media registrada a 10 m sobre la superficie del mar ha sido de 17,7 °C (Isleta) y sobre una SST de 19,02 °C. Las estaciones del INM y de la UJI han mantenido una correlación de  $r > 0,98$ , en las temperaturas medias anuales de ahí su valor medio anual idéntico.

Asimismo resulta significativa la distinta evolución de las temperaturas entre los observatorios urbanos y el marino a lo largo de estos siete primeros años del siglo XXI. Las temperaturas medias anuales en los registros de los observatorios urbanos (Casino Antiguo, observatorio del INM y de la UJI) muestran una tendencia negativa que contrasta con la registrada en la estación marina. El valor de “*trend*” en la estación marina (aire y SST) es positivo mientras que en los observatorios continentales es negativo (Fig. 9).

Todavía más significativo se muestra el distinto comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas. Los observatorios afectados por la influencia urbana mantienen una tendencia de enfriamiento que es más marcada en las temperaturas máximas que en las mínimas (Fig. 10). Por el contrario, el observatorio marino ha mostrado una ligerísima tendencia de aumento

térmico que alcanza un valor de “trend” idéntico entre temperaturas máximas y mínimas. El valor de “trend” ha sido de 0,011 (Fig. 11). Esta experiencia podría explicar el proceso experimentado por las series históricas a medida que el efecto urbano se ha venido manifestando.

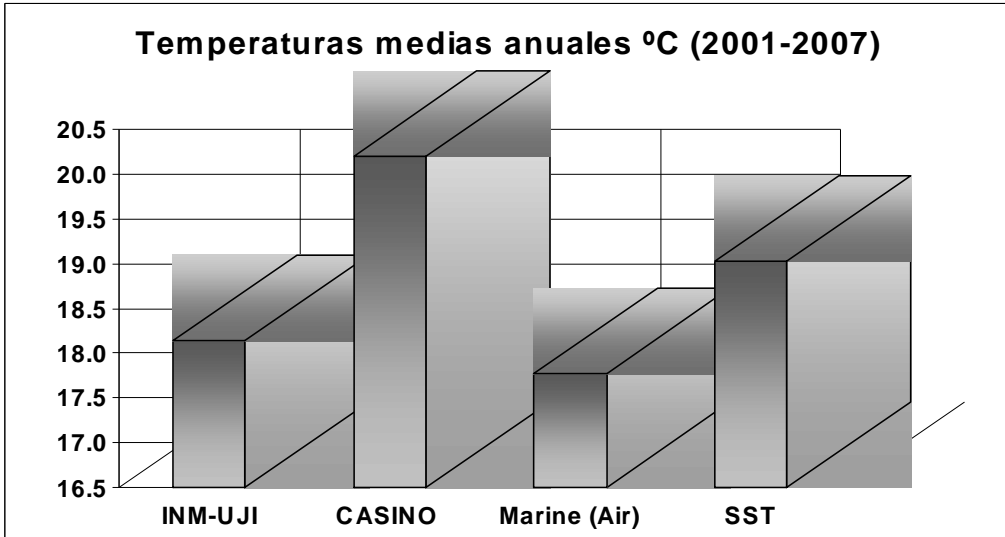


Fig. 8: Temperatura media anual en los distintos observatorios (2001-2007).

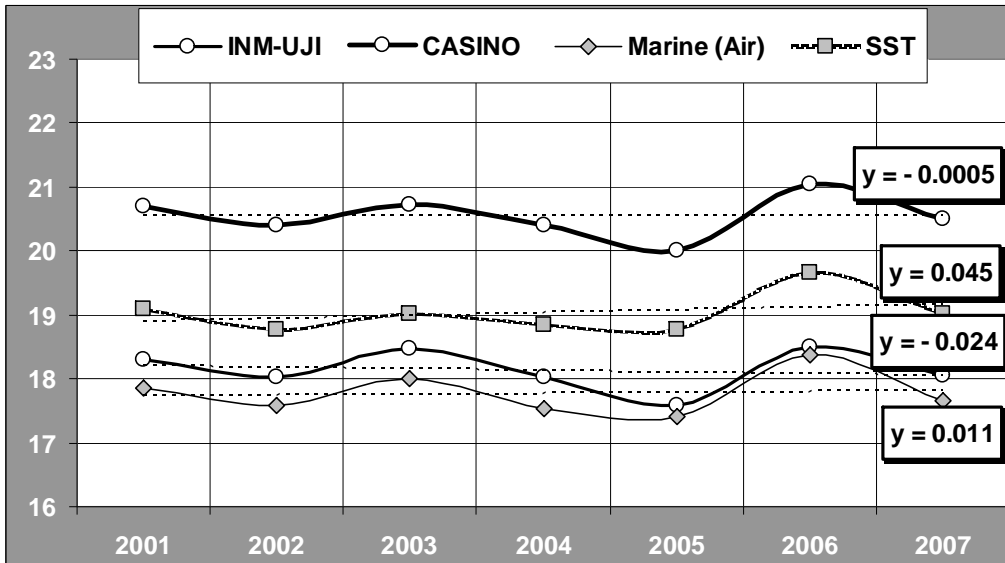


Fig. 9: Evolución de la temperatura media anual en °C.



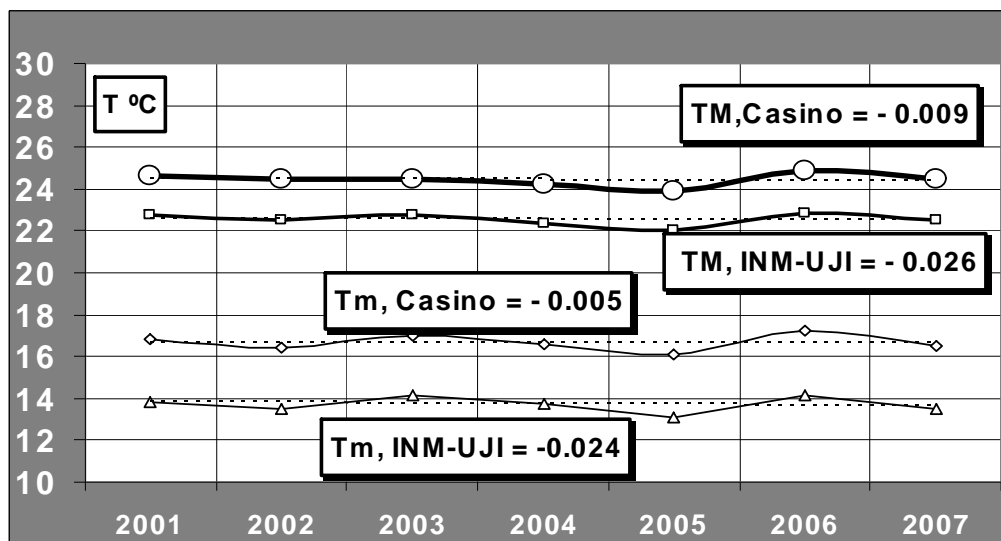


Fig. 10: *Trend* de las temperaturas medias máximas y mínimas anuales en la estación central de la ciudad (Casino Antiguo) y en los restantes observatorios “on-shore”.

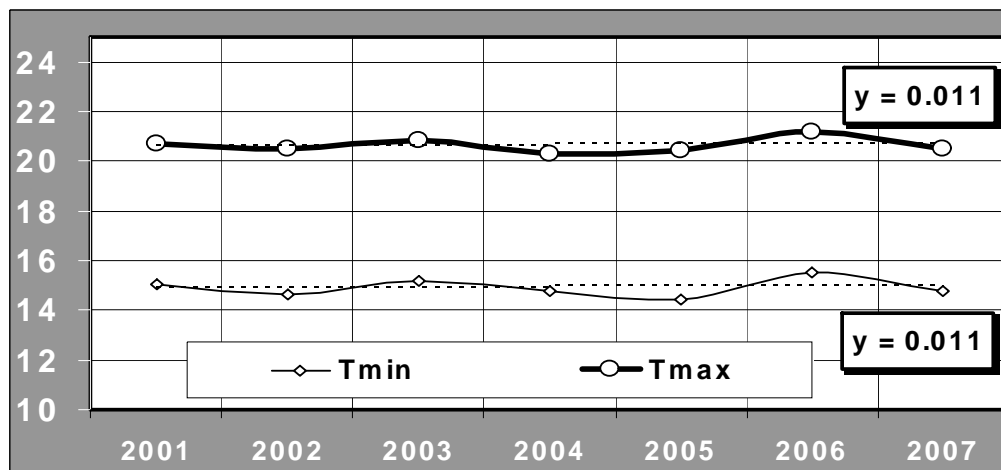


Fig. 11: “*Trend*” de las temperaturas medias máximas y mínimas anuales en la estación marina (ISLETA).

#### 4. CONCLUSIONES

Los registros obtenidos en la red meteorológica continental y marina de Castellón, si bien tan sólo han cubierto los primeros siete años de observaciones del siglo XXI (2001-2007), 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 la gran diferencia en las temperaturas medias entre el centro de la ciudad y la zona periurbana (2 °C) como en el comportamiento y evolución de las temperaturas máximas y mínimas. Estas últimas registran diferencias de hasta 3 °C entre el centro de la ciudad y la zona exterior.

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 presente trabajo pone de manifiesto la naturaleza y relevancia de este proceso sobre la región mediterránea española. El efecto de isla 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.

## 5. 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.
- 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.
- EASTERLING, D. R., HORTON, B., JONES, P.D., PETERSON, T.C., KARL, T.C., PRERKER, D.E., SALINGER, M.J., RAZUVAYEV, V., PLUMMER, N., JAMASON, P. and FOLLAND, C.K. (1997). "Maximum and Minimum Temperatures Trends for the Globe", *Science* 277, pp. 364-367.
- IPCC Working Group I Third Assessment Report (2001). "Climate Change 2001: The Scientific Basis". Draft version in <http://www.gcric.org/online.html>. 18 pp.
- KUKLA, G., GAVIN, J. and KARL, T.R. (1985). "Impact of urban heating on recent temperature trends in eastern and central North America", Boston, Americ. Meteor. Society, pp. 23-24.
- 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 GOMEZ, A. et al., (1993). *El clima de las ciudades españolas*, Cátedra, 268 pp.
- LOCKWOOD, J.G. (1998). "Future Trends in daytime and Night-Time Temperatures", *Weather*, 53, (3), pp. 72-78.
- MIMAM (2007). *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España* (INM), 145 pp.
- PNACC (2007). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*, 59 pp. Ministerio de Medio Ambiente.

- MITCHELL, J.R., DZERDZEEVSKII, J.M., FLOHN, H., HOYMEYR, W.L., LAMB, H. H., RAO, K.N., and WALLEN, C.C. (1966). *Climatic Change, T.Note No.79* WMO, Ginebra, p. 78.
- MOBERG, A. et 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.
- QUEREDA 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. Stanford University, Kluwer Academic, pp. 473-483.
- QUEREDA SALA, J., GIL OLCINA, A., OLCINA CANTOS, J., RICO AMORÓS, A. MONTÓN CHIVA, E. and ESCRIG BARBERÁ, J. (2001). "Le réchauffement climatique à l'Espagne". *La Météorologie*, 32, pp. 40-46. Société M. de France, Paris.
- QUEREDA, J., RUESCAS, A., MONTON, E., ESCRIG, J., and MOLLÁ, B. (2004). "Detection of the urban effect over temperature trend by means of NOAA-AVHRR Imagery", *MeCeo, First Mediterranean Conference on Earth Observation*, Belgrade, pp. 32-39.
- QUEREDA, J., MONTON E., y ESCRIG J. (2004). "Resultados preliminares del Plan experimental de observaciones térmicas en la Comunidad Valenciana", *Cuadernos de Geografía*, Univ. de Valencia, pp. 1-15.
- SNEYERS, R. (1975). *Sur l'analyse statistique des séries d'observations*. Note technique n° 143, Organisation Météorologique Mondiale, Genève, 192 pp.