

EL EFECTO URBANO EN LAS TEMPERATURAS DE GIRONA

Gerard TAULÉ CODINACH

Departament de Geografia Física i Anàlisi Geogràfica Regional

Universitat de Barcelona

getaule@terra.es

RESUMEN

La ciudad de Girona ha doblado su población en 40 años. La urbanización del municipio juntamente con la generación de calor antropogénico ha incrementado el fenómeno de la isla de calor urbana durante la noche. En este artículo hemos estudiado el efecto de la isla de calor en las mínimas de dos observatorios de Girona en el período 1941-2007. Los resultados son claros, mientras que antes de la década de los 90 del siglo XX no se observa el efecto en las series meteorológicas, a partir de 1990 es muy importante, con un incremento de temperatura de $0,6^{\circ}$ C/década. Probablemente en la décadas de los 70 y 80 hubiera un efecto de la isla de calor en la serie, pero el cambio de localización del observatorio nos impide detectarlo. La metodología de comparar varios observatorios rurales con las dos estaciones de Girona es satisfactoria, y la comparación de Girona-Belllloc con el aeropuerto de Girona también da buenos resultados.

Palabras clave: isla de calor urbana, calor antropogénico, serie meteorológica, cambio de localización

The city of Girona has doubled its population in 40 years. The urbanization of the municipality together with the anthropogenic heat generation has increased the phenomenon of urban heat island at night. In this article we have studied the effect of heat island in the minimum of two Girona's meteorological observatories in the period 1941-2007. The results are clear, whereas before the 90s of the twentieth century has been disturbed minimum temperature in the meteorological series, since 1990 is very important, with a minimum temperature increase of 0.6° C/decade. Probably in the 70's and 80 had an effect of heat island in the series, but location's change of the observatory is preventing us from detecting it. The methodology to compare several rural observatories with two Girona's stations is satisfactory and also the comparison of Girona-Belllloc and Girona-Airport gives good results.

Key words: urban heat island, anthropogenic heat, meteorological series, location's change

Palabras clave. Isla de calor urbana, calor antropogénico, serie meteorológica, cambio de localización

1. INTRODUCCIÓN

Las ciudades tienen un clima ligeramente diferente a su entorno como consecuencia de la urbanización. La isla de calor urbana es la plasmación más genuina de esta modificación del clima. Este fenómeno se puede definir como las temperaturas mínimas y durante la noche son más elevadas en los núcleos urbanos que los alrededores. La metodología para analizar el efecto urbano en las temperaturas es variada. El método más antiguo implica comparar las temperaturas mínimas de la ciudad con el campo que la rodea o con un pueblo de población muy pequeña. Los transectos térmicos urbanos es el 2º método que se fundamenta en desplazamientos en automóvil dentro del casco urbano y las afueras para obtener la diferencia simultánea de temperatura en un momento determinado.). La investigación del efecto de la isla de calor en las temperaturas de una serie temporal es un tema clásico dentro de la climatología urbana. Es clara la influencia de la isla de calor en las series térmicas de las ciudades, este sesgo urbano está bien determinado comparando las series urbanas i rurales, y se manifiesta en un incremento térmico en las ciudades superior a los pueblos de los alrededores, y por tanto la serie de la ciudad tiene una influencia térmica urbana (BÖHM, 1998). BRUNET (1989) estudia el efecto térmico en las temperaturas de Tarragona mediante la aplicación de las series de Fourier. Quereda (QUEREDA et al., 2000) ha analizado el efecto urbano en las temperaturas de varios observatorios de la vertiente mediterránea española, y afirma que se observa un sesgo térmico urbano en los observatorios urbanos, con un incremento térmico superior en las temperaturas mínimas en las estaciones urbanas respecto a los observatorios rurales. Heino (1999) afirma que “Los cambios progresivos en los alrededores de un observatorio representan una fuente frecuente de inhomogeneidad”. Estas modificaciones del entorno son muchas veces producidas por la expansión de la ciudad, la isla de calor engloba un observatorio, lo cual conlleva un incremento de las temperaturas mínimas de esta estación debido a la urbanización.

La población de Girona se ha multiplicado por tres en el período 1940-2009. Así en 1940 Girona tenía alrededor de 30000 habitantes, y actualmente está cerca de los 100000. Este incremento ha implicado un aumento de la superficie urbanizada y también un aumento de la generación de calor antropogénico. Estos dos factores nos hacen pensar en una hipótesis inicial de trabajo, la influencia de la isla de calor urbana de Girona en la serie ha variado durante el período 1940-2009, y se ha incrementado de forma considerable en los últimos decenios.

AÑO	POBLACIÓN
1940	29632
1970	50338
1991	68566

2009	98000
------	-------

CUADRO 1. POBLACIÓN DE GIRONA

2. METODOLOGÍA

En este estudio se ha analizado la influencia urbana en dos observatorios meteorológicos de la ciudad de Girona, Girona-Instituto Viejo y Girona-Belllloc. La estación de Girona-Instituto Viejo que se encuentra muy cerca del centro urbano de la ciudad, comienza a funcionar en 1884, no obstante no tenemos datos continuos hasta 1911, y la serie se alarga hasta 1966. Este observatorio se sitúa en el casco viejo de Girona. Su entorno inmediato no ha sufrido cambios en todo el período citado. El observatorio del colegio Belllloc de Girona es una estación que se ubica en el sur del barrio de Sant Narcís, unos 2 km al SW del centro urbano de Girona. Esta estación inicia su funcionamiento en 1970 hasta la actualidad, con algunas lagunas en los años 1971 y 1972. Este observatorio ha presentado cambios más importantes en su entorno que Girona-Instituto Viejo. A pesar que el observatorio de Girona-Belllloc ha permanecido en el mismo lugar durante 4 décadas, ha cambiado su entorno de forma drástica en este período. Así en los inicios de la década de los 90 del siglo XX se urbaniza el entorno de Girona-Belllloc, con la construcción del polígono industrial de Mas Xirgu al sur del observatorio. Esto implica que la isla de calor que no afectaba al observatorio antes de los 90 si que lo haga con posterioridad, actualmente engloba a este observatorio. También podemos plantear una hipótesis en relación a la ubicación relativa dentro de Girona de las dos estaciones, las diferencias térmicas urbano-rurales tenderán a disminuir en Girona-Belllloc por su situación más periférica dentro de Girona.

Hemos analizado las diferencias entre los observatorios de Girona-Instituto Viejo, Girona-Belllloc y los observatorios rurales por separado, para detectar una variación temporal en la tendencia del efecto urbano.

El primer paso de la metodología que es previo al análisis comparativo de los observatorios urbanos de Girona y los observatorios rurales, es el estudio de la homogeneidad de las temperaturas de todas las estaciones. Así este análisis de la homogeneidad se realiza para detectar irregularidades en la serie que no sean debidas a causas naturales, sino producidas por cambios de localización del observatorio, modificaciones del entorno, cambios del instrumental, etc. La homogeneidad de la serie de Girona la hemos realizado a partir de dos tests de homogeneidad, el test de Thom o de rachas y el test SNHT de Alexandersson.

Los observatorios meteorológicos utilizados en este estudio son 14, de los cuales 11 pertenecen a pueblos o emplazamientos con poca o nula influencia urbana, y 3 pertenecen al municipio de Girona. La localización de los observatorios rurales es variada, algunos se sitúan en la depresión

prelitoral catalana (Aeropuerto de Girona, Caldes de Montbui, Breda), otros en el piedemonte de la Sierra Prelitoral (La Celler, Arbúcies, Sant Feliu de Buixalleu), también en la costa Brava central (L'Estartit, Cap de Begur) y otros en el Prepirineo (Castellfollit de la Roca, Beget). Estas estaciones no distan más de 70 km respecto Girona (Caldes de Montbui es el más lejano, 70 km), y la mayoría se sitúan entre 30 y 50 km de distancia, con la excepción del aeropuerto de Girona que solamente está a 11 km del centro urbano de Girona. Las coordenadas geográficas, la altitud y el período de observación constan en la siguiente tabla:

OBSERVATORIO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (m)	PERÍODO
Girona-colegio Bellllloc	41°58'20'' N	2°48'33'' E	91	1973-2007
Girona-Instituto Viejo	41°59'10''N	2°49'37''E	95	1941-66
Aeropuerto de Girona	41°54'05'' N	2°45'37''E	128	1973-2007
Caldes de Montbui	41°37'15''N	2°10'21''E	180	1945-66
Cap de Begur	41°57'59''N	3°13'02''E	200	1941-66
Beget	42°19'23''N	2°28'39''E	541	1941-64
Breda	41°44'52''N	2°33'18''E	182	1941-62
L'Estartit	42°03'06''N	3°11'55''E	2	1971-2007
La Celler	41°58'08''N	2°37'27''E	180	1980-99
Castellfollit de la Roca	42°13'11''N	2°32'58''E	301	1974-98
Sant Feliu de Buixalleu	41°47'27''N	2°35'10''E	405	1949-99
Arbúcies	41°49'07''N	2°30'45''E	303	1971-93
Mas Badia	42°03'22''N	3°03'47''E	20	1984-2007

CUADRO 2: LISTA DE OBSERVATORIOS METEOROLÓGICOS ANALIZADOS.

Se ha aplicado el test de rachas a las 14 estaciones con el objetivo de verificar la homogeneidad de las series. El observatorio de Girona-Instituto Viejo y el aeropuerto de Girona son homogéneos, pero la estación de Girona-Bellllloc presenta tendencia. La estación de Breda se ha correlacionado con los vecinos de Beget, Sant Feliu de Buixalleu y Caldes de Montbui, la correlación obtenida es mala, inferior a 0,7, por tanto no se considera como una estación apta para este estudio. Las otras estaciones rurales son homogéneas, con la excepción de La Celler y L'Estartit. Los observatorios de La Celler y L'Estartit se han homogeneizado mediante el test SNHT de Alexandersson del software Anclim con la estación vecina con

mejor correlacion. Estas estaciones son Sant Feliu de Buixalleu en el caso de La Celler y Figueres para la estación de l'Estartit.

TEST	AEROPUERTO DE GIRONA	GIRONA-INSTITUTO VIEJO	GIRONA-BELLLOC
Thom	Homogéneo	Homogéneo	Tendencia
Alexandersson	Homogéneo	Homogéneo	Tendencia

CUADRO 3. HOMOGENEIDAD EN LAS TEMPERATURAS MÍNIMAS SEGÚN DIFERENTES TESTS DE HOMOGENEIDAD. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos cedidos por AEMET.

Es importante de destacar que según el test de Alexandersson hay dos períodos en los cuales la homogeneidad de la serie térmica de Girona-Belllloc es diferente, 1973-89 y 1990-2004. Así en el primer período Girona-Belllloc se puede considerar como una serie natural, sin efecto urbano, y en el segundo como un observatorio urbano, con sesgo térmico antrópico. Con el fin de estimar el efecto de la urbanización en los observatorios de Girona-Instituto Viejo y Girona-Belllloc durante los períodos 1941-66, 1973-89 y 1990-2007, hemos calculado según el método de mínimos cuadrados la diferencia en las tendencias térmicas de las series de la ciudad de Girona, el aeropuerto de Girona y las estaciones rurales.

PERÍODO	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO	AÑO
1941-66	-0,0501	-0,0630 (**)	-0,0394 (*)	-0,0361	- 0,0551 (**)
1973-89	0,0345	-0,0134	-0,0480	0,0500	0,0058
1990-2007	0,0256	0,0843	0,0296	0,0308	0,0431

(*) Valor significativo (95 %)

(**) Valor significativo (99 %)

CUADRO 4: DIFERENCIA ENTRE LAS TEMPERATURAS MÍNIMAS DE GIRONA (INSTITUTO VIEJO), GIRONA (BELLLOC) Y VARIAS ESTACIONES RURALES EN LOS PERÍODOS 1941-66 Y 1973-2007,

RESPECTIVAMENTE. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de los observatorios procedentes de AEMET

La comparación de Girona y varios observatorios rurales permite constatar un cambio importante en la tendencia de diferencias térmicas urbano-rurales. Mientras que en el períodos 1941-66 hay un enfriamiento de Girona respecto los observatorios rurales, en el intervalo temporal 1973-89 no se observa una clara tendencia y en el período 1990-2007 se detecta un calentamiento urbano. Las tasas de enfriamiento y calentamiento son estadísticamente significativas en todas las estaciones excepto durante invierno en el período 1941-66. En el período 1973-89 hay dos estaciones con tendencia al enfriamiento (primavera y verano) y dos con tendencia al calentamiento (invierno y otoño), aunque en ninguna estación la tendencia es estadísticamente significativa. En el período 1990-2007 se observa un calentamiento urbano en todas las estaciones, que es más destacable en la primavera, aunque en ninguna estación es estadísticamente significativo. Existe una anomalía en invierno, que tiene un incremento térmico urbano ligeramente inferior en este período respecto el anterior.

PERÍODO	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO	AÑO
1973-2007	0,0312 (**)	0,0394 (**)	0,0430 (**)	0,0216 (**)	0,0368 (**)
1973-89	-0,0320	-0,0552	-0,0695 (**)	-0,0197	-0,0428
1990-2007	0,0626 (*)	0,0799 (**)	0,0750 (**)	0,0394	0,0626 (**)

(*) Valor significativo (95 %)

(**) Valor significativo (99 %)

CUADRO 5: DIFERENCIA ENTRE LAS TEMPERATURAS MÍNIMAS DE GIRONA (BELLLOC) Y EL AEROPUERTO DE GIRONA EN EL PERÍODO 1973-2007. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de los observatorios procedentes de AEMET.

Las diferencias térmicas entre Girona-Bellloc y el aeropuerto son remarcables entre el primer y el segundo período, como en el otro caso. En el período 1973-89 hay un enfriamiento relativo de Girona-Bellloc (-0,0428° C/año), mientras que en el período 1990-2007 hay un calentamiento urbano importante (0,0626° C/año). Es importante de señalar que el calentamiento del citado intervalo temporal afecta a tres estaciones astronómicas de forma significativa (invierno, primavera y verano), mientras que el enfriamiento del período 1973-89 solo es significativo en verano. En el Cuadro 5 se observa como todas las diferentes estaciones del año han experimentado un calentamiento en el período 1990-2007, aunque su magnitud varía. Así en

primavera se da la mayor tendencia de incremento térmico $0,0799^{\circ}\text{C/año}$, valor muy parecido a verano. En otoño se da el menor calentamiento. Probablemente la elevada nubosidad, juntamente con la abundante pluviosidad explican este incremento menor en la estación otoñal. En el período global 1973-2007 se produce un calentamiento moderado de Girona-Belllloc, que es significativo en todas las estaciones. En los cuadros 4 y 5 se puede observar la comparación de Girona-Belllloc con el aeropuerto por una parte y con la media de los observatorios rurales por otra. Estas dos comparaciones dan resultados un poco diferentes, pero coincidentes en un descenso térmico de la ciudad respecto las estaciones rurales de referencia. Esta tendencia anómala hacia el enfriamiento urbano es probablemente debido a la instalación del observatorio de Girona-Belllloc fuera de la influencia de la isla de calor urbana de Girona. El descenso térmico de Girona respecto los observatorios rurales ($-0,1213^{\circ}\text{C/año}$) es muy superior a la comparación de Girona-Belllloc y el aeropuerto de Girona ($-0,0428^{\circ}\text{C}$). Esta diferencia puede deberse a la diferente escala de estudio, mientras que algunas de las estaciones rurales están un poco alejadas de Girona, el aeropuerto está relativamente cerca y es más representativo del clima de las afueras de la ciudad. Así podemos plantear una hipótesis, en el período 1973-89 podría haberse producido un calentamiento mesoescalar importante que afectó a los observatorios rurales, mientras que la zona de Girona y alrededores (aeropuerto) no han registrado un aumento térmico local tan considerable.

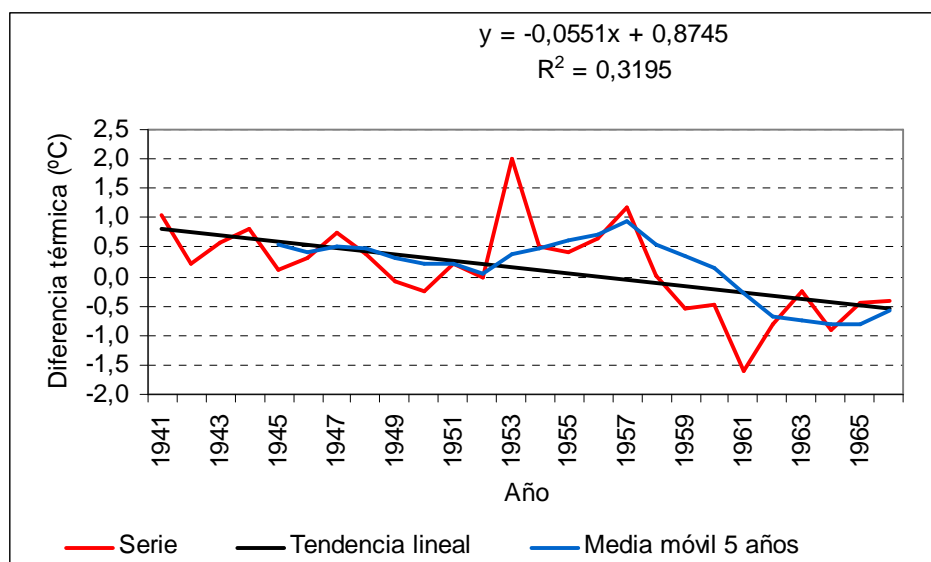


FIGURA 1. DIFERENCIAS EN LAS TEMPERATURAS MEDIAS DE LAS MÍNIMAS DE GIRONA-INSTITUTO VIEJO RESPECTO VARIAS ESTACIONES RURALES EN EL PERÍODO 1941-66. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de las estaciones cedidos por AEMET.

Como se observa en la figura 1 el observatorio de Girona situado en el centro urbano muestra un enfriamiento importante ($-0,051^{\circ}\text{C/año}$) respecto varios observatorios rurales de comarcas vecinas. La media móvil también indica un enfriamiento, que no es constante en todo el período, así entre 1950 y 1956 se produce un aumento de esta variable que podrá indicar un temporal calentamiento urbano. De todas formas en los años anteriores el descenso es brusco, por tanto podemos desconfiar que la causa de aquel aumento térmico sea el efecto urbano, sino más un enfriamiento de las estaciones rurales por causas atmosféricas. Por tanto podemos deducir que el efecto urbano de la ciudad de Girona en la serie meteorológica del observatorio de Girona-I. Viejo (1884-1966) es muy débil en el período anterior a la década de los 70. La ciudad de Girona tiene una población de aproximadamente 50000 habitantes en el año 1970, pero la baja tasa de motorización y de consumo energético en aquella época se traduce en una escasa aportación de calor antropogénico, además hay muchos espacios sin edificar cerca del centro urbano, por tanto pensamos en que la isla de calor urbana sería demasiado débil para afectar a la serie térmica del observatorio de Girona-Instituto Viejo. Como conclusión, el efecto térmico urbano en Girona no debe ser muy importante anteriormente a la década de los 70.

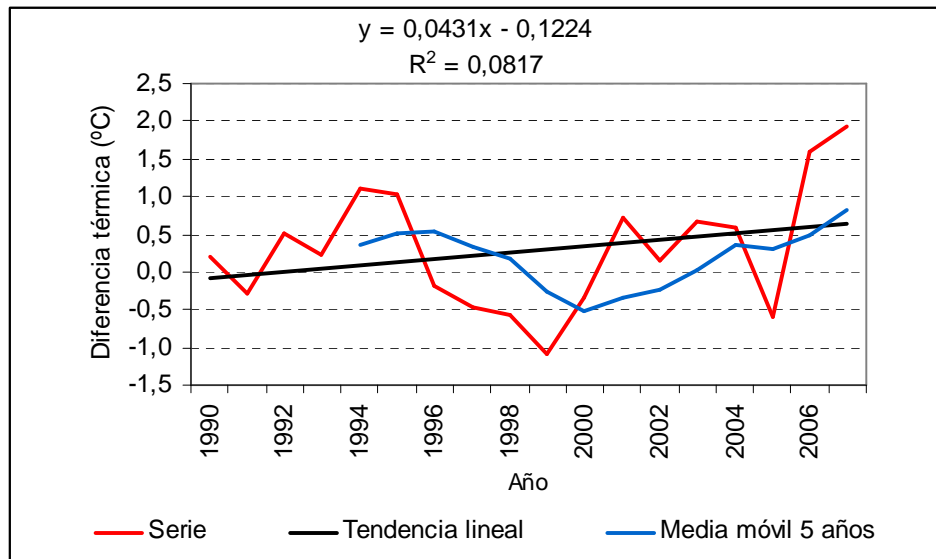


FIGURA 2. DIFERENCIA EN LAS TEMPERATURAS MEDIAS DE LAS MÍNIMAS DE GIRONA-BELLLLOC RESPECTO VARIOS OBSERVATORIOS RURALES EN EL PERÍODO 1990-2007. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de las estaciones cedidos por AEMET.

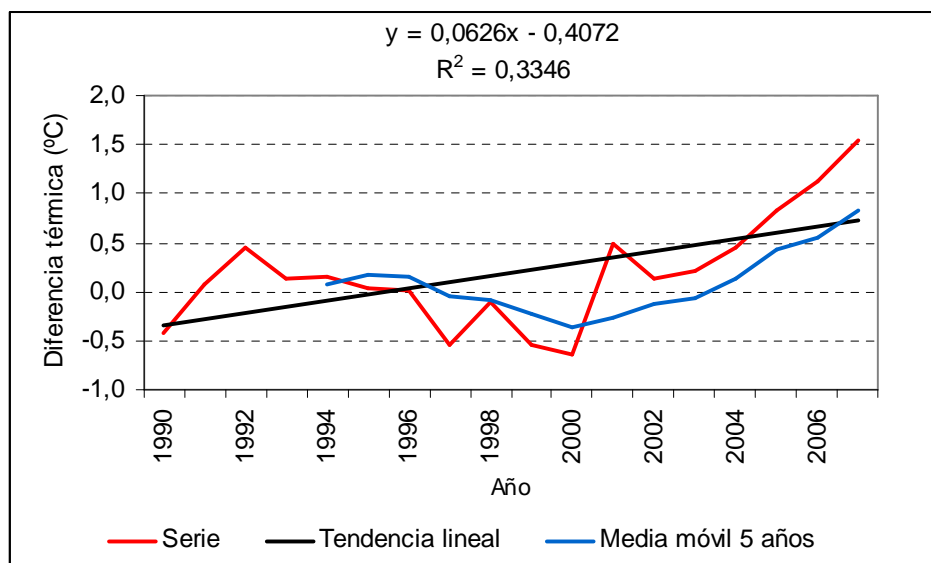


FIGURA 3. DIFERENCIA EN LAS TEMPERATURAS MEDIAS DE LAS MÍNIMAS DE GIRONA-BELLLLOC RESPECTO EL AEROPUERTO DE GIRONA EN EL PERÍODO 1990-2007. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de las estaciones cedidos por AEMET.

En las figuras 2 y 3 se hace patente una tendencia de calentamiento del observatorio de Girona en el período 1990-2007, Mientras en el inicio del tramo temporal Girona-Belllloc tenía unas temperaturas medias de las mínimas anuales $0,5^{\circ}$ C más frías que el aeropuerto, a finales del período 1990-2007 y comienzo del siglo XX Girona-Belllloc es $0,8^{\circ}$ C más cálida que el aeropuerto. Incluso las diferencias se hacen notables en el año 2007, cuando Girona-Belllloc es $1,9^{\circ}$ C más cálida que el aeropuerto. La media móvil de 5 años presenta un descenso en ambas figuras en los años iniciales del período 1991-2007, no obstante a partir del año 2000 (figura 2) y del año 2003 (figura 3) la media móvil inicia un pronunciado ascenso, por tanto a inicios del siglo XXI es destacable el calentamiento urbano de Girona-Belllloc. Por tanto se constata que a inicios del siglo XX se acentúa el calentamiento urbano iniciado en la década de los 90 como consecuencia de la isla de calor urbana de Girona. Se confirma, por tanto, la hipótesis de inicio de este estudio, hay una variación en la influencia urbana de Girona en el período 1941-2007. El diferente comportamiento térmico de Girona-Belllloc en los dos períodos 1973-89 y 1990-2007 hay que relacionarlo con la urbanización del entorno de este observatorio. La diferencia entre los dos períodos debe atribuirse no exclusivamente a la urbanización del entorno, sino también al crecimiento urbano de Girona, y a la producción de calor antropogénico, ya que en la década de los 90 del siglo pasado se generaliza en Girona el uso de calefacciones en invierno y de sistemas de climatización en verano.

3. CONCLUSIONES

A partir de la década de los 90 la ciudad de Girona comienza a influir en las temperaturas del observatorio meteorológico de Girona-Belllloc, antes de 1990 la modificación térmica es muy débil, y no es detectable en la comparación de los observatorios de Girona y las estaciones rurales del entorno. No obstante, el cambio de localización del observatorio del centro a la periferia puede enmascarar una modificación urbana en las mínimas en la décadas de los 70 y 80 del siglo XX. La principal causa por la no afectación de la ciudad en las temperaturas mínimas es el tamaño y población de Girona, ya que es una urbe de tamaño medio-bajo antes de la década de los 90, juntamente con la baja producción de calor antropogénico. El efecto de la isla de calor urbana en la serie térmica de Girona se hace más patente a partir del año 2000, el observatorio de Girona-Belllloc está teniendo un calentamiento urbano importante en el siglo XXI. Se cumple la hipótesis inicial, la modificación urbana del clima de Girona ha variado en el período 1941-2007.

4. BIBLIOGRAFIA

- BÖHM, R. (1998). "Urban bias in temperature time series –a case study for the city of Vienna, Austria". *Climatic Change*, 38, pp.113-128.
- CAMILLONI, I., BARROS,V. (1997). "On the urban heat island effect dependence on temperature trends". *Climatic Change*, 37, pp.665-681.
- HEINO, R. (1999): "*Homogeneity of the long-term urban data records*". *Atmospheric Environment*. pp.3879-3883. Pergamon.
- KARL, T.R., DIAZ, H.F., KUKLA, G. (1988). "Urbanization: Its detection and effect in the United States climate record". *Journal of Climate*. (1), 1, pp.1099-1123
- KUKLA,G., GAVIN,J., KARL, T.R. (1986). "Urban warming". *Journal of Climate and Applied Meteorology*. (25), p. 1265-70.
- PARKER, D.E. (2010). "Urban heat island effects on estimates of observed climate change". En prensa. Disponible en la web <<http://dx.doi.org/10.1002/wcc.21>>.
- QUEREDA SALA, A., PEREZ CUEVAS, A., OLCINA CANTOS, J., RICO AMOROS, A., MONTON CHIVA, E. (2000). "Climatic warming in the Spanish Mediterranean: natural trend or urban effect". *Climatic Change*. 46, pp. 473-483.
- WIGLEY, T.M.L., JONES, PLD. (1988): "Do large-area-average temperatura series have an urban warming bias?". *Climatic Change*. 12. pp. 313-319.