

LA ISLA DE CALOR URBANA EN SALAMANCA

ALONSO GARCÍA, M. S.*
LABAJO SALAZAR, J. L.**
FIDALGO MARTÍNEZ, M. R.***

RESUMEN: Se ha determinado la existencia de la isla de calor urbana (ICU) en una ciudad de tamaño medio, con un clima extremo y escasos focos de contaminación industrial. Se ha observado la influencia del calentamiento urbano en ciudades de estas características, alterando el ritmo biológico de la zona. Utilizando el método de selección de transectos se representará la evolución espacial de la ICU. Las temperaturas nocturnas más bajas se han observado en las afueras de la ciudad, en zonas verdes, próximas al río. Las medidas diurnas presentan, en promedio, valores negativos, y los valores mínimos se localizan en el interior urbano, donde los edificios, que dan sombra, evitan la radiación solar directa.

ABSTRACT: We have determined the existence of the urban heat island (UHI) in a medium-sized city, with an extreme climate and few important foci of industrial pollution. It was seen that urban heating can arise in cities of these characteristics, giving rise to a microclimate that may alter the biological rhythm of the zone. Using the transect selection method, we addressed the spatial evolution of the UHI. The lowest nocturnal temperatures were observed outside the city, mainly in green zones close to the river. The daytime mean temperatures revealed a negative UHI, the lowest temperatures being recorded in the urban zone, where the buildings, which afford shade, prevent the arrival of direct solar radiation.

PALABRAS CLAVE: Salamanca / isla de calor urbana / calentamiento urbano / transecto / inversión de la isla de calor urbana.

* E-mail: salgarci@terra.es.

** Dpto. Física General y de la Atmósfera. Facultad de Ciencias. Universidad de Salamanca. Pza. de la Merced, s/n. 37008. Salamanca. España. Fax. +34923294584. E-mail: jll45@ gugu.usal.es.

*** Dpto. Física General y de la Atmósfera. Facultad de Ciencias. Universidad de Salamanca. España. E-mail: mrf@gugu.usal.es.

1. INTRODUCCIÓN

La ciudad es, sin duda, un paisaje fabricado por la mano del hombre. La actividad del ser humano influye en aspectos tan diferentes como pueden ser el clima o la composición del aire, con consecuencias que llegan a afectar al bienestar social y que, por lo general, se están intentando atenuar.

La manifestación más evidente del impacto de la urbanización sobre el clima es la modificación del campo térmico superficial, de forma que se pueda diferenciar, claramente, la urbe de las zonas rurales circundantes, fenómeno que se conoce como “isla de calor urbana”. Este hecho se hace más patente cuanto mayor sea la ciudad, en concreto, comienza a tener importancia para ciudades de más de 100.000 habitantes [1]. Teniendo en cuenta que, según el censo de 1991, el 75,5% de la población española vive en zonas urbanas [2], podemos decir que la mayor parte de los españoles estamos sometidos a un cambio climático. La isla de calor urbana es un fenómeno que tiene lugar a micro escala, por lo que se debe considerar esta alteración del clima como un cambio climático local.

La realidad muestra que son muchos los factores que influyen en el aumento de la temperatura en zonas urbanas, pero, según todos los autores consultados, los principales son: la morfología urbana, la contaminación atmosférica y los factores meteorológicos.

1.1. MORFOLOGÍA URBANA

Las ciudades tienen unas características estructurales muy diferentes unas de otras, hasta el punto de poder decir que existen tantos microclimas urbanos como ciudades. La primera característica que debemos resaltar es la población de la ciudad. Oke, en 1973 formuló que la intensidad del fenómeno isla de calor urbano (I, diferencia entre la temperatura de la zona urbana y la de la zona rural) estaba íntimamente ligada a la población (P) de la ciudad, mediante $I = 3,06 \log P - 6,79$. Este hecho se hizo patente en ciudades como Tokyo, que tras haber sido destruida en la 2ª Guerra Mundial, fue reconstruida a pasos forzados y su temperatura fue aumentando a razón de $0,03^\circ\text{C}/\text{año}$ de 1946 a 1963 [3]. Esta fórmula indicaría la intensidad del fenómeno, en cada ciudad, de no ser por que cada una tiene una estructura propia.

El calentamiento urbano tiene lugar, como consecuencia de la absorción de la radiación solar que llega al suelo y a las fachadas. Cuando la radiación llega al “bosque” de edificios, las sucesivas reflexiones hacen que quede confinada entre sus límites mayor cantidad de energía que en un entorno no urbano (Figura 1). Además, los materiales que constituyen la superficie urbana, hacen que esta energía se absorba mejor y quede almacenada más tiempo. La falta de zonas verdes puede suponer un aumento, aún mayor, del calentamiento, ya que en estas zonas, parte de la radiación procedente del Sol se utiliza para realizar la fotosíntesis o para

evaporar agua a través de la transpiración (evapotranspiración), y no para ser emitida, posteriormente, como hace el asfalto.

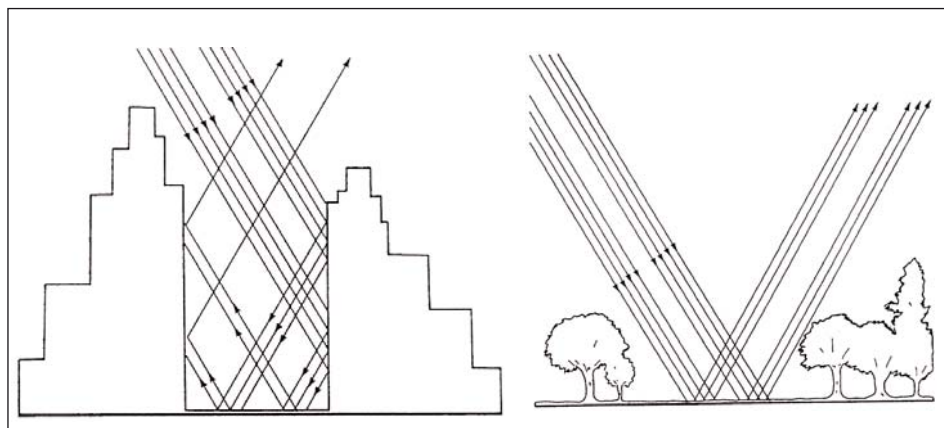


FIGURA 1.-Influencia de los edificios en el Albedo [4].

1.2. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

La isla de calor ha sido descrita por numerosos autores, como un “efecto invernadero local”. La boina de contaminación que hay sobre las grandes ciudades hace que llegue a éstas, de un 10 % a un 30 % menos de radiación solar. Por otro lado, la radiación de onda corta, que es capaz de llegar al suelo, es transformada en radiación de onda larga, por los materiales urbanos, radiación que es incapaz de atravesar la capa de contaminantes que cubre la ciudad, aumentando el calentamiento urbano. De los contaminantes típicos de las zonas urbanas, son las partículas en suspensión las que más radiación absorben. Algunas de estas partículas pueden ser arrastradas por el viento y absorber la radiación, no sólo de la ciudad, sino también de los alrededores, alterando el clima regional.

No obstante, la contaminación que más calentamiento provoca en las ciudades es de tipo físico. Esta contaminación se denomina “contaminación térmica”, y es provocada por la actividad industrial, los vehículos, las calefacciones y otras actividades urbanas que los convierten en productores de calor. Aunque estas fuentes de producción de calor antropogénico no parecen influir, en gran medida, a escala planetaria, sí se aprecia a escala local, contribuyendo al calentamiento urbano.

1.3. LOS FACTORES METEOROLÓGICOS

Por la propia definición de la intensidad de la isla de calor, se deduce que el elemento del clima que va a verse más afectado por la acción de la urbanización,

es la temperatura. Este aumento térmico no es más que un balance de radiación, entre la que llega directamente del Sol, y la que es emitida, en forma de onda larga, por los materiales urbanos. Por este motivo, es previsible que la nubosidad, la propia radiación solar y el viento sean parámetros meteorológicos que influyen en la isla de calor [5].

La nubosidad es el primer obstáculo que encuentra la radiación solar al aproximarse a tierra. En condiciones sinópticas anticiclónicas, la escasez de nubes hace que llegue más radiación al suelo, provocando un mayor calentamiento diurno. No obstante, en esta situación, también llega más radiación a la zona rural, que al estar libre de edificios, se opondrá, en menor cuantía, a la llegada de radiación. Esto provoca el efecto "inversión de la isla de calor", que consiste en el registro de una mayor temperatura diurna, en zonas rurales que en zonas urbanas.

El viento, por un lado es el mejor difusor de las partículas contaminantes, eliminando las altas concentraciones que originarían un aumento térmico. Por otro lado, también difunde el calor antropogénico que constituye la contaminación física, por lo que podemos deducir una correlación negativa entre la velocidad del viento y la intensidad de la isla de calor. Esto fue modelizado por Oke en 1976, quien relacionó la velocidad máxima del viento, a partir de la cual la intensidad de la isla de calor desaparece, con la población de la ciudad (P), según $V_{\text{máx}} = 3,4 \text{ Log } P - 11,6$ (m/s) [3]. La estructura del campo de viento en el entorno urbano se observa en la figura 2.

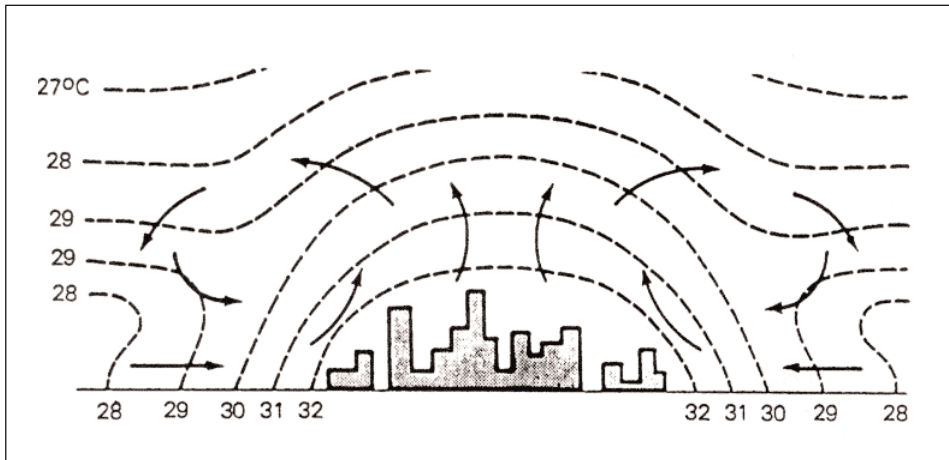


FIGURA 2.—Régimen de vientos locales en torno a la isla de calor [4].

La precipitación es un parámetro consecuencia directa de la situación de inestabilidad atmosférica, con lo que la presencia de nubosidad y viento, indican una correlación inversa con la isla de calor. No obstante, la relación entre la isla de calor

y la precipitación es compleja, ya que, al ser impermeables los materiales que forman la ciudad, es posible que el exceso de calor urbano sea utilizado para absorber el agua caída, y el calentamiento disminuya. Este efecto puede darse en el caso de precipitaciones intensas, es decir, cuando cae mucha agua en poco tiempo, despejándose, a continuación, la atmósfera. Un ejemplo puede ser una tormenta [5].

En ocasiones, el fenómeno del calentamiento urbano puede modificar el clima local, e incluso el regional, provocando una disminución en el número de días de heladas y aumentando el límite de las nieves. Esto tiene una repercusión socioeconómica importante, ya que la isla de calor puede llegar a disminuir el período frío del invierno en las ciudades, llegando antes la primavera, de forma que florecen los parques antes que las zonas rurales próximas. Por el contrario, el otoño se retrasa. Una isla de calor en una gran ciudad puede ser tan influyente que hace disminuir el uso de calefacción en invierno y aumentar el del aire acondicionado en verano.

El estudio que se va a presentar en este artículo es el primero de este tipo realizado para la ciudad de Salamanca. Al partir de cero, lo primero que debemos conocer son las características morfológicas de la propia ciudad, para, a continuación, seleccionar la metodología de trabajo más apropiada.

2. MORFOLOGÍA URBANA DE SALAMANCA

Salamanca es una ciudad media del suroeste de Castilla y León. La característica morfológica más interesante es su situación respecto al río Tormes, afluente del Duero. La presencia del río que atraviesa la ciudad de este a oeste, va a ser determinante en sus características térmicas.

La margen izquierda del río, cuenta con una serie de barrios residenciales. Además tiene numerosas zonas verdes en las orillas del río. Es una zona de la ciudad con una densidad de edificios no muy elevada y se localizan varias zonas deportivas. También destaca la presencia de un polígono industrial. Las zonas residenciales están separadas en urbanizaciones que incluyen bastante zona verde, con lo que esta zona se podría considerar como rur-urbana (situación intermedia entre rural y urbana). Como vías principales de comunicaciones, destacan la carretera N-630 que se dirige al sur de la Península y la N-501 que enlaza con Madrid.

Respecto al número de habitantes, los datos estadísticos de población distribuida por barrios, facilitada por el Área de Bienestar Social (Ayuntamiento de Salamanca) [6], a fecha de 15 de junio de 1998 aseguran que la zona cuenta con 11.089 habitantes. Utilizando las Fichas de Diagnóstico de Salud n^{os} 16-20 del Excmo. Ayuntamiento de Salamanca, dedicadas a la caracterización demográfica de las zonas de salud de la ciudad elaboradas en 1993 [7], podemos deducir más información acerca de la población. Según el padrón municipal de 1-1-1993 se estima que la población residente (presentes y ausentes habituales) es de 10.246 habitantes, la población transeúnte (residentes temporales o accidentales) es de 581 habitantes,

contando la zona con unos 10.827 habitantes. Se comprueba así el crecimiento que está sufriendo la zona. Se trata de suelo urbanizable, en el que están creciendo las urbanizaciones.

Posiblemente lo que más interesa para los fines de este estudio es la población “activa” de la ciudad, es decir, habitantes entre los 18 y los 65 años, debido a que es la edad de trabajar y, probablemente, de mayor uso del automóvil privado. La población activa de esta zona sur de la ciudad es del 69,9% [8].

En la margen derecha del río, empezando la descripción desde el propio río hacia el norte tenemos:

- El corazón urbano, que es el casco antiguo de la ciudad. Está delimitado por tres grandes avenidas (Pº de Canalejas, Avda. de Mirat y Pº de Carmelitas) y por el río Tormes. El punto central del casco viejo es la Plaza Mayor. La parte más al sur de esta zona está compuesta por calles estrechas y casas de poca altura. Es donde se encuentra la zona más monumental de la ciudad (la Catedral, Universidad, etc.). Dentro del corazón urbano también incluimos la Gran Vía, calle ancha de gran tráfico con edificios altos, de manera que hay gran aglomeración de edificios en los alrededores. Esta parte de la ciudad cuenta con centros de enseñanza, locales de ocio, y los principales centros de la administración y de los servicios públicos. Todo esto hace que los habitantes se desplacen al centro desde los barrios residenciales con lo que se convierte en zona de gran tránsito.

De acuerdo con los estudios demográficos y la división en zonas de salud [7], en la denominada Centro-Universidad-Sancti Spiritus existe una población residente de 25.584 habitantes, mientras que la transeúnte es de 5.947 habitantes, con lo que la población total en esa zona es de 31.531 habitantes. La población activa comprende el 66,7% de la población de la zona, contando con un 20 % de población transeúnte, consecuencia del carácter universitario de la ciudad.

- Barrios residenciales. Al otro lado de la frontera que delimita el casco antiguo y más al norte nos encontramos con una serie de barrios residenciales, con gran acumulación de edificios y escasas zonas verdes. Cuenta con amplias calles como son C/. Mª Auxiliadora, Avda. de Federico Anaya, Pº. de Torres Villarroel, Avda. de Portugal. En el límite entre el centro antiguo y la zona norte, en el cruce de la Gran Vía y la Avda. de Mirat, encontramos el Parque de la Alamedilla que es la zona verde más extensa con que cuenta el centro de la ciudad. A pesar de eso también es un punto negro en el que se dan niveles más altos de contaminación debido a la gran densidad del tráfico que circula por sus proximidades. La población residente total de la zona es de 62.275 habitantes, con 7.876 transeúntes, dando una población total de 70.151 habitantes.
- Al este, encontramos zonas residenciales, zonas verdes y zonas industriales, que limitan con la zona norte por la estación del ferrocarril y con el centro por el Pº de Canalejas. Destaca la presencia de una gran zona verde (Parque de los Jesuitas) próxima a una zona industrial. Recordemos que

la estación de medida E2, con cuyos datos se ha trabajado en los apartados anteriores de este trabajo, está situada en las cercanías de la entrada al Parque de los Jesuitas. Por otro lado, la zona este de la ciudad también cuenta con explotaciones agrícolas en una zona de huertas en la vega del río. Como vía más transitada destaca el Pº del Rollo. Esta zona cuenta con una población total de 25.799 habitantes, estando la población activa próxima al 60%.

- Al oeste del casco antiguo, además de barrios residenciales, encontramos zonas que incluyen áreas de salud y un Campus Universitario, lo que implica un importante tránsito de vehículos. Las principales vías son: Avda. de Italia, Pº de San Vicente, Avda. de Portugal, Pº de Carmelitas, Pº. de Torres Villarroel y Ctra. de Ledesma. Debemos advertir la presencia de otros puntos que destacan por su gran densidad de tráfico, como el cruce de la Avda. de Portugal y el Pº de Torres Villarroel, lugar donde se encuentra la estación de medida E1, a la que se hace mención en otros apartados de este trabajo, y la Pza. del Ejército también conocida como Puerta de Zamora. La población aproximada de la zona es de 41.408 habitantes, con una población activa del 62%.

En general, de Salamanca podemos decir que cuenta con una población próxima a los 190.000 habitantes, considerando tanto residentes como transeúntes y eliminando barrios como Tejares y urbanizaciones localizadas fuera de los límites urbanos. La población no se distribuye de forma homogénea, siendo la zona sur la menos poblada (11.089 habitantes), y la norte la de mayor población (62.275 habitantes). Respecto a la edificación, Salamanca también tiene una distribución heterogénea, destacando la zona centro por su aglomeración de edificios. También es verdad, que los edificios del centro son, generalmente, más bajos que los de la periferia y que en el centro se encuentran bastantes vías peatonales. Las zonas verdes más notables se encuentran: en el Parque de la Alamedilla, Parque de los Jesuitas, Parque de San Francisco, zona próxima a los hospitales y márgenes del río.

El río Tormes actúa como un regulador térmico, y nos va a permitir estudiar la influencia del agua en la isla de calor. Otro carácter importante de la ciudad es la diferencia de altitud. Se debe tener en cuenta que ésta va disminuyendo a medida que nos acercamos al río. Esta variación de altitud, es una característica más de la morfología, que va a influir en el comportamiento de la temperatura.

En lo que se refiere a actividades económicas hay que decir que, en el casco urbano aparecen todo tipo de industrias pequeñas y actividades comerciales, así como edificios de servicios. Las industrias más importantes se localizan en áreas específicas fuera de los límites del núcleo urbano. Debido a la escasa industrialización con que cuenta Salamanca, su contaminación térmica tendrá como fuente principal el calor antropogénico, destacando las calefacciones y el tráfico [9].

La densidad de tráfico de vehículos privados es un dato de difícil acceso, de hecho no hemos podido disponer de datos sobre las zonas de máxima circulación, por lo que hemos tenido que recurrir a datos de densidad de tráfico de vehículos

de transporte público (autobuses urbanos). Estudiando los recorridos y las líneas de autobús con que cuenta la ciudad podremos hacernos a la idea de cuáles son las zonas de más movimiento. Considerando que el autobús une las zonas más visitadas por la población (seguramente también ocurrirá con el vehículo privado), podremos definir a “grosso modo” las vías de mayor tráfico.

3. METODOLOGÍA DE MEDIDA

Para la localización espacial de la isla de calor se ha optado por utilizar el método de selección de transectos de medida. Dicha técnica consiste en el trazado de unos itinerarios que contengan lugares con diferentes características, con el fin de medir la temperatura en diferentes puntos y sacar conclusiones. Se pretende ver la influencia del uso del suelo, así como la del calentamiento antropogénico en la isla de calor urbana de Salamanca. Esta metodología ha sido aplicada en numerosas ciudades en todo el mundo [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19].

Para la selección de los transectos nos basamos en las características morfológicas de la ciudad citadas anteriormente. Es evidente que, de acuerdo con estas características, para que se pueda apreciar bien el contraste térmico, hay que comparar los barrios del norte con el centro, así como cruzar el río para ver la influencia del agua y de las zonas verdes que lo rodean. Se debe pasar por puntos clave como son: el Parque de La Alamedilla, la Pta. de Zamora, cruce del Avda. de Torres Villarroel con Avda. de Portugal y desde luego los puentes que permiten atravesar el Tormes. Además, los transectos deben comenzar en las afueras de la ciudad, para que el contraste sea aún mayor.

Ahora se nos plantea otro problema, ¿por qué calles debemos trazar el recorrido de medida? En primer lugar, usando una vista aérea elegimos las mayores avenidas. Por otra parte, si queremos ver la influencia de la contaminación térmica, deberemos tener en cuenta los recorridos de los autobuses urbanos y del tráfico privado, eligiendo aquellas calles por las que pasen más líneas. Es un sistema muy adecuado, ante la falta de otros datos de tráfico.

Al mismo tiempo que elegimos los transectos, seleccionamos también los puntos en los que se realizan las medidas. Consideramos que los puntos de toma de datos no deben estar separados más de 400 m, en general, los transectos van a ser de unos 3.600 m, con diez puntos de medida cada uno. El que los recorridos no sean más largos permite aceptar una cierta simultaneidad en la medida.

Descripción de los transectos:

TRANSECTO N° 1

Se trata de un recorrido que atraviesa la ciudad de nordeste a sur. La primera medida (punto 1) se realiza en un barrio poco urbanizado de la orilla sur del río Tormes, que puede representar lo que denominamos alrededores rurales (zona

zur-urbana). El punto 2 corresponde a la entrada del puente Enrique Estevan, zona de tráfico conflictivo sobre todo en horas punta. Cruzado el puente se llega a la Avda. de los Reyes de España donde se hace la tercera medida (punto 3), se trata de una zona despejada en la que hay un centro de enseñanza con zonas deportivas que dan al río. El punto 4 está en zona monumental, a las puertas del convento de San Esteban. Estamos ya en el casco urbano propiamente dicho. En torno a la mitad de la Gran Vía tiene lugar la quinta medida (punto 5) del transecto nº 1. Siguiendo la Gran Vía llegamos a lo que habíamos descrito como un punto conflictivo, el Parque de la Alamedilla, aquí está el punto 6. Esta zona puede generar algunos problemas a la hora de medir ya que puede dar resultados típicos de casco urbano (por la contaminación térmica) o resultados típicos de zona rural (por la zona verde que representa el parque), lo cual añade un aliciente más a la elección de este punto. A partir de aquí nos vamos alejando de la zona centro, dirigiéndonos al norte por la calle de M^a Auxiliadora y la Avda. de Federico Anaya. El punto 7 se encuentra en el cruce de la C/ M^a Auxiliadora y la Avda. de Portugal. El 8 también se encuentra en el cruce de dos avenidas, Avda. de Federico Anaya y la de Doña Urraca. Los puntos 9 y 10 son prácticamente rur-urbanos, el 9 está en zona verde de La Chinchibarra y el 10 a las afueras de la ciudad junto a otro gran parque, el de Würzburg.

TRANSECTO Nº 2

Atravesamos la ciudad de norte a suroeste. El punto 1 se encuentra a las puertas de un gran centro comercial muy transitado, aún con baja densidad de edificación que va en aumento. A lo largo de una avenida con grandes espacios abiertos llegamos al punto 2, situado entre el Cuartel de Ingenieros y la Plaza de Toros, con abundante zona verde. El siguiente punto de medida se encuentra en las proximidades del segundo punto negro de la ciudad, cruce del P^o. de Torres Villarroel y la Avda. de Portugal (en este punto se encuentra la estación E1). El punto 4 está en la Pta. de Zamora. A lo largo del P^o de Carmelitas, avenida relativamente ancha, de edificios altos y con zonas verdes, a modo de bulevar, situamos los puntos 5 y 6. El punto 7 se encuentra en la zona hospitalaria. Al avanzar disminuye levemente la altitud y nos encontramos con zona verde abundante y después el río. El punto 8 se encuentra en el puente Sánchez Fabrés. El 9 en la zona verde de la ribera del río y el 10 en el barrio de Chamberí, ya en la margen izquierda. Estos dos últimos puntos pueden considerarse entorno rur-urbano.

TRANSECTO Nº 3

En esta ocasión el recorrido es a lo largo de noreste-noroeste. El punto 1 lo situamos en el comienzo de la carretera de Ledesma, en zona rural. Adentrándonos en la ciudad por un barrio residencial muy poblado llegamos al punto 2 del transecto nº 3. El punto 3 de medida se encuentra en el cruce de la Avda. de Salamanca y la Avda. de Italia. El 4 está en la Avda. de Italia, que es una vía no

demasiado ancha pero de edificios altos. La Puerta de Zamora también es un punto singular por ser el cruce de tres avenidas importantes, y que da paso al centro urbano. Allí situamos el punto 5. El punto 6 vuelve a estar en las proximidades del Parque de la Alamedilla. Los puntos 7, 8 y 9 están en una gran avenida, Pº del Rollo, que conecta barrios residenciales colindantes, por lo que es una zona muy transitada. Por último, el punto número 9 está en las afueras de la ciudad con zona verde abundante.

El principal objetivo que se pretende, una vez definidos los transectos, es localizar el núcleo de la isla de calor de Salamanca, para lo cual es necesario medir la temperatura en los puntos seleccionados. El recorrido a lo largo de los transectos para tomar los datos se realiza en automóvil con el fin de minimizar el tiempo de medida y que los datos sean lo más homogéneos posibles.

A la hora de realizar las medidas, a fin de que los resultados sean lo más exactos posibles, se han seguido una serie de normas:

- Medir fuera del automóvil y apartados de la calzada.
- No medir nunca desde el interior del automóvil y a través la ventanilla para evitar recibir el calor del resto de los vehículos.
- Realizar la medida evitando la influencia de los edificios para no recoger el calor que desprenden.
- Proteger el termómetro del viento en caso de velocidad apreciable.
- Proteger el termómetro de la radiación directa del sol en las medidas diurnas.

Para realizar la medida de temperatura en los diferentes puntos de los transectos, se ha utilizado un termómetro digital con sonda especial para medidas ambientales, cuyas características son:

- Sensor Pt 100.
- Unidades de medida °C.
- Rango de -100°C a + 800°C.
- Resolución 0,1°C.

Hay que destacar la sensibilidad de este instrumento, que proporciona valores de temperatura con la misma resolución que los obtenidos con termómetros de mercurio en el observatorio de Matacán.

Para realizar el estudio de evaluación de la distribución térmica de la ciudad de Salamanca se va a realizar en dos apartados: por un lado el método de trabajo se aplicará a los transectos definidos, para, a continuación, hacer un estudio concreto de la zona centro de la ciudad, debido que la distribución morfológica de esta zona presenta una mayor densidad de edificación.

4. DISTRIBUCIÓN TÉRMICA SUPERFICIAL DE SALAMANCA

Se han realizado medidas a lo largo de todos y cada uno de los transectos durante una serie de días de características meteorológicas diferentes. El número de días de medida lo hemos limitado en función de las necesidades de agrupación, y de

acuerdo con la literatura existe sobre el tema. En todo caso las observaciones realizadas nos van a permitir disponer de información suficiente para sacar conclusiones en cada una de las situaciones consideradas. Las horas de medida a las que haremos referencia a lo largo del texto son horas oficiales (hora TU+1 hora o hora TU+2 horas, según la época del año).

La localización espacial del núcleo de la isla se puede definir con mapas de isotermas. Estos mapas se construyen a partir de los datos isocronos de temperatura en cada punto de los transectos seleccionados. Hay dos formas de representar los mapas de isotermas: Imagen de la isla con isotermas reales (representando directamente los datos obtenidos en las medidas) o representando la medida referenciada al valor mínimo del transecto (valor de la diferencia de la temperatura de cada punto y el mínimo del transecto). A estos valores los vamos a denominar *intensidad relativa* de la isla de calor (I_r). En ambos casos hay que medir todos los transectos seguidos haciendo que los datos sean lo más homogéneos posibles. Por ello se han elegido transectos que se cortan, de manera que, si en los puntos de corte la diferencia entre la temperatura tomada, a diferente hora, no pasa de $0,5^\circ\text{C}$, los datos obtenidos en los transectos se suponen homogéneos.

Una vez realizadas las medidas de temperatura, en diferentes días a lo largo de los tres transectos, calculamos las *intensidades relativas* de la isla (I_r). Sólo se realizan medidas nocturnas, ya que no se quiere introducir aquí la inversión de la isla, debido a calentamientos extremos por radiación solar. Una vez obtenidos los valores de I_r a lo largo de los tres transectos, se calculan sus valores medios y extremos. Con ellos vamos a definir un perfil medio de I_r en cada transecto, para situaciones de tiempo estable.

Para el transecto n° 1, en la Tabla 1, los máximos absolutos de las tres series de valores se encuentran en la zona centro, mientras que los mínimos absolutos están en las afueras. Cabe destacar la presencia de un mínimo relativo en el punto 6 de las series de valores máximos de intensidades relativas, como efecto del gran porcentaje de zona verde en su entorno. Aparentemente, I_r mínima es la serie que mejor representa la diferencia entre entorno rural y urbano.

TABLA 1.—*Intensidades relativas medias y extremas ($^\circ\text{C}$) del transecto n° 1.*

PUNTO	I_r MÁXIMA	I_r MÍNIMA
1	1,3	,0
2	2,1	,2
3	3,1	,2
4	2,7	,4
5	3,1	1,2
6	2,2	1,0
7	3,3	,7
8	1,9	,4
9	1,1	,2
10	,3	,0

TABLA 2.—*Intensidades relativas medias y extremas (°C) del transecto n° 2.*

PUNTO	I _R MÁXIMA	I _R MÍNIMA
1	4,7	,5
2	5,0	,3
3	5,7	1,1
4	6,7	1,1
5	6,6	1,4
6	5,9	1,3
7	3,8	,8
8	1,7	,3
9	1,1	,3
10	,0	,0

En la tabla 2 observamos que los valores medios del transecto n° 2 son superiores a los del transecto n° 1. Los máximos y los mínimos más elevados se siguen registrando en las zonas céntricas de la ciudad.

Tabla 3.—*Intensidades relativas medias y extremas (°C) del transecto n° 3*

PUNTO	I _R MÁXIMA	I _R MÍNIMA
1	,3	,0
2	1,4	,6
3	1,6	,7
4	1,8	1,2
5	3,2	1,6
6	2,3	1,7
7	2,2	,9
8	2,2	,7
9	2,0	,2
10	1,0	,0

Para el transecto n° 3, en la Tabla 3, observamos que las intensidades relativas extremas llegan a alcanzar los 3,0°C. Al igual que en los otros transectos la estructura térmica nos muestra sus valores máximos en el interior del casco urbano, disminuyendo, paulatinamente, a medida que nos acercamos a las afueras de la ciudad, lo que podría aproximarse al entorno rural. Como indican los valores, los puntos números 1 y 10 de los transectos n° 1 y n° 3, y el punto 10 del transecto n° 2, son puntos rurales, al presentar una intensidad relativa media, o extrema nula.

Además de los valores extremos de la intensidad relativa de la isla de calor, calculamos la intensidad relativa media de cada punto, de cada transecto. Estos valores nos permitirán representar mediante un diagrama de isolíneas la estructura del campo térmico medio de la ciudad de Salamanca. En la Figura 3 se representa la intensidad relativa media. En el mapa podemos observar los tres transectos de medida, así como la localización de los 10 puntos de que dispone cada transecto. Se

indica mediante flechas, situadas en los puntos de medida, el sentido del transecto. Las isolíneas se representarán cada 0,5°C.

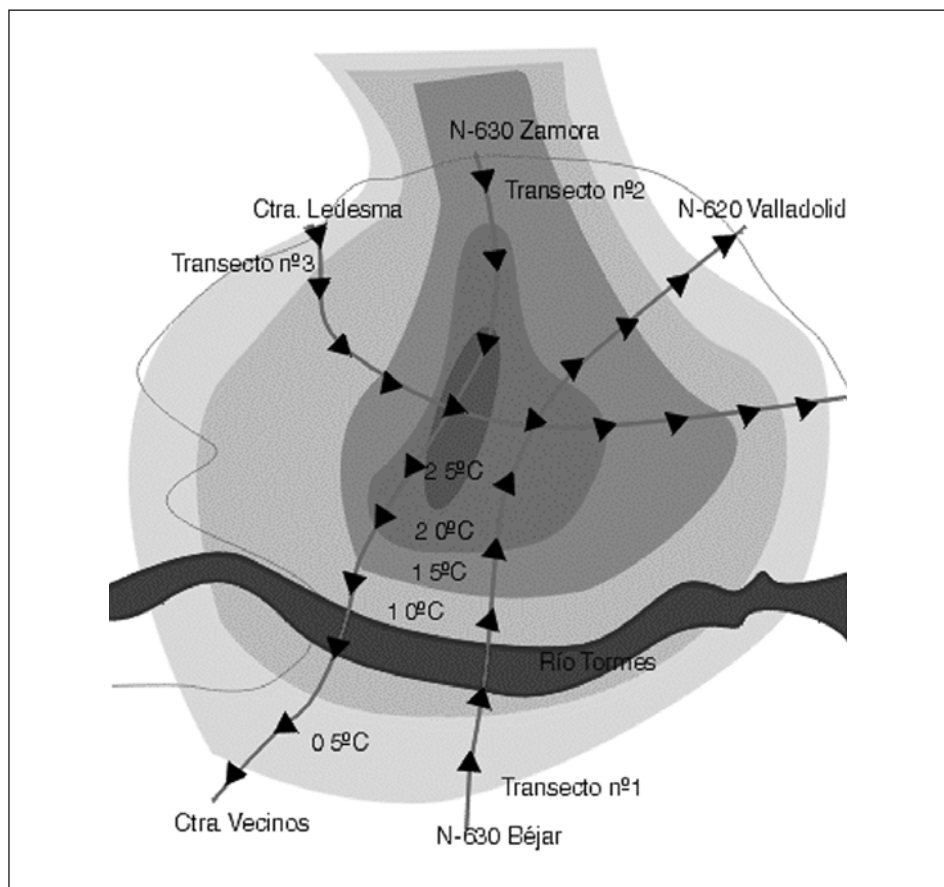


FIGURA 3.—Mapa de isolíneas de intensidad relativa media de la isla de calor urbana de Salamanca.

Con la representación de la intensidad relativa media de la isla de calor, nos podemos hacer una idea de la distribución del campo térmico superficial. El máximo calentamiento se localiza en el interior, coincidiendo con la zona de cruce de los transectos nº 2 y nº 3. Esto se debe a que es una zona de alta densidad de edificación, además de tener un gran tránsito de vehículos. La temperatura urbana va disminuyendo hacia el exterior de la ciudad, y lo hace, de forma más brusca hacia

el E, debido a que la densidad de edificación es alta, y el porcentaje de espacios abiertos es menor, así como la anchura de las calles, es menor. Hay que destacar también la extensión del campo térmico hacia el N. Este efecto se debe a que es una zona muy transitada, con un rápido crecimiento de edificación. Hacia el S el efecto del río se deja notar haciendo que la distancia entre isolíneas aumente.

5. DISTRIBUCIÓN TÉRMICA DE LA ZONA CENTRO

Las calles principales de la zona centro de la ciudad son peatonales, con lo que las medidas se han realizado a pie. Al ser recorridos más cortos no hay problema a la hora de minimizar el tiempo de medida para que la serie de datos sea lo más homogénea posible. Tenemos que destacar dos tipos de zonas: el casco urbano modernizado, en el que se encuentra una gran aglomeración de edificios altos en calles relativamente anchas. Y el casco antiguo, con casas más bajas aunque no unifamiliares, calles estrechas y zona monumental. El casco antiguo propiamente dicho se encuentra en las proximidades del río, antes de la bajada de altitud que se ha citado.

El estudio se realizará a través de dos transectos de medida:

Transecto A: 1. Alamedilla, 2. C/. Toro, 3. Pza. Liceo, 4. Entrada Pza. Mayor, 5. Centro Pza. Mayor, 6. Salida Pza. Mayor, 7. Corrillo, 8. C/ Rúa Mayor, 9. Clerecía y 10. C/. Libreros.

Transecto B: 1. Pta. de Zamora, 2. C/. Zamora, 3. Entrada Pza. Mayor, 4. Centro Pza. Mayor, 5. Salida Pza. Mayor, 6. Corrillo, 7. C/ Rúa Mayor, 8. Rúa media, 9. Rúa Antigua y 10. Catedral.

Se han representado en la misma gráfica las medidas diurnas y las nocturnas para diferentes días. Las medidas nocturnas se representan a trazos, mientras que la continua nos señala el perfil térmico de la medida diurna. En la morfología del centro debemos destacar la presencia de un mayor número de plazas.

Los rangos entre los que se mueve la temperatura del transecto A del casco viejo son: 2,1°C el 6-4-99, 1,6°C el 13-4-99 y de 1,7°C el 13-5-99 para las medidas nocturnas. Para la medida diurna del 19-4-99 el rango es de 1,4°C. La intensidad de la isla de calor diurna sigue siendo inferior a la nocturna.

En las horas nocturnas la C/. Toro presenta bastante uniformidad respecto a la temperatura, aunque sí se puede apreciar un aumento respecto a los puntos 1 y 3, que están en espacios más abiertos. Esto se invierte en las medidas diurnas, ya que de día, como se ha dicho anteriormente, las zonas más abiertas sufren un calentamiento más rápido. Una excepción es el punto 5, localizado aproximadamente en el centro de la Plaza Mayor, donde la temperatura sube tanto de día como de noche, aunque la subida diurna es mayor.

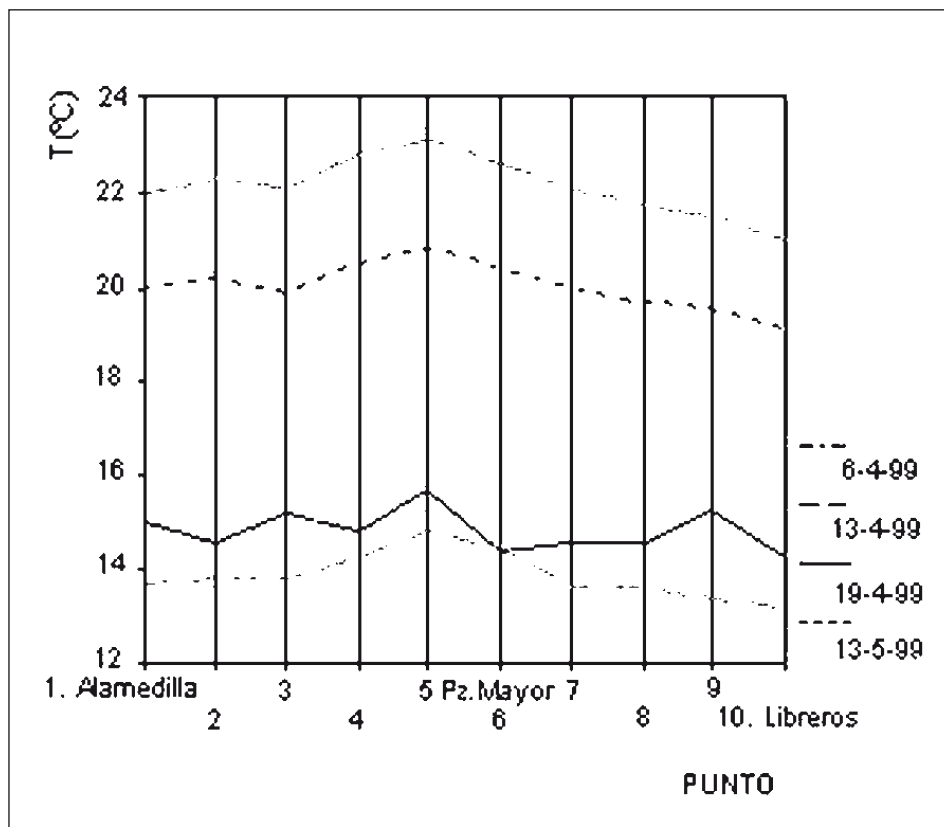


FIGURA 4.—Perfiles térmicos del transecto A de la zona centro.

A lo largo de la calle de la Rúa, la temperatura va bajando de forma constante, tanto de día como de noche. Al llegar a la Clercía la diferencia entre temperaturas diurnas y nocturnas vuelve a aparecer, debido a que también es un espacio abierto. La calle Libreros es estrecha, por lo que las temperaturas serán bajas de día y de noche.

Al igual que para el transecto A, en la figura 5 se representan los perfiles térmicos establecidos en el transecto B. Las líneas de trazos representan distintos días de medidas nocturnas y la continua, un día de medida diurna. Las intensidades máximas a lo largo del transecto B a horas nocturnas son: 2,0°C el 2-3-99, 1,8°C el 5-3-99 y 2,0°C el 13-5-99. La medida diurna presenta un rango térmico de 1,1°C, de manera que se vuelve a verificar el hecho de que de día no sólo cambia y se invierte la isla de calor, sino que también las intensidades máximas que se encuentran son inferiores a las de las medidas nocturnas.

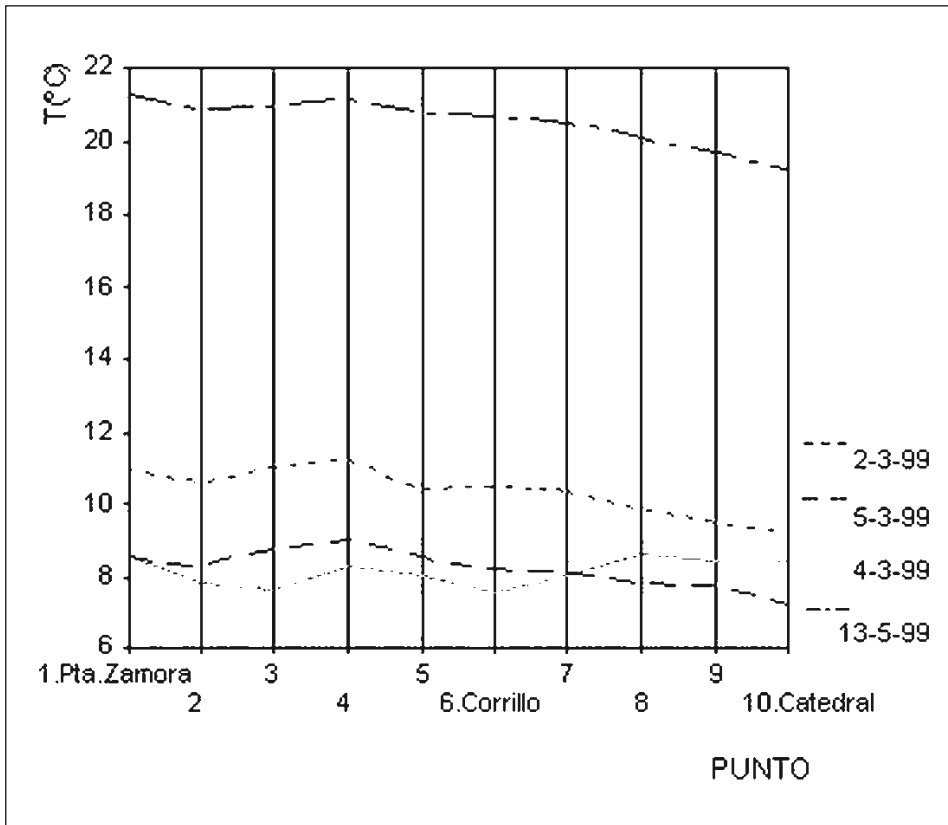


FIGURA 5.—Perfiles térmicos del transecto B del centro urbano.

En este transecto vamos a contar con espacios abiertos en: Pta. de Zamora, centro de la Pza. Mayor (4) y la Pza. de Anaya (10). Estos van a ser los puntos en los que las medidas diurnas presenten los máximos valores. En el caso de la Plaza Mayor, al igual que sucedía en el transecto A, las medidas diurnas y las nocturnas alcanzan valores máximos. Otro punto a destacar en este transecto es el 8, emplazado junto a La Clerecía. Este punto, es un punto frío por la noche, pero por el día se trata de una plaza por lo que la temperatura aumenta. En la Plaza de Anaya se alcanzan, de noche, los mínimos del casco viejo por ser un espacio abierto, y de día se mantiene por tener zonas verdes.

6. CONCLUSIONES

Del trabajo realizado se deducen las siguientes conclusiones:

Se ha probado la existencia de la isla de calor urbana en la ciudad de Salamanca.

Al estudiar la distribución del campo térmico superficial, mediante las medidas (diurnas y nocturnas) de la temperatura a lo largo de los transectos elegidos se deduce lo siguiente:

- La intensidad de la isla diurna presenta inversiones, de manera que los valores más altos de temperatura se localizan en los puntos de menor densidad de edificios y la temperatura diurna más baja se da en aquellas zonas en las que los edificios hacen sombra. Estas diferencias térmicas se detectan claramente en la zona centro de la ciudad, que cuenta con plazas, lugares despejados de edificios que se calientan rápidamente y con calles estrechas, donde la menor incidencia de la radiación solar hace que el calentamiento sea más lento. Se observa que la intensidad de la isla de calor diurna es inferior a la medida a horas nocturnas, detectándose una diferencia de 1,4°C entre el centro de la Plaza Mayor y la calle Libreros en el transecto A, y de 1,1°C entre la Plaza de Anaya y la Plaza del Corrillo en el transecto B.
- En la isla de calor nocturna la intensidad relativa alcanza sus valores más altos en la zona centro de la ciudad, en aquellos puntos en los que las características morfológicas indican alta densidad de edificación, y presentan, además, gran densidad de tráfico. En el transecto nº 1 el punto de máxima intensidad relativa de isla se localiza en el centro de la Gran Vía, 3,3°C. En el transecto nº 2 la intensidad de la isla nocturna es superior a la del transecto nº 1, alcanzando los 6,7°C en la Puerta de Zamora. El transecto nº 3 es el que presenta unas características morfológicas más similares entre sus puntos, llegando a los 3,2°C de intensidad relativa de isla de calor también en La Puerta de Zamora.
- Los puntos en los que se sitúa el cero de intensidad relativa de la isla de calor, calificados como puntos rurales, se localizan siempre a las afueras de la ciudad. El transecto nº 1 tiene en sus dos extremos los puntos rurales, aunque el de valor medio más bajo corresponde a la salida norte de la ciudad. Por el contrario, el transecto nº 2 siempre presenta su punto rural en el extremo sur del recorrido, zona verde próxima al río. El transecto nº 3, también tiene su punto rural claramente diferenciado, que se localiza en la Ctra. de Ledesma, zona despejada de edificios, que no presenta un perfil urbano.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. LÓPEZ GÓMEZ, A. *El Clima urbano de Madrid: la isla de calor*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), 1991.
- [2]. MARTÍN, J. y OLCINA, J. *Climas y tiempos de España*. Madrid: Alianza, 2001.
- [3]. LANDSBERG, H. E. *The Urban Climate*. Nueva York: H. E. Landsberg, 1981.
- [4]. GARCÍA, J. C. "Los microclimas urbanos y las ciudades Cántabras; Papel de los factores locales". *XX Jornadas de la Asociación Meteorológica Española (AME)*, 1989, San Sebastián, AME, págs. 55-77.
- [5]. ALONSO GARCÍA, M. S.; LABAJO SALAZAR, J. L. y FIDALGO MARTÍNEZ, M. R. "Estudio de la isla de calor urbana en Salamanca. Salamanca". *Resúmenes de Trabajos de Grado*, 1999, Salamanca, Universidad de Salamanca.
- [6]. ÁREA DE BIENESTAR SOCIAL. *Datos estadísticos de población por barrios*. Salamanca. Ayuntamiento de Salamanca, 1998.
- [7]. FRANCIA, J. M. "Caracterización demográfica de las zonas de salud de la ciudad de Salamanca". *Fichas de Diagnóstico de Salud*, 1993, Salamanca, Ayuntamiento de Salamanca.
- [8]. MALDONADO, J. "Estructura de la población: Distribución por edad y sexo". *Fichas de Diagnóstico de Salud*, 1992. Salamanca. Ayuntamiento de Salamanca.
- [9]. FIDALGO, M. R. "Relación de ciertos contaminantes de la atmósfera con la meteorología en Salamanca". *Series Resúmenes de Tesis Doctorales*, 1986, Salamanca, Universidad de Salamanca.
- [10]. ALMENDROS, M. A.. "La isla de calor en Madrid: notas sobre los barrios centrales". *Clima y Ambiente Urbano en Ciudades Ibéricas e Iberoamericanas*, 1998, Madrid, Parteluz, págs. 241-256.
- [11]. BELLO, V. *La isla de calor y los usos del suelo en Guadalajara*. Guadalajara: Universidad de Alcalá, Serie Geográfica 4, 83-97, 1998.
- [12]. GONZÁLEZ, C. P. y JIMÉNEZ, M. P. (1998). "La isla de calor de Mataró". *Clima y Ambiente Urbano en Ciudades Ibéricas e Iberoamericanas*, 1998, Madrid, Parteluz, págs. 293-305.
- [13]. LYONS, T. J; KENWORTHY, J. R. and NEWMAN, W. G. (1990). "Urban structure and air pollution". *Atmospheric Environment*, 24B (1), 1990. Atmospheric Environment, pp. 43-48.
- [14]. MELHUIISH, E. and PEDDER, M. "Observing an urban heat island by bicycle". *Weather* 53 (4), 1998. Weather, págs. 121-128.
- [15]. MIRAGAYA, A. y MARTÍN, A. "Distribución espacio-temporal de las temperaturas en A Coruña en condiciones de estabilidad atmosférica". *Clima y Ambiente Urbano en Ciudades Ibéricas e Iberoamericanas*, 1998, Madrid, Parteluz, pp. 219-229.
- [16]. MORENO, M. C. "Intensity and form of the urban heat island in Barcelona". *International Journal of Climatology*, 14, 1994, International Journal of Climatology, págs. 705-710.
- [17]. NAVAS, M. C. (1998). "Estudio preliminar de la isla de calor del Gran San Juan (Argentina)". *Clima y Ambiente Urbano en Ciudades Ibéricas e Iberoamericanas*, 1998, Madrid, Parteluz, págs. 167-173.
- [18]. SAITOH, T. S; SHIMADA, T. and HOSHI, H. "Modeling and simulation of the Tokyo urban heat island". *Atmospheric Environment*, 30 (20), 1996, Atmospheric Environment, págs. 3431-3442.
- [19]. SOLER, X. "Avance sobre la isla de calor en Girona". *Clima y Ambiente Urbano en Ciudades Ibéricas e Iberoamericanas*. 1998, Madrid, Parteluz, págs. 281-291.