

# DISTRIBUCIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE LOS EXTREMOS TÉRMICOS EN LA ZONA URBANA DE GIRONA

Gerard TAULÉ CODINACH  
*Departament de Geografia Física i Anàlisi Geogràfica Regional*  
*Universitat de Barcelona*  
**getaule@terra.es**

## RESUMEN

El clima de Girona ha tenido un calentamiento importante de las temperaturas finales del siglo XX y inicios del siglo XXI. Este incremento térmico también se ha observado en los episodios térmicos extremos. En los últimos 31 años la isla de calor urbana ha provocado grandes diferencias térmicas en estos episodios térmicos extremos en la zona urbana de Girona. Así los centros urbanos de Girona y Salt muestran unas temperaturas mínimas muy superiores a la periferia rural en las olas de calor y de frío. En este trabajo se analizan los factores que favorecen la gran variabilidad térmica en 31 observatorios meteorológicos de Girona y su periferia.

**Palabras clave:** olas de calor, olas de frío, isla de calor urbana.

## ABSTRACT

Girona's climate has had a major warming in the late twentieth and early twenty-first century. This temperature increase also has been observed in the thermal extreme spells. On the last 31 years the urban heat island has caused large temperature differences in these extreme thermal spells in the urban area of Girona. So the urban centers of Girona and Salt shows minimum temperatures much higher than the rural periphery in heat waves and cold waves. This paper analyzes the factors that favour the large thermal variability in 31 meteorological stations of Girona and its periphery.

**Key words:** cold spells, heat spells, urban heat island.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el actual contexto de calentamiento climático global es muy importante determinar como afectará este incremento térmico a la distribución de la temperatura de los episodios cálidos y fríos. El estudio de los extremos térmicos en las ciudades y su influencia en la salud de las personas es un tema recurrente dentro de la bioclimatología y sus conexiones con la medicina (GOLDEN et al., 2008). La isla de calor urbana introduce matices en la distribución de los valores térmicos observados en las ciudades, incluso parece que la variabilidad térmica intraurbana produce efectos negativos en la sensación de confort térmico en las capas más desfavorecidas de la sociedad (FERNANDEZ et al.2004). El efecto de la isla de calor produce el incremento del stress térmico en los centros urbanos, ya que las altas temperaturas nocturnas se suman a los valores térmicos muy elevados inducidos por

los episodios extremos de calor (FERNÁNDEZ GARCÍA et al., 2008). En cambio las olas de frío ven mermada su intensidad en las ciudades, donde las temperaturas mínimas no alcanzan los valores tan bajos observados en su periferia.

## 2. FUENTES

Hemos analizado las temperaturas máximas y mínimas diarias de 33 observatorios, una amplia mayoría proceden de instituciones públicas y de redes de observación de aficionados, aparte de algunos observatorios privados. El Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) es una red institucional, igualmente como la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). El observatorio de la universidad de Girona también es de un ente público. La gran mayoría de estaciones de aficionados pertenecen a la red de Meteoclimatic ([www.meteoclimatic.com](http://www.meteoclimatic.com)). También tenemos las estaciones de Bescanó y Celrà que pertenecen a una red de observadores voluntarios ([www.darrera.com](http://www.darrera.com)). Hemos conseguido los datos de la ciudad de Girona del período 1911-77 a partir de la digitalización de los valores térmicos extremos en el Archivo Histórico de Girona, mientras que AEMET nos ha proporcionado los datos de Girona-Bell-lloc en el período 1978-2008. Los datos de Girona-Parc del Migdia de los años de 2010 y 2011 son consultables en la página web de AEMET ([www.aemet.es](http://www.aemet.es)). Las características de los usos del suelo del entorno de los observatorios se han obtenido a partir de la ortoimagen de escala 1:5000 del Gironès del año 2007, imagen proporcionada por el “Institut Cartogràfic de Catalunya”.

## 3. METODOLOGÍA

En este estudio se ha analizado la influencia urbana en las temperaturas máximas y mínimas diarias de 33 observatorios meteorológicos de la zona urbana de Girona para identificar los valores de los percentiles en los episodios extremos de calor y de frío. El período analizado es el 1992-2011. La delimitación de los episodios cálidos y fríos se ha realizado a partir de los días de verano (junio-agosto) en que se superan los percentiles 90, 95, 98 y 99 para los episodios cálidos y los valores térmicos inferiores a los percentiles 1, 2, 5 y 10 de las olas de frío en los días de invierno (diciembre-febrero). Se ha aplicado el test de Mann Kendall para determinar el valor  $p$  de la tendencia de los episodios extremos. Cabe destacar que en la figura 1 no constan 3 observatorios de la zona urbana de Girona, estos son Cassà de la Selva-SMC, Cassà de la Selva-centro y Celrà. Con el propósito de mostrar legible la figura 1 estas estaciones no se han incluido en el mapa. Cassà se encuentra 13 Km al SE de Girona y Celrà, 8 Km al NE. También se han aplicado estos percentiles a las temperaturas máximas y mínimas de la serie meteorológica de Girona en el período 1912-2011, con la excepción del percentil 98.

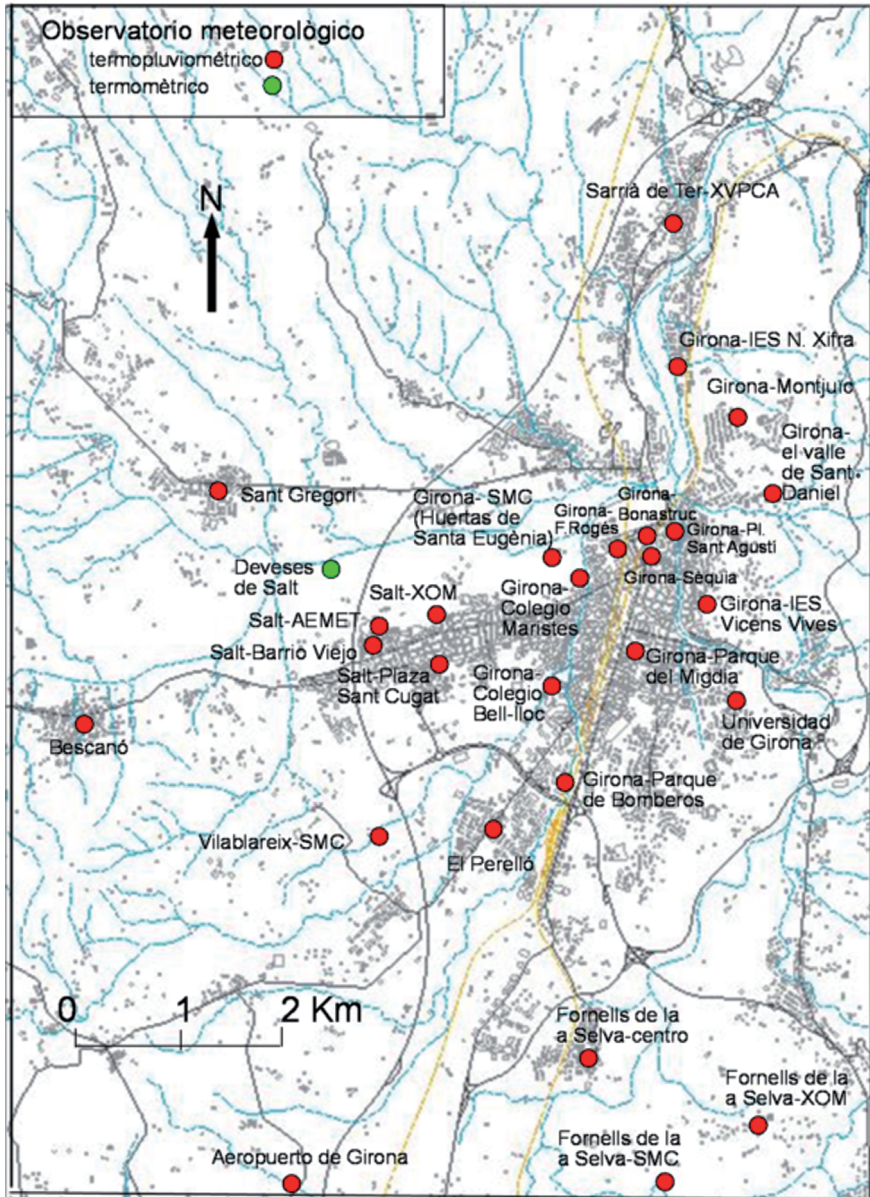


FIG. 1: Mapa de observatorios meteorológicos analizados.

Para observar el efecto urbano en la serie de Girona también se ha estudiado por separado la serie de 1981-2011 ya que en este período la isla de calor urbana de Girona comienza a tener una influencia importante en un incremento térmico en la serie meteorológica de la ciudad (TAULE, 2010).

Los observatorios que forman parte de la serie meteorológica de Girona son las siguientes:

Girona-Instituto Viejo (1912-66), Girona-Instituto Vicens Vives (1967-72), Girona-Colegio Bellllloc (1973-2008), Girona-Devesa (2009) y Girona-Parc del Migdia (2010-2011). Cabe destacar que estas estaciones tienen una localización diversa dentro de la ciudad, y esto produce unos valores térmicos relativamente dispares entre estos observatorios, especialmente en las temperaturas mínimas

a finales del período analizado, a partir de 1990. No se ha realizado la homogeneización de los datos de los observatorios por una simple razón, porque los períodos en que funcionan dos observatorios simultáneamente son demasiado cortos para que este proceso tenga éxito. Así tenemos un período común en los observatorios de Girona-Bell-lloc y Girona-Instituto Vicens Vives (1973-77) y otro período 2010-2011 (Girona-Devesa y Parc del Migdia).

También hemos de destacar que se ha realizado el análisis multivariante con la ayuda del software Statgraphics 4.1. Así se ha aplicado la regresión simple y múltiple con el objetivo de conocer la influencia de los usos del suelo en las temperaturas de los episodios extremos. En el análisis multivariante se han incluido factores geográficos, como la distancia a las Deveses de Salt y a la calle Juli Garreta de Girona, así como la altitud, latitud y longitud del observatorio. La metodología utilizada para calcular la superficie ocupada por los diferentes usos del suelo de los observatorios meteorológicos de la zona urbana de Girona es a partir del análisis de la ortoimagen de escala 1:5000 del Gironès del año 2007. Cabe destacar que la zona analizada tiene una superficie de 15,60 ha que corresponden a un rectángulo con una longitud de 508,5 m y una anchura de 306,8 m. Esta ortoimagen es una imagen corregida de la fotografía aérea realizada el agosto del 2004 y es propiedad del “Institut Cartogràfic de Catalunya”. Con el uso de la herramienta “Área”, que se encuentra incluida en el visor de la ortoimagen, se ha dividido esta en diversos polígonos con los mismos usos del suelo (p.ej. edificio). Después se ha calculado la extensión de cada polígono. Los usos del suelo resultantes son 5: “agua”, “verde”, “asfalto”, “industria” y “edificio”.

También se han realizado los promedios de las temperaturas de los diferentes observatorios alcanzados en los episodios térmicos extremos en función de la situación geográfica y el uso del suelo más frecuente. Así se han clasificado las estaciones en 3 tipologías, urbana, suburbana y rural. Los centros de Girona y Salt pertenecen al uso del suelo urbano, mientras que los cascos urbanos de los otros municipios juntamente con la periferia de Girona y Salt son caracterizados como suburbanos. Las estaciones con un entorno agrícola o forestal tienen el calificativo de uso rural.

#### 4. RESULTADOS

Los episodios fríos extremos han disminuido su intensidad y duración en lo que concierne a las temperaturas máximas, mientras que la tendencia es positiva en los valores mínimos. Pero es importante de destacar que el aumento observado en las olas de frío tanto en persistencia como en intensidad de las mínimas de Girona solamente abarca el período 1912-80, ya que a partir de 1981 se observa un claro descenso en la frecuencia y en los valores extremos como podemos observar en el cuadro 2. Solamente se puede atribuir una pequeña parte del incremento de la frecuencia y intensidad de olas de frío al cambio de localización del observatorio, ya que tenemos datos de Girona-Bell-lloc a partir de 1978. En esta estación meteorológica la urbanización del entorno juntamente con el calentamiento global ha traído a una disminución de los valores extremos de las olas de frío. En las temperaturas máximas la tendencia al aumento térmico observado en la ciudad de Girona en todo el período 1912-2011 ha provocado un descenso del número de días de ola de frío, que es estadísticamente significativo para las máximas relativamente más suaves (percentil 10 y 5), pero no lo es para los valores máximos más fríos (percentil 2). Las olas de calor han visto incrementado su duración y intensidad, tanto en temperaturas máximas y en mínimas, durante el período 1912-2011 cómo se puede observar en el cuadro 2. Los días menos cálidos de los episodios de calor

(superior a percentil 90) son los que han experimentado un incremento más importante, mientras que los valores térmicos más elevados (superior a percentil 98) presentan igualmente una tendencia positiva pero con una tendencia que tiene un aumento más moderado.

Percentil	Olas de calor		Olas de frío		
	Máximas(1)	Mínimas(1)	Máximas(1)	Mínimas(1)	Mínimas(2)
90/10	<b>0,1520</b>	<b>0,1081</b>	0,0100	<b>0,0555</b>	<b>-0,136</b>
95/5	<b>0,0700</b>	<b>0,0056</b>	<b>-0,0300</b>	0,0130	-0,256
98/2	<b>0,0280</b>	<b>0,0265</b>	<b>-0,0590</b>	0,0110	-0,354

(1) Período 1912-2011 Período 1981-2011

En negrita y cursiva  $p=0,01$  En negrita  $p=0,05$

CUADRO 2: *Tendencia (°C/año) de las temperaturas máximas y mínimas durante los episodios térmicos extremos en la ciudad de Girona.*

Percentil	99	98	95	90
<b>Rural</b>	38,2	37,1	35,9	34,6
<b>Suburbano</b>	37,9	37,1	35,8	34,7
<b>Urbano</b>	37,8	37,1	35,9	34,8

CUADRO 3: *Temperaturas máximas de diferentes percentiles (°C). Ola de calor.*

El efecto de isla de calor aparece durante la noche pero durante el día es muy débil o incluso se forma una isla de frescor débil en la ciudad (MORENO, 1999). La zona urbana de Girona no es una excepción, por tanto las diferencias térmicas observadas en las máximas entre las estaciones urbanas y rurales son muy reducidas. Curiosamente los observatorios situados en entornos agrícolas o forestales tienen temperaturas máximas ligeramente más altas durante los episodios cálidos respecto las estaciones urbanas para el percentiles 99, mientras que los observatorios urbanos presentan valores ligeramente más elevados para el percentil 90 (ver cuadro 3). El observatorio más cálido es Girona-IES Narcís Xifra con 39,9°C para el percentil 99, mientras que Fornells de la Selva-centro tiene el valor más bajo en este caso, 36,0°C. En este caso hay una correlación débil y que no es significativa entre latitud y temperatura, aunque el signo de esta es positivo, 0,28. Así hay una ligera tendencia a producirse un incremento de la temperatura con la latitud, a sotavento de la ciudad (norte) las máximas presentan máximas superiores durante las olas de calor respecto la mitad sur de la zona estudiada. Para percentiles más bajos un observatorio rural, Cassà de la Selva-SMC, alcanza las temperaturas máximas más bajas.

Percentil	99	98	95	90
<b>Rural</b>	20,0	19,7	18,9	18,1
<b>Suburbano</b>	22,0	21,5	20,7	20,1
<b>Urbano</b>	22,2	21,8	21,2	20,5

CUADRO 4: *Temperaturas mínimas de diferentes percentiles (°C). Ola de calor.*

La importante intensidad de la isla de calor nocturna de Girona se traduce en unas temperaturas mínimas claramente más elevadas en los cascos urbanos de Girona y Salt respecto los entornos no urbanizados de su periferia. La diferencia es de 2,2°C en los promedios para el percentil 98, con 22,2°C para los observatorios urbanos y 20,0°C para las estaciones rurales (ver cuadro 4). Sarrià de Ter-XVPCA es la estación que presenta las temperaturas más elevadas para los percentiles 90, 95 y 98. Se trata de una estación suburbana. Su situación geográfica, al norte de Girona, y a sotavento de esta, provoca esta anomalía térmica. El observatorio más cálido, Girona-Sèquia, solamente es el más cálido lo que concierne al percentil 99, con una temperatura mínima de 23,3°C. De todas formas las diferencias observadas entre Girona-Sèquia y Sarrià de Ter-XVPCA son muy pequeñas. El nuevo observatorio de Sarrià de Ter, instalado en abril de 2009 presenta unas mínimas claramente inferiores a Girona-Sèquia, alrededor de 1,2°C. Esta estación que se encuentra situada a 600 metros de Sarrià-XVPCA, permite afirmar que el municipio de Sarrià de Ter tiene solamente unas temperaturas muy elevadas en el centro urbano y que descienden rápidamente en áreas urbanas menos densas de este pueblo. Las Deveses de Salt es la estación meteorológica que registra temperaturas más bajas de la zona urbana de Girona, con un promedio anual 5,1°C inferior a Girona-Sèquia. En los episodios cálidos este enclave no es una excepción y presenta unos valores térmicos relativamente bajos para tratarse de una zona no muy alejada del mar y a tan poca altitud. Así el percentil 98 es de 18,5°C, este es un valor inferior al promedio de las mínimas de julio en Girona-Sèquia, 18,9°C.

Percentil	1	2	5	10
<b>Rural</b>	5,5	6,4	8,2	9,4
<b>Suburbano</b>	5,6	6,7	8,2	9,5
<b>Urbano</b>	5,7	6,8	8,3	9,7

CUADRO 5: *Temperaturas máximas de diferentes percentiles (°C). Ola de frío.*

Los episodios fríos dan lugar a temperaturas máximas ligeramente inferiores en la periferia de Girona respecto el centro de la zona urbana de Girona (5,5°C es la media de la zona rural, por 5,7°C en los observatorios urbanos). Sarrià de Ter-XVPCA es el observatorio menos frío que registra las máximas más elevadas de todos los observatorios. Probablemente su baja altitud (69 m), en el sector más bajo de la zona urbana de Girona, es una de las causas que provocan estas temperaturas relativamente elevadas. La altitud juega un factor clave en unas temperaturas máximas más bajas en el observatorio de Girona-Montjuïc, que presenta los valores térmicos inferiores en los percentiles 90 y 99. Fornells de la Selva-SMC y Bescanó registran las máximas inferiores para el percentil 98 y 95 respectivamente (ver cuadro 5).

Percentil	99	98	95	90
<b>Rural</b>	-7,8	-6,9	-5,6	-4,4
<b>Suburbano</b>	-5,4	-4,4	-3,0	-2,0
<b>Urbano</b>	-4,1	-3,3	-2,2	-1,1

CUADRO 6: *Temperaturas mínimas de diferentes percentiles (°C). Ola de frío.*

El promedio de las temperaturas mínimas durante las olas de frío para todos los percentiles analizados es claramente superior en los centros de Girona y Salt (zona urbana) respecto los campos de su periferia, la diferencia es de 3,7°C, es un valor superior al observado en los episodios cálidos, 2,2°C. En el caso de olas de frío intensas (percentil 2) tenemos -7,8°C de promedio de las mínimas para las estaciones rurales y -4,1°C para los observatorios urbanos (ver cuadro 6). Es importante de destacar que el observatorio que presenta el porcentaje más alto de las mínimas más elevadas en los episodios fríos no está en una zona urbana, sino en una área suburbana, es Girona-Montjuïc para los percentiles 2, 5 y 10. En este caso la fuerte inversión térmica que es típica del clima de Girona provoca esta anomalía. Girona-Plaza.Sant Agustí es la estación que presenta las mínimas más altas para el percentil 1, se trata de una estación urbana, donde el efecto de la isla de calor urbana nocturna es intenso. Curiosamente el observatorio que registra el promedio de las temperaturas mínimas más altas en Girona (el situado en la calle Sèquia) no registra los valores térmicos más altos durante las olas de frío, probablemente se encuentra en un sector urbano más afectado que otros por las episodios fríos. El parque de las Deveses de Salt es el observatorio que registra las mínimas más bajas, con un promedio de -9,4°C para el percentil 2, el rigor de los episodios fríos se ve incrementado por la importancia de las inversiones térmicas en esta arboleda situada al lado del río Ter.

		Intercepción eje X	R <sup>2</sup>	P	Recta de regresión
Ola de calor	Máximas	37,76	<b>0,2347</b>	0,0580	p98= 37,7603 - 0,000164507* dist juli garreta
Ola de calor	Mínimas	21,86	<b>0,1560</b>	0,0400	p98 =21,8586- 0,015396*verde
Ola de frío	Máximas	6,99	<b>0,2300</b>	0,0100	p2=6,9882 - 0,00935777*verde
Ola de frío	Mínimas	-3,95	<b>0,5754</b>	0,0000	p2= -3,95264 - 0,0388108*verde - 0,0000245102* distancia Juli Garreta

En negrita y cursiva p=0,01 En negrita p=0,05 p98=percentil 98 p2=percentil 2

CUADRO 7: Modelo con mejor correlación entre los usos del suelo y el percentil 98 de las olas de calor y el percentil 2 de las olas de frío.

El uso del suelo “verde” presenta la mejor correlación con las temperaturas de los episodios extremos, si exceptuamos las máximas de las olas de calor (ver cuadro 7). En este caso la variable más importantes es la distancia a la calle Juli Garreta que presenta una correlación de -0,48 con las temperaturas. Así a mayor distancia al centro de Girona (calle Juli Garreta) se produce un descenso de las temperaturas máximas de los días de intenso. En el caso de las mínimas de las olas de frío este factor juega un papel inverso, a más distancia del centro las temperaturas mínimas descienden. La superficie ocupada por edificios también es un factor urbano que incrementa las temperaturas, tanto las mínimas como las máximas. La distancia a los ríos no tiene una correlación significativa con las temperaturas, a pesar que los enclaves rurales próximos a cursos fluviales presentan las temperaturas

mínimas más bajas. Así los observatorios urbanos cercanos a ríos tienen temperaturas muy parecidas a enclaves más alejados de los ríos o torrentes.

		Intercepción Eje X	R <sup>2</sup>	P	Recta de regresión
Ola de calor	Máximas	38,58	<b>0,1600</b>	0,0207	p98= 38,5821- 0,0148169*altitud
Ola de calor	Mínimas	22,10	0,2059	0,0560	p98 = 22,0999 - 0,0136688*verde - 0,0000829036* distancia Juli Garreta
Ola de frío	Máximas	6,83	0,1000	0,0718	p2= 6,82839 - 0,0000631165* distancia Juli Garreta
Ola de frío	Mínimas	-3,22	<b>0,5732</b>	0,0000	p2=-3,22348- 0,0392933*verde

En negrita y cursiva p=0,01 En negrita p=0,05 p98=percentil 98 p2=percentil 2

CUADRO 8: 2º Modelo con mejor correlación entre los usos del suelo y el percentil 98 de las olas de calor y el percentil 2 de las olas de frío.

La altitud es una variable geográfica que es un buen predictor de las temperaturas máximas de las olas de calor respecto al uso “verde”, tiene una correlación de -0,41 con el percentil 98 (ver cuadro 8). La distancia al centro de Girona es una variable que influye en unas elevadas temperaturas mínimas durante los olas de calor y también incrementa las máximas en los episodios fríos. El uso del suelo “verde” presenta una correlación muy baja, -0,04, con las temperaturas máximas de las olas de calor. En cambio la correlación de -0,76 entre este tipo de suelo y las temperaturas mínimas. Podemos afirmar por tanto que un incremento teórico de la superficie verde en la ciudad de Girona tendría un efecto más importante en un descenso de las mínimas que en las máximas. No obstante es necesario que se aumenten las superficies verdes como una medida de planificación útil para mitigar la sensación de calor en la ciudad de Girona. Como se puede observar el uso del suelo “Verde” es el que presenta la correlación mejor con las temperaturas de los episodios extremos, esta correlación es positiva para las olas de calor y negativa para los episodios fríos.

#### 4. CONCLUSIONES

1. Los extremos térmicos en la ciudad de Girona y sus alrededores presentan una tendencia opuesta, mientras que los episodios cálidos presentan una evolución creciente, las olas de fríos tienden a disminuir tanto su intensidad como frecuencia.
2. Se observa una influencia clara de la isla de calor urbano en un aumento de las temperaturas mínimas alcanzadas en los centros urbanos de Girona y Salt durante los episodios térmicos extremos. Hay un moderado incremento del efecto de la isla de calor durante el invierno

respecto el verano, ya que las diferencias térmicas observadas entre la zona urbana y la rural son más importantes en lo que concierne a las olas de frío respecto a los episodios cálidos.

3. Las temperaturas máximas no están muy influidas por la isla de calor, no obstante se ha encontrado una correlación significativa entre las máximas de los episodios cálidos y la distancia al centro de Girona. Pero es importante destacar que los valores térmicos difieren muy poco en función de la tipología de observatorio (urbano, rural o suburbano). Se observa un cierto incremento de las máximas de los episodios cálidos veraniegos a sotavento de la ciudad.
4. El uso del suelo que presenta una mejor correlación con las temperaturas mínimas es el “verde” que tiene una correlación negativa respecto a los valores térmicos de los observatorios.

## REFERENCIAS

- Böhm, R. (1998). “Urban bias in temperature time series –a case study for the city of Vienna, Austria”. *Climatic Change*, 38, pp.113-128..
- Fernández García, F., Moreno Jiménez, A. (2004): “Confort climático y nivel de renta en la comunidad de Madrid: Un estudio exploratorio de su relación espacial”. En *Historia, clima y paisaje. Estudios Geográficos en memoria del profesor A. López Gómez*.
- Fernández García, F., Rasilla Álvarez, D. (2008): *Olas de calor e influencia urbana. Estudios Geográficos*, LXIX (265), 495-518.
- Golden, J.S., Hartz, D., Brazel, A., Lubert, G., Phelan, P. (2008): “A biometeorology study of climate and heat-related morbidity in Phoenix from 2001 to 2006”. *International Journal of Biometeorology*, 52, pp. 471-480.
- Moreno García, M.C. (1999): “*Climatología Urbana*”. Publicacions de la Universitat de Barcelona.
- Quereda Sala, A., Pérez Cuevas, A., Olcina Cantos, J., Rico Amorós, A., Montón Chiva, E. (2000). “Climatic warming in the Spanish Mediterranean: natural trend or urban effect”. *Climatic Change*. 46, pp. 473-483.
- Taulé Codinach, G. (2010): “El efecto urbano en las temperaturas de Girona”. *Clima, ciudad y ecosistemas. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. Serie A*, 7, 557-564.

