

# *La isla de calor nocturna y los usos del suelo en Alcalá de Henares*

Vicente BELLO FUENTES  
Departamento de Geografía  
Universidad de Alcalá de Henares

## INTRODUCCIÓN

La ciudad de Alcalá de Henares queda emplazada a unos 30 km. al nordeste de Madrid y en la margen derecha del río Henares. Con una población de 164.100 habitantes <sup>1</sup>, éstos se dedican sobre todo a los servicios y a la industria, con el 59 por 100 y el 41 por 100 de la población activa respectivamente.

En los últimos treinta años la ciudad ha crecido de modo considerable, produciéndose su expansión, esencialmente, en dirección nordeste-suroeste; es decir, siguiendo la línea marcada por las vías de comunicación, que no es otra que la del propio Corredor del Henares. Su expansión hacia el norte y el sur ha sido mucho menor al contar con dos obstáculos de naturaleza distinta: hacia el sur, el río, donde parte de la huerta ha sido ocupada por los usos urbanos del suelo (García Ballesteros, 1977); una margen izquierda donde, por una topografía de acusadas pendientes que enlazan con el páramo, la ciudad no ha podido extenderse; hacia el norte, la línea del ferrocarril se convirtió en un obstáculo casi psicológico para la población. De este modo, podemos decir que entre el espacio practicado por el río y la línea del ferrocarril se

---

<sup>1</sup> Según rectificación del padrón municipal de habitantes del 1 de enero de 1994.

han extendido buena parte del caserío y de las industrias de la ciudad desde los años sesenta (Díaz Muñoz, 1990).

#### LA ISLA DE CALOR Y LOS USOS DEL SUELO: ANTECEDENTES

En el presente siglo la climatología urbana ha adquirido un notable desarrollo al compás del generalizado proceso de urbanización que se ha producido en nuestro planeta. El fenómeno de la «isla de calor» ha sido el más estudiado y resulta, por tanto, el mejor conocido en la actualidad; la modificación que el medio urbano ejerce sobre el clima regional, a una escala local, se traduce, en el caso de la isla de calor, en un aumento de la temperatura de las ciudades respecto a sus entornos rurales.

Los factores que determinan el fenómeno de la isla térmica urbana son variados y complejos, así como las interinfluencias que producen en la atmósfera de las ciudades (Parry, 1967; Pazera, 1976; Kraus, 1979; Landsberg, 1981; Oke, 1982). En este sentido, una parte de las investigaciones sobre este fenómeno se han dirigido al estudio de las relaciones existentes entre la isla de calor y algunas magnitudes de carácter urbano, como es el caso de los usos del suelo. Así pues, se ha establecido una relación causa-efecto entre los usos del suelo y la distribución espacial de la temperatura en las ciudades o la configuración espacial de sus islas de calor (Oucalt, 1972; Clarke y Peterson, 1972; Sampaio, 1981; Adebayo, 1987). En un paso siguiente, se trataría de evaluar la responsabilidad de los distintos usos del suelo en la génesis de tal isla térmica. Diferentes estudios se han centrado en la influencia que tienen en el fenómeno la densidad de edificación y el tipo de materiales utilizados en las construcciones (Shitara, 1957; Nishizawa, 1958; Takahashi, 1964; Asai y Ohta, 1974). Según tales estudios, las ciudades suelen mostrar un perfil térmico nocturno, obtenido a partir de un transecto térmico desde la periferia al centro urbano, que aproximadamente se corresponde con la densidad de edificación de los distintos sectores urbanos atravesados, así como el tamaño y compacidad de los edificios.

Por el contrario, las áreas verdes y parques urbanos significan un descenso de la temperatura en el sector urbano donde se localizan, y, por tanto, espacios donde el fenómeno estudiado queda atenuado en su intensidad (Tsuchiya, 1972; Wilmers, 1972; Terjung y O'Rourke, 1981; Bernatzky, 1982; Kawamura y Suzuki, 1983; Almendros, 1992).

También hemos de destacar los estudios que relacionan la isla de calor y los factores meteorológicos. Así, el fenómeno de la isla térmica parece intensificarse con tiempo estable y ciclos despejados (Chandler, 1965; Landsberg, 1981; López Gómez, 1985; López Gómez y otros, 1988), de modo que la nubosidad se convierte en un elemento perturbador del fenómeno, e igual influencia tiene el viento. Respecto a este último, parece que es uno de los elementos meteorológicos ante el cual la intensidad de la isla de calor más se debilita.

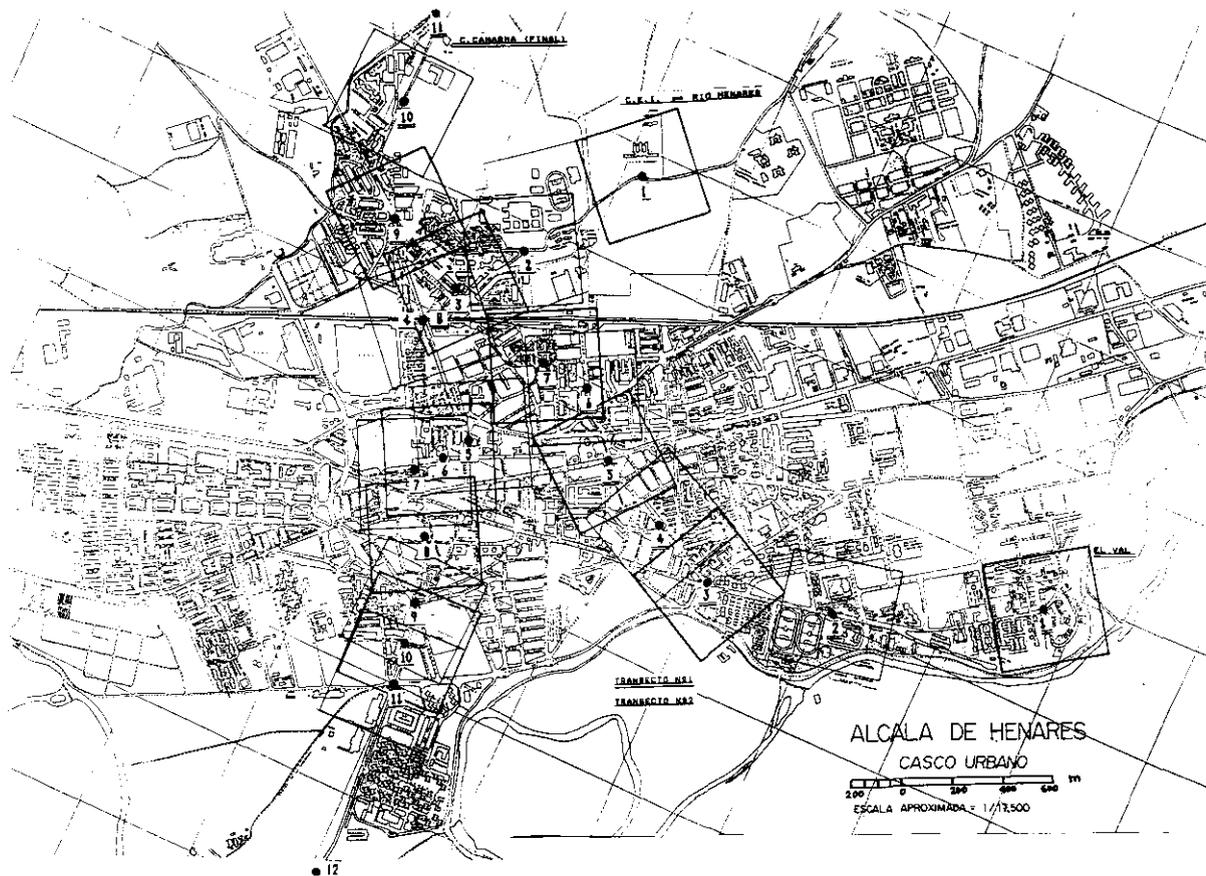


Figura 1.—Puntos de medición de los transectos 1 y 2. Espacios cuadrados de usos del suelo.

## METODOLOGÍA

En este artículo pretendemos evaluar la influencia que los distintos usos del suelo urbano tienen en la génesis de la isla de calor urbana de Alcalá de Henares. Para ello hemos realizado dos transectos térmicos en unas cincuenta ocasiones, que atraviesan la ciudad desde la periferia al centro urbano. De este modo, hemos obtenido los valores de isla de calor en los distintos puntos de medición de los transectos térmicos, tanto el valor medio de las distintas expediciones como el correspondiente a los recorridos efectuados bajo diversas condiciones atmosféricas. A continuación hemos medido, sobre fotografía aérea y plano, el porcentaje ocupado por distintas cubiertas en un espacio cuadrado, de 250.000 m<sup>2</sup>, situado alrededor de los distintos puntos de medición. Así, hemos distinguido cinco tipos de cubiertas: espacios edificados con función fundamentalmente residencial; espacios verdes (donde incluimos parques y jardines de la ciudad y áreas de cultivo en el entorno rural de la misma); superficies sin edificar con cubierta de asfalto, cemento, así como solares urbanos con suelo de tierra (calles, plazas, pistas deportivas...); instalaciones industriales y superficies de agua (en Alcalá de Henares, exclusivamente, el río Henares).

Las superficies medidas se han realizado sobre fotografía aérea de la zona, en vuelo de julio de 1991 realizado por la Comunidad de Madrid y a escala 1/18.000, así como el vuelo correspondiente a 1984 del Instituto Geográfico Nacional y, por ampliación, a escala aproximada de 1/16.000. Del mismo modo nos hemos apoyado en planos de la ciudad, con escala aproximada de 1/7.200, especialmente para espacios donde resultaba mucho más laboriosa la labor de medición, al tratarse de edificaciones de dimensiones pequeñas (viviendas unifamiliares aisladas).

## RESULTADOS

En primer lugar, indicamos los porcentajes obtenidos en cada una de las cuadrículas de los transectos térmicos:

**Tabla 1**  
PORCENTAJE DE DIVERSOS USOS DEL SUELO E ISLA DE CALOR MEDIA EN LAS CUADRICULAS CORRESPONDIENTES A LOS DISTINTOS PUNTOS DE MEDICIÓN DE LOS TRANSECTOS TÉRMICOS

<i>Transecto núm. 1</i>	<i>Edificios</i>	<i>Zonas verdes</i>	<i>Asfal. Cemen. Solar</i>	<i>Industria</i>	<i>Agua</i>	<i>Isla de calor</i>
1. El Val	27,95	54,08	12,24	—	5,71	1,69
2. A. V. Val	32,04	38,16	23,20	—	6,53	2,28
3. P. Juventud	30,61	29,59	36,12	—	3,67	2,42

**Tabla 1** (Continuación)  
**PORCENTAJE DE DIVERSOS USOS DEL SUELO E ISLA DE CALOR MEDIA EN LAS CUADRÍCULAS CORRESPONDIENTES A LOS DISTINTOS PUNTOS DE MEDICIÓN DE LOS TRANSECTOS TÉRMICOS**

<i>Transecto núm. 1</i>	<i>Edificios</i>	<i>Zonas verdes</i>	<i>Asfal. Cemen. Solar</i>	<i>Industria</i>	<i>Agua</i>	<i>Isla de calor</i>
4. P. Alameda	61,02	4,28	34,69	—	—	3,18
5. Cuatro Caños	67,50	5,91	26,50	—	—	3,52
6. P. Estación	70,20	5,30	24,48	—	—	3,20
7. Cánovas	62,75	15,51	21,80	—	—	3,44
8. P. Ferrocarril	27,44	18,36	39,48	14,69	—	2,84
9. Av. Daganzo	32,14	17,75	48,60	1,42	—	2,54
10. C. Camarma	24,79	63,26	9,28	—	2,65	1,93
11. C. Camarma final	4,28	91,83	1,42	—	2,44	—
<i>Transecto núm. 2</i>						
1. S. Ignacio	3,46	90,81	5,71	—	—	0,87
2. Pta. Cej	23,50	40,80	35,70	—	—	1,49
3. Clavileño	30,60	12,85	56,50	—	—	2,29
4. P. Ferroc.	27,44	18,36	39,48	14,69	—	2,08
5. D. Torres	63,06	9,79	27,10	—	—	2,76
6. Santiago	57,30	19,18	23,46	—	—	2,84
7. P. Arzob.	55,10	25,10	19,79	—	—	2,41
8. Empecinado	83,06	—	16,93	—	—	2,80
9. Pta Vado	50,20	6,73	43,06	—	—	2,34
10. P. Pastrana	44,28	10,60	45,10	—	—	2,03
11. Rotonda	40,80	15,10	44,08	—	—	1,75
12. Salida ciudad	4,89	87,95	5,71	—	1,42	0,19
13. Río Henares	1,63	80,20	4,89	—	13,26	0,84

Como podemos observar en los porcentajes hallados, es muy escasa la superficie ocupada por instalaciones industriales o por agua; por el contrario son las superficies edificadas, calles y espacios verdes los que ocupan prácticamente la totalidad de la superficie de las cuadrículas. De este modo, la edificación tiende a ocupar más espacio cuanto más insertos nos encontramos en el núcleo de la ciudad, en tanto que hacia las periferias, el espacio rural próximo hace aumentar el porcentaje ocupado por las áreas verdes, y, del mismo modo, aumentan los solares urbanos, que normalmente se encuentran a la espera de futuras edificaciones.

A continuación mostramos los valores medios de isla de calor en cada uno de los puntos de medición, en función de las características que presentaba la atmósfera:

**Tabla 2**  
 VALORES DE LA ISLA DE CALOR, EN CADA UNO DE LOS PUNTOS  
 DE MEDICIÓN DE LOS TRANSECTOS TÉRMICOS, BAJO CONDICIONES  
 ATMOSFÉRICAS ESTABLES, INESTABLES, EN CALMA, CON BRISA  
 Y CON VIENTO

<i>Punto</i>	<i>Estable</i>	<i>Inestable</i>	<i>Calma</i>	<i>Brisa</i>	<i>Viento</i>
<i>Transecto 1</i>					
1	2,00	0,86	1,70	1,68	1,6
2	2,63	1,36	2,27	2,45	2,1
3	2,81	1,39	2,42	2,67	2,18
4	3,74	1,73	3,35	2,98	2,45
5	4,20	1,76	3,80	3,01	2,58
6	3,79	1,66	3,37	3,17	2,28
7	4,05	1,85	3,67	3,25	2,35
8	3,37	1,44	1,93	3,12	2,28
9	3,00	1,34	2,70	2,38	1,85
10	2,27	1,03	2,02	1,81	1,55
11	0	0	0	0	0
<i>Transecto 2</i>					
1	1,09	0,31	0,94	0,87	0,51
2	1,79	0,71	1,61	1,30	1,03
3	2,68	1,27	2,52	1,88	1,48
4	2,48	1,03	2,35	1,51	1,18
5	3,28	1,40	3,12	2,02	1,56
6	3,39	1,41	3,21	1,98	1,76
7	3,89	1,17	2,74	1,71	1,38
8	3,31	1,47	3,17	1,94	1,73
9	2,76	1,26	2,58	1,94	1,48
10	2,37	1,15	2,22	1,64	1,25
11	2,06	0,95	1,90	1,47	0,91
12	0,12	0,36	0,15	0,3	0
13	0,95	0,55	0,83	0,85	0,30

En el siguiente paso, hemos calculado la correlación existente entre la superficie ocupada por las distintas cubiertas, en los correspondientes cuadrados de los diversos puntos de medición, y la isla de calor media e isla de calor bajo diferentes situaciones atmosféricas obtenidas en dichos puntos. Los resultados obtenidos los mostramos en el cuadro de la página siguiente.

Como podemos observar, existe una elevada correlación, de 0,85, entre la isla de calor media y el espacio edificado; esta correlación es directa, de modo que, como podíamos intuir, los edificios se convierten en elementos favorecedores del fenómeno estudiado. Por su parte las áreas verdes (par-

**Tabla 3**  
CORRELACIÓN ENTRE LAS ISLAS DE CALOR MEDIAS, E ISLAS DE CALOR BAJO DIFERENTES SITUACIONES ATMOSFÉRICAS, Y LOS PORCENTAJES DE LAS DIVERSAS CUBIERTAS URBANAS

	<i>Edificios</i>	<i>A. verdes</i>	<i>Calles</i>	<i>Industria</i>	<i>Agua</i>
Isla T. estable	0,85	-0,87	0,47	0,11	-0,40
Isla T. inestable	0,83	-0,87	0,49	0,064	-0,32
Isla Calma	0,90	-0,88	0,44	-0,03	-0,42
Isla Brisa	0,67	-0,74	0,44	0,14	-0,25
Isla Viento	0,59	-0,60	0,23	0,086	0,04
Isla Media	0,85	-0,87	0,50	0,16	-0,39

ques, jardines y espacio rural), presentan también una alta correlación, aunque en este caso inversa, de -0,87; por tanto, las áreas verdes son cubiertas que impiden la génesis de la isla de calor. Asimismo, observamos cómo son las cubiertas de edificios y espacios verdes las únicas que presentan un elevado grado de correlación con la isla de calor en las diferentes situaciones atmosféricas. Las correlaciones oscilan entre 0,8 y 0,9, que bajan a 0,6 a 0,7 con presencia de brisa y viento. Las restantes cubiertas presentan coeficientes bajos de correlación; así, las superficies de asfalto-cemento-solares, al ser una cubierta tan heterogénea, sólo hemos podido obtener una correlación de 0,50; por su parte, la escasa presencia de industrias y agua hacen difícil establecer posibles correlaciones. Sólo diremos, que las superficies de agua presentan una correlación inversa, siendo, pues, desfavorables para la isla de calor.

Hemos hallado, por otro lado, la correlación existente entre los valores medios de la isla de calor, correspondientes a diferentes situaciones atmosféricas, y los porcentajes de cubiertas de edificios y espacios verdes en cada una de las cuadrículas de los distintos puntos de medición. Del mismo modo, y como segundo paso, hemos hallado las ecuaciones correspondientes a las regresiones entre estos mismos parámetros. Los resultados obtenidos han sido los siguientes:

**Tabla 4**  
CORRELACIONES Y ECUACIONES DE REGRESIÓN ENTRE LA ISLA DE CALOR Y LAS DENSIDADES DE EDIFICACIÓN Y DE ESPACIOS VERDES

<i>Variable dependiente</i>	<i>Variable independiente</i>	<i>Correlación</i>	<i>Ecuación de regresión</i>
Isla calor media	Den. edifica.	0,85	$Y = 0,80 + (0,34.X)$
Isla calor media	Den. A. verdes	-0,87	$Y = 3,03 + (-0,02.X)$
Isla C. tiempo estable	Den. edific.	0,85	$Y = 0,93 + (0,041.X)$
Isla C. tiempo estable	Den. A. verdes	-0,87	$Y = 3,59 + (-0,033.X)$

Tabla 4 (Continuación)

## CORRELACIONES Y ECUACIONES DE REGRESIÓN ENTRE LA ISLA DE CALOR Y LAS DENSIDADES DE EDIFICACIÓN Y DE ESPACIOS VERDES

<i>Variable dependiente</i>	<i>Variable independiente</i>	<i>Correlación</i>	<i>Ecuación de regresión</i>
Isla C. tiempo inestable	Den. edifica.	0,83	$Y = 0,47 + (0,017.X)$
Isla C. tiempo inestable	Den. A. verdes	-0,87	$Y = 158 + (-0,014.X)$
Isla C. y calma	Den. edifica.	0,90	$Y = 0,71 + (0,040.X)$
Isla C. y calma	Den A. verdes	-0,88	$Y = 3,23 + (-0,030.X)$
Isla C. y viento	Den. edifica.	0,59	$Y = 0,80 + (0,018.X)$
Isla C. y viento	Den. A. verdes	-0,60	$Y = 198 + (-0,14.X)$

A partir de aquí hemos calculado los umbrales de densidad de edificación necesarios para alcanzar la isla de calor media y la isla de calor con tiempo estable e inestable.

Tabla 5

## UMBRALES DE EDIFICACIÓN NECESARIOS PARA OBTENER DISTINTAS INTENSIDADES EN LA ISLA DE CALOR MEDIA ANUAL, CON TIEMPO ESTABLE Y CON TIEMPO INESTABLE

<i>Isla de calor (°C)</i>	<i>Isla media % edificación</i>	<i>Isla anual tiempo estable % edificación</i>	<i>Isla tiempo inestable % edificación</i>
1	5,88	1,70	31,17
2	35,29	26,09	90
2,17			100
3	64,70	50,48	
4	94,10	74,87	
4,2	100		
5		99,60	
5,03		100	

Como podemos observar, las teóricas máximas islas de calor, que se producirían en espacios donde fuese la densidad de edificación del 100%, alcanzarían unos valores de 4,2°C, para la isla media anual; 5,03°C, para la isla térmica en condiciones estables, y 2,17°C para la isla de calor con tiempo inestable.

A partir de aquí hemos hallado las ecuaciones de regresión múltiple correspondientes a la cubiertas con elevada correlación con la isla de calor, es decir, con las densidades de edificación y de espacios verdes.

**Tabla 6**  
 ECUACIONES DE REGRESIÓN MÚLTIPLE ENTRE LA ISLA DE CALOR  
 Y LOS PORCENTAJES DE CUBIERTAS OCUPADAS POR EDIFICIOS  
 Y ESPACIOS VERDES

<i>Variable dependiente</i>	<i>Ecuación de regresión múltiple</i>
Isla media anual	$Y = 2,10 + (0,015,X) + (-0,017,X^*)$
Isla tiempo estable	$Y = 2,45 + (0,019,X) + (-0,020,X^*)$
Isla tiempo inestable	$Y = 1,17 + (0,069,X) + (-0,094,X^*)$
Isla tiempo en calma	$Y = 1,75 + (0,024,X) + (-0,013,X^*)$
Isla tiempo con brisa	$Y = 2,25 + (0,060,X) + (-0,018,X^*)$
Isla tiempo con viento	$Y = 1,39 + (0,099,X) + (-0,080,X^*)$

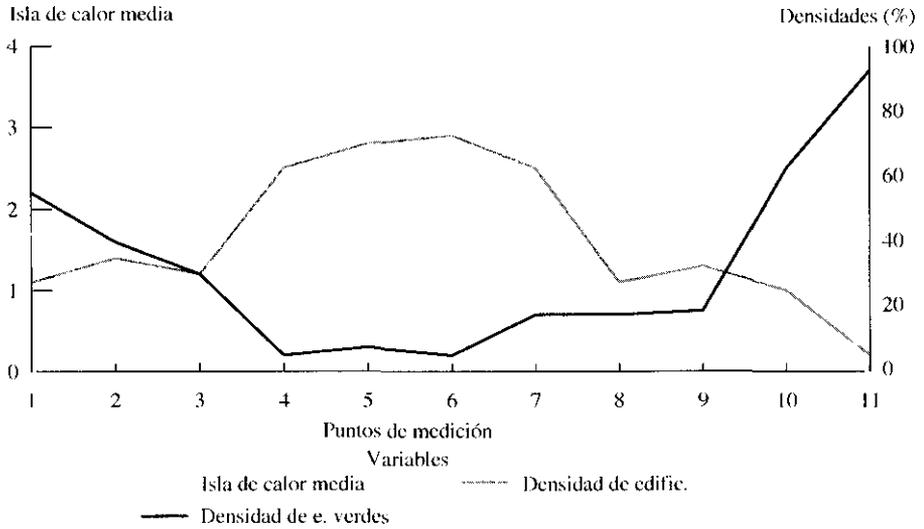
En las fórmulas de las regresiones múltiples, *Y* se refiere a la isla de calor, *X* se refiere al valor de la densidad de edificación y *X\** al de la densidad de espacios verdes.

#### CONCLUSIONES

Al relacionar la isla de calor media y los usos del suelo advertimos una alta correlación directa (0,85) entre la isla de calor y la densidad de edificación, así como también una alta correlación, pero inversa, con las áreas verdes (-0,87). Por tanto, mientras los espacios densamente edificados favorecerían la génesis de islas de calor, las áreas verdes se convertirían en espacios más frescos y, por tanto, cubiertas perturbadoras del fenómeno. Así pues, los espacios con edificación compacta y escasos espacios verdes, siempre con elevadas densidades de edificación, serían los sectores de Alcalá que presentarían las mayores islas de calor.

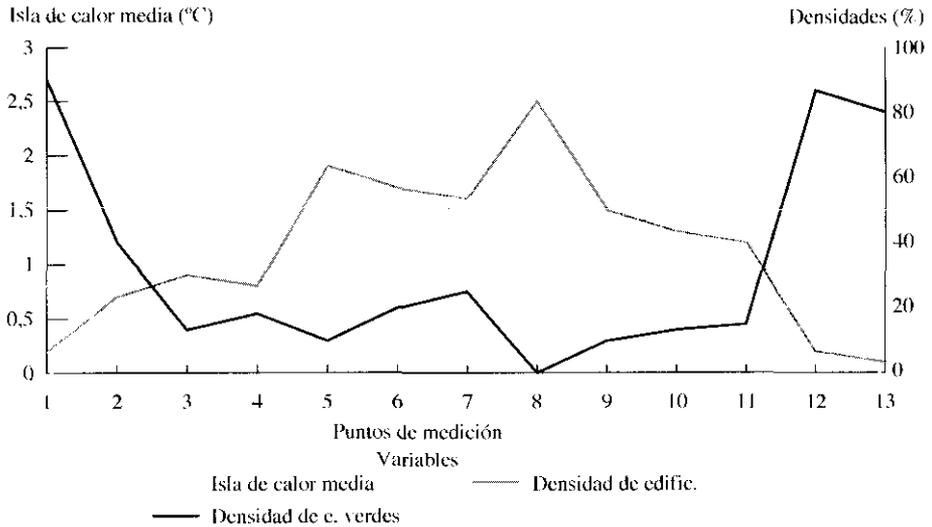
La elevada correlación existente entre la isla de calor en los distintos puntos de medición y las densidades de edificación y de espacios verdes nos ha permitido calcular la ecuación de regresión simple y múltiple entre la densidad de las mencionadas cubiertas y la isla de calor media anual, así como la ecuación de regresión con la isla térmica media obtenida bajo diferentes situaciones atmosféricas, llegando así a un nivel de predicción climática en la ciudad de Alcalá de Henares. Asimismo, hemos calculado las máximas islas de calor, media anual y media bajo diferentes situaciones atmosféricas, para un umbral teórico de edificación del 100 por 100. Esta máxima isla térmica sería de 2,17°C con tiempo inestable, 4,2°C como valor medio anual y 5,02°C como isla térmica con tiempo estable.

LA ISLA DE CALOR Y LOS USOS DEL SUELO EN ALCALÁ DE HENARES



Transecto n.º 1 (1992-1994).

LA ISLA DE CALOR Y LOS USOS DEL SUELO EN ALCALÁ DE HENARES



Transecto n.º 2 (1992-1994).

BIBLIOGRAFÍA

- ALMENDROS COCA, M. A. (1990): *Aspectos climáticos de los parques y jardines de Madrid*, Madrid, Universidad Autónoma, Departamento de Geografía, Tesis doctoral, 2 tomos.
- BELLO FUENTES, V. (1995): *El clima en el Valle Bajo del Henares: La isla de calor en sus áreas urbanas. Las inversiones Térmicas*. Departamento de Geografía, Universidad Autónoma de Madrid; Tesis Doctoral inédita, 2 volúmenes.
- BERNATZKY, A. (1982): «The contribution of trees and green spaces to a town climate», en *The impact of climate on planning and building*, ed. A. Bitan, Elsevier, pp. 301-310.
- BRUNET INDIA, M. C. (1989): *Los efectos de la urbanización en el clima local. Un ensayo de climatología urbana: el caso de Tarragona*, Universidad de Tarragona, Tesis doctoral, 3 vols.
- CECH, I., et al. (1976): «Relative contribution of land uses to the urban heat problem in the coastal subtropics», *Weather*, 42 (9), pp. 9-18.
- CLARKE, J. F., y PETERSON, J. T. (1972): «The effect of regional climate and land use on the nocturnal heat island», *Preprints Conf. Urban Environment and 2nd Conf. on Bioclimatology*, pp. 147-152.
- DÍAZ MUÑOZ, M.<sup>a</sup> A. (1990): *Diferenciación socioespacial en la ciudad de Alcalá de Henares*, Universidad de Alcalá de Henares. Departamento de Geografía, Alcalá de Henares, pp. 278.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (1986): *El clima de la Meseta Meridional. Los tipos de tiempo*. Ediciones de la Universidad Autónoma de Madrid; pp. 215.
- GÓMEZ MENDOZA, J. (1977): *Agricultura y expansión urbana*, Alianza Universidad, pp. 352.
- LANDSBERG, H. E. (1981): *The Urban Climate*, Nueva York, Academic Press, pp. 275.
- LEE, D. (1984): «Urban Climates», *Progress in Physical Geography*, 8, 1, pp. 31.
- LÓPEZ GÓMEZ, A. (1985): *El clima de las ciudades*, Arbor, 474, pp. 13-32.
- (1992): «La isla de calor y los usos del suelo en Tokio», *Estudios Geográficos*, núm. 209.
- LOWRY, W. (1977): «Empirical estimation of urban effects on climate: a problem analysis», *Journal of Applied Meteorology*, núm. 16, pp. 129-135.
- MORENO GARCÍA, M.<sup>a</sup> C. (1990): *Estudio del clima urbano de Barcelona: la isla de calor*, Tesis doctoral, pp. 193.
- NISHIZAWA, T. (1958): «The influence of buildings on urban temperature», *Miscell. Rep. Res. Inst. Nat. Resour.*, 48, pp. 40-47.
- OKE, T. R. (1973): «City size and the urban heat island», *Atmopheric Environment*, núm. 7, pp. 769-779.
- PAZERA, E., Jr. (1976): «A ilha de calor da cidade: fatores e atributos», *Boletim Geográfico*, 34 (249), Río de Janeiro, pp. 51-57.
- SAMPAIO, A. H. L. (1981): «Correlações entre uso do solo e ilha de calor no ambiente urbano: o caso de Salvador, Depto. de G.<sup>a</sup> de Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas de Univ. de Sao Paulo.
- SHITARA, H. (1957): «Effects of buildings upon the winter temperatures in Hiroshima City», *Geographical Review of Japan*, 30, pp.468-482.
- TAKAHASHI, M. (1959): «Relation between the air temperature distribution and the density of houses in small cities of japan», *Geographical Review of Japan*, 32, pp. 305-313.

- TERJUNG, W. H., y O'ROURKE, P. A. (1981): «Relative influence of vegetation on urban energy budgets and surface temperatures», *Boundary-Layer Meteorology*, 21, pp. 255-263.
- TSUCHIYA, I. (1972): «Greens and urban climate thermal characteristics of natural and artificial greens, and rivers in urban area», *Water Science*, 16 (1), pp. 29-56.