

NOTICIAS Y COMENTARIOS

LOS ESTUDIOS DE LA ISLA DE CALOR EN MADRID

Resulta, al menos, sorprendente que dentro de la amplia gama de áreas temáticas que toca la geografía, sólo la vertiente humanística y social, (que si no histórica), sea la más prolija en investigaciones, artículos, recensiones, y congresos.

Haciendo un rápido repaso a los números de la revista Estudios Geográficos en los últimos años, la Geografía Física es la que ha ganado menos espacio dentro de las páginas de esta prestigiosa revista, si bien, se nota un repunte en asignaturas tan en boga como los Sistemas de Información Geográfica y el Medio Ambiente; con respecto al primero, es de suponer que una buena razón de ello sea la aplicabilidad directa que implica el uso de los mismos en casi cualquier análisis ya sea de índole social como estrictamente físico; y del segundo, poco se puede decir que no sea de conocimiento público: es casi inherente a cualquier investigación que se precie de estar en línea con las nuevas necesidades de conocimiento.

Es por lo antedicho y por más, que llama y merece la atención, cuando dentro del ámbito de los estudios geográficos aparece alguna publicación o investigación de carácter *físico*, y aún más, climatológico. Por ello, bien ganado tiene, un comentario sobre las últimas publicaciones sobre la isla de calor en Madrid.

El primer estudio sobre la isla de calor en Madrid vio la luz en 1984 en un artículo de Estudios Geográficos firmado por Antonio López Gómez y Felipe Fernández García: *La isla de calor en Madrid. Avance de un estudio de clima urbano*. Sin embargo, el primero de los firmantes ya había hecho incursiones dentro de esta temática en artículos precedentes publicados en Estudios Geográficos: *La ciudad y las variaciones climáticas* (1954), *¿Está cambiando el clima de Madrid?* (1961), *Las inversiones de temperatura entre Madrid y la Sierra de Guadarrama* (1975), en Arbor, *El clima de las ciudades* (1985). De la misma manera, el segundo autor te-

Estudios Geográficos, LXIII, 248/249, 2002

— 775 —

nía en su haber un artículo publicado en el Boletín de la Real Sociedad Geográfica: *El clima de la provincia de Madrid* (1975) otro en Estudios Geográficos, *La intensidad del viento en Madrid y sus alrededores* (1981) y en Universidad y Sociedad, *Madrid, microclima y medio ambiente* (1984).

No es sino hasta 1988, cuando cobra forma en cuanto a extensión y detalle el estudio de la isla de calor en Madrid con la aparición del trabajo *El clima urbano de Madrid: La isla de calor*, si bien es una primera edición de difusión limitada. Sus autores Antonio López Gómez como director, Julia López Gómez, Felipe Fernández García y Fernando Arroyo Ilera. Merece resaltar, que dicho estudio dio lugar al comienzo de similares en otras ciudades españolas, pues como bien dicen los autores es un «tema prácticamente inédito en España».

En 1990, Antonio López Gómez y Felipe Fernández García junto con Antonio Moreno Jiménez y F. Palou publican un artículo también en Estudios Geográficos que será el antecedente en cuanto a técnica y metodología a emplear para los estudios de clima urbano en las siguientes investigaciones: *La temperatura diurna en la aglomeración de Madrid mediante imágenes remotas*.

En 1991 reaparece una nueva edición del libro *El clima urbano de Madrid: La isla de calor*. Por supuesto, esta nueva edición tiene una mayor difusión y será el punto de partida para dos notables libros que aparecerán en 1993 y 1998 respectivamente: *El clima urbano. Teledetección de la isla de calor en Madrid* y *Temperaturas nocturnas y diurnas en Madrid a partir de teledetección aeroportada*. Entre medias, en 1995, López Gómez y Fernández García junto con Miguel Angel Almendros Coca publican un artículo en *Climatology and air pollution* en la Universidad Nacional de Cuyo, Argentina, lo que será la línea directa de investigación: *El clima urbano de Madrid: tipologías de la isla de calor*.

Los tres libros mencionados serán el objeto a comentar por entender que se trata de una estudio riguroso y con vocación de continuidad digna de méritos en cuanto a línea de investigación y ayudas concedidas para las mismas, y porque nos parece de suma importancia que el tema en cuestión tenga la entidad suficiente para no limitarse sólo a publicaciones parciales en revistas científicas.

Por consiguiente, el objetivo final es hacer una síntesis esquemática de lo tratado en estas publicaciones, procurando, en lo posible, de concatenar y extraer las ideas y conceptos principales.

El clima urbano de Madrid: La isla de calor

El primero de los libros publicados abarcó, en términos generales, los cambios que experimentan las temperaturas dentro del clima urbano y la humedad relativa relacionada con aquella, en las diversas zonas de la ciudad y en relación con su entorno.

Una aproximación conceptual de la isla de calor, es que la ciudad recibe entre un 10-30% menos de radiación solar debido a la contaminación del aire, pero es compensada por la radiación de onda larga emitida por la superficie urbana y por la capa de contaminación, y sobre todo porque la masa de edificios almacena calor solar para ser emitido posteriormente, mientras que en el campo tiene una inercia térmica menor.

La isla de calor presenta diversas modalidades en función de los factores naturales o urbanos, según los autores son: Tipos de tiempo, variaciones diarias y estacionales, relieve del suelo, edificios y tamaño de las ciudades y humedad.

En un siguiente apartado nos describen unas notas sobre el clima regional para luego adentrarse en los agentes modificadores de la temperatura en la ciudad de Madrid que son el relieve, las masas verdes, el desarrollo urbano, el tráfico y la calefacción.

El relieve de Madrid se conforma por una serie de lomas alargadas en dirección aproximada N-S entre las vaguadas del Manzanares y el Jarama y dos arroyos intermedios (Prado y Abroñigal). Pero concluyen que este relieve poca influencia ejerce en la mayoría de los casos.

Las masas verdes, (investigación específica de M. A. Almendros) resultan importantes por ser zonas frías con respecto al entorno directo formando «células de frescor»: El Retiro (120 ha) y en la periferia, en el NW el Parque del Oeste y la Dehesa de la Villa (unas 100 ha c/u) y la Casa de Campo (1.700 ha).

El desarrollo urbano es el factor más importante en cuanto a los cambios habidos en el clima urbano; los autores diferencian 5 espacios: El viejo Centro, el Ensanche, la periferia interna o espacio intermedio, la periferia externa y los núcleos dormitorio del contorno.

El Centro, situado en el S de la primera loma limitado al N por los llamados «Bulevares» y por el S por las «Rondas», al E por los paseos de Recoletos-Prado y al W por el Palacio Real. *El Ensanche*, en las lomas primera y segunda por el N y E con la Castellana como eje. Limitado al N, c/ Reina Victoria y Raimundo Fdez. Villaverde; por el NE, c/ Joaquín

Costa y Fco. Silvela; por el E y SE, c/ Dr. Esquerdo. *La periferia interna* o Extrarradio, en sentido muy amplio ya que sería más exacto considerar algunas zonas intermedias. Forma un gran anillo interrumpido por el W, entre el Ensanche y la M-30 por el E, llegando por el N hasta Plaza de Castilla; y el E y W no están tan bien definidos pero por el SE, ave. de la Albufera, puente de Vallecas y aledaños; y por el SW y S, Paseo de Extremadura. *La periferia externa*, corresponde a los antiguos pueblos del contorno, por el N hasta Fuencarral, por el NE y E quedan englobados Hortaleza, Canillas, Canillejas y Barajas; y por el E también Vallecas; por el S y SW Villaverde y los Carabancheles. Y *los núcleos dormitorio del contorno* son la zona meridional, Alcorcón, Móstoles, Leganés y Getafe; por el NE Coslada-San Fernando y al N, Alcobendas y San Sebastián de los Reyes.

En cuanto a la metodología se hicieron recorridos en coche con mediciones directas en un centenar de puntos, en distintas épocas a diferentes horas y con distintos tipos de tiempo. Se siguen tres ejes en dirección N-S (Alcobendas-Getafe) carretera de Fuencarral, Paseo de la Castellana-Prado, c/ Delicias-paseo Sta. M.^a de la Cabeza, Puente de Praga y carretera de Getafe, son 28 Km y 36 puntos; NE-SW (Jarama-Alcorcón) carretera de Aragón, c/ Alcalá, Sol-Puente de Segovia y carretera de Extremadura, 27 km y 28 puntos; y NW-SE (Vallecas-Aravaca) ave. de Albufera, Atocha, Gran Vía, Princesa y carretera de la Coruña, 17 km y 28 puntos, estos perfiles siguen los ejes fundamentales de la ciudad hasta los núcleos del contorno, lo que permitirá obtener una imagen lineal del fenómeno y mapas de isotermas que permitirán conformar una imagen en conjunto de los diversos perfiles. No se dan valores medios porque las observaciones no fueron regulares y para poder comparar valores de distintas épocas y tiempo se reducen los datos a una escala uniforme de diferencias, considerando la más baja del recorrido 0, lo mismo en la humedad relativa.

La base del trabajo se centra en realizar el trazado de perfiles urbanos tanto térmicos como higrométricos en las direcciones indicadas, nos detallan los recorridos, y los puntos de toma de mediciones, además, de trazar los mapas de isotermas (con temperaturas reales).

A partir de aquí, comienza una descripción exhaustiva de los 95 perfiles resultantes del trabajo de campo, en función del tipo de tiempo y de las diferentes intensidades dependiendo de la estación del año. El segundo capítulo, versa sobre la isla de calor nocturna en tiempo estable en

el que se han aportado el mayor número de ejemplos o perfiles dado que son las más importantes en cuanto a intensidad debido a que son «un fenómeno bien perceptible y habitual en Madrid». En el tercer capítulo, tratan la isla de calor nocturno en tiempo perturbado; si bien, el propósito de los autores era estudiar la isla de calor nocturna en tiempo estable dado que es la más importante, en este pretenden «señalar las diferencias o analogías con tiempo alterado» y por ello el número de observaciones es menor sin detallar los tramos de las curvas. El cuarto capítulo, trata sobre la isla de calor diurna, pero al ser poco representativa, el número de observaciones son bastante menos que las anteriores, pero sirven de indicativo de sus características.

Ya en el último capítulo nos presentan los resultados generales. *La isla de calor nocturna con tiempo estable* es más acusada en la noche, debido al contraste con el campo, más frío; se prolonga o intensifica hasta el amanecer, que se dan las temperaturas mínimas. El tipo de tiempo favorable es anticiclónico, cielo despejado y aire en calma. Las diferencias de temperatura con respecto al campo son entre 4-6° y en bastantes ocasiones hasta 8-9°.

En invierno, se dan tres perfiles: *Isla moderada a medianoche*, (4°-6°) claramente perceptibles inclusive los rasgos secundarios y la humedad relativa es «rigurosamente opuesta». *Isla intensa a medianoche*, (8-9°), se retrae en las direcciones NS y NE-SW y en la SE-NW se destaca el centro, rasgos secundarios bien acentuados. E *isla intensa en la madrugada*, cerca del amanecer generalmente se registra los 8-9°, el máximo, a la vez que aumenta, se reduce su extensión y los rasgos secundarios tienden a desaparecer.

En verano, se da *isla moderada o débil*, a medianoche con máximos de 3-4° y menos, en la dirección N-S, el mínimo suele estar en el «campo septentrional» y el máximo es muy amplio (Nuevos Ministerios-otro lado del Manzanares), los rasgos secundarios se dilucidan pero menos que en invierno. *Isla acusada o intensa a medianoche*, pasando los 5° y puede alcanzar los 8-9° en el perfil SE-NW en relación con la vaguada del Manzanares, los mínimos secundarios se mantienen o acusan. E *isla intensa en madrugada*, cerca del amanecer llegando hasta los 8-9° y retraída como en invierno.

En primavera, se da la *isla acusada a medianoche*, con máximos entre los 5-6° o más, de reducida extensión y rasgos secundarios poco marcados, y la *isla intensa en la madrugada*, tanto en el perfil N-S y NE-SW la forma

e intensidad son parecidas a las anteriores, si bien el aire frío exterior del NW acentúa el gradiente y el máximo puede llegar a los 7-8°. En Otoño, los perfiles son semejantes a los de primavera, con máximos de 5-6°.

Con respecto a los mapas de isotermas, los autores nos dicen que permiten «una caracterización global» si bien acotan que falten datos de los espacios intermedios a los itinerarios y que el número de mapas no es suficiente.

Cuando la isla tiene intensidad media o fuerte, adopta una forma triangular, de lados sinuoso, con base en la periferia meridional, mientras que el vértice N en plaza de Castilla. Con penetración de aire frío por la vaguada del Manzanares, se dibuja en esa zona un gran entrante que puede escindir la isla, dejando aislada otra menor en el SW y S, y la principal toma forma oval de N a S, con eje en la Castellana.

Las mayores temperaturas se dan en el Ensanche, parte del casco viejo, N y NE, en menor espacio en el S. La isla de calor no es uniforme y se dibujan máximos y mínimos secundarios o locales dependiendo del volumen y densidad de la edificación, espacios abiertos y topografía.

Las *máximas interiores* se hayan entre los 1° y 2° especialmente en el ángulo entre Castellana-Alcalá, el Centro y Puente de Vallecas. En cuanto a las *mínimas interiores*, son más frecuentes y acusadas, las destacables son Paseo del Prado, puente de Praga y parque Sur, en la ruta NE-SW en Torre Arias, plaza de la Independencia, Basílica –Atocha, plaza de España-Palacio de Liria.

Con respecto a las *mínimas exteriores*, se dan en los espacios abiertos del contorno oeste; y en el sur, se dan en invierno; y en verano, el sur es más cálido que el norte. Caso aparte es la vaguada del Manzanares que en su mayoría registra la temperatura más baja de toda el área estudiada, y no es debido a la masa acuática, se estima, más bien, que sea por efecto de inversión térmica y por «la exposición de la vaguada abierta hacia el NW, de cara a la sierra y con grandes espacios verdes inmediatos».

Las *islas locales exteriores* las temperaturas son de 3 a 5° mas elevadas que los mínimos inmediatos y aparecen en los grandes núcleos en el extremo de los itinerarios: Alcobendas, Getafe y Alcorcón.

La *isla de calor nocturna con tiempo perturbado*, es mucho más suave, incluso las perturbaciones pueden hacer desaparecer dicha isla, que tiene máximas del orden de los 3-5°, en los casos de islas moderadas, o débiles entre 1,5-3°, según la intensidad del fenómeno. También atenúa los rasgos secundarios llegando incluso a desaparecer.

La acción del viento actúa debilitando la isla de calor y se desplaza hacia el sotavento, incluso hasta la periferia; mientras que el mínimo se queda a barlovento y los rasgos secundarios se atenúan o borran.

La nubosidad en el transcurso del día, hace que la isla de calor nocturna se atenúe, aunque luego despeje. Se mantienen los rasgos básicos pero suavizados y de menor extensión.

La influencia de las precipitaciones es notable: Con lluvias persistentes, la isla de calor es muy débil o desaparece, se mantienen los mínimos principales pero disminuidos. La humedad relativa es alta. Si después de la lluvia, el cielo sigue cubierto, la isla es más débil, pero si despeja, llega a ser tipo medio (3-5°) y los rasgos secundarios se demuestran más. Después de una nevada, la isla de calor es débil. Por último, *la isla de calor diurna*, aunque no han sido numerosas las observaciones, se detecta débil y los caracteres secundarios están muy suavizados. En tiempo estable e invierno, en el perfil N-S el máximo es de 2-3° en Castellana-Delicias, y uniformidad en la zona exterior periférica. En SE-NW, con altibajos pero con un pico en la Glorieta de Atocha. En el verano la isla de calor es casi inexistente, aunque hay cierta tendencia a mayor calor hacia el sur. Se mantienen los mínimos de Torres Arias y puente Segovia hay un pico en Atocha, descendiendo a Sol y aparece uno nuevo mínimo en Sevilla. Con tiempo alterado, la isla es débil, no pasa los 3° y en la mayoría de los casos en verano y la ruta N-S, por la entrada de viento N, la isla se desplaza hacia el S.

El clima urbano. Teledetección de la isla de calor en Madrid

En este trabajo los autores pretenden tener un conocimiento más profundo de las causas de la singularidad térmica en el clima urbano, mediante el análisis de la temperatura radiante de la superficie de la ciudad obtenida por sensores remotos y ver en que forma le afecta las edificaciones, usos de suelo, morfología y materiales de construcción.

Después de una introducción; en el capítulo 2 los autores hacen una curiosa síntesis de los estudios del clima urbano en épocas históricas. A partir de finales de los años 60 las investigaciones sobre el tema se multiplican llegando a la actualidad a más de tres millares de títulos, sin embargo, en España, «el clima urbano apenas ha despertado interés, aparte de la contaminación». Si bien, ésta es nociva para el hombre y las cons-

trucciones, alterando el clima, también hay otros factores como la forma, tamaño y actividades de la ciudad, materiales de edificios y calles, trazados de éstas, además de parques, que igualmente hacen sentir sus cambios en el clima regional.

El diferencial térmico entre ciudad-espacios adyacentes, siempre el valor mayor para aquel, ya es un fenómeno conocido y que se refleja en las cifras medias y sobretodo en las máximas. Las repercusiones de los microclimas en las ciudades son variadas e importantes a la hora del diseño de edificaciones, necesidades de calefacción o refrigeración e inclusive en la floración de jardines, para ellos deberían conocerse la temperatura del espacio preciso, pues por ejemplo pueden haber cambios tan bruscos como 2 ó 3 grados de diferencia entre la Puerta del Sol y la Plaza de Isabel II en tan solo 500 m de distancia.

En el tercer capítulo, los autores mencionan los rasgos esenciales del clima regional ya que el clima urbano es sólo una modificación de aquel, y pasan a desarrollar la estructura de la ciudad y los elementos modificadores ya que «es el factor esencial para explicar su clima». Apartado que se ha detallado en el trabajo anterior.

De igual forma, el siguiente apartado, la isla de calor nocturna, es un resumen de la publicación anterior y los autores nos remiten a ella si queremos conocer más detalles. En éste nos dan consideraciones generales de los tres tipos de isla nocturna con tiempo estable y dos del perturbado y sólo en invierno y en verano ya que en primavera y otoño los rasgos son intermedios. Sin embargo, agregan un apartado sobre humedad y precipitaciones.

La gran variabilidad de las precipitaciones en comparación con las temperaturas y como los factores repercuten en las precipitaciones y humedad, hacen difícil establecer un modelo general para los distintos conjuntos urbanos. Si bien se generaliza la mayor pluviometría en las ciudades frente a su espacio rural más próximo, debido al espacio construido, rugosidad e isla de calor, creando turbulencias mecánicas y térmicas; no hay concordancia en los estudios, para determinar en que época del año alcanzan las máximas diferencias y el peso que tiene cada factor.

La comparación de datos pluviométricos estacionales y anuales para la serie 1982-1988 entre observatorios urbanos y extraurbanos en Madrid, pone de manifiesto no sólo que los urbanos son más lluviosos, sino que dentro de los urbanos, los menos lluviosos se encuentran en las inmediaciones de parques, mientras que los más lluviosos en las áreas con ma-

yor densidad urbana, pero también se da el caso de observatorios de similar emplazamiento que no se rigen por esa pauta.

La Teledetección y su aplicación al estudio del clima urbano, es el cuarto capítulo, en su primera parte, desarrollan todos los conceptos relacionados con la captación remota de la energía infrarroja. Así, tenemos que la temperatura radiante es «la información térmica captada por el sensor», dicho en otras palabras, la radiación que emiten los cuerpos o materiales y que es captada por los sensores. La emisividad, temperatura cinética, las propiedades térmicas y tasa de calentamiento, también son explicadas y aplicadas a ejemplos muy generales de los diferentes elementos de la ciudad.

Las imágenes utilizadas para obtener información radiante del suelo «clave para explorar su importancia climática a escala urbana» pueden ser de dos tipos: las suministradas por los satélites, que abarcan espacios muy amplios y, por tanto, no permite el análisis detallado y las obtenidas por avión.

En este trabajo los autores se centrarán en las segundas tomadas en horas nocturnas, pero sintetizan los resultados de un trabajo anterior (López Gómez *et al.*, 1990), donde utilizaron imágenes diurnas por el satélite LANDSAT.

El primer rasgo destacado de la imagen a nivel subregional es el contraste evidente entre ciudad y campo en cuanto a emisión de calor. En definitiva, la ciudad está reteniendo mayor energía que el campo, congruente con las propiedades de menor difusividad y mayor inercia térmica y conductividad en los materiales que el campo; para luego en horas nocturnas desprender ese calor acumulado, lo que explicaría en gran parte la mayor temperatura nocturna del medio urbano frente al rural.

Para un estudio más detallado y profundo de temperaturas radiantes, se hizo necesario hacer la toma de imágenes por medio de vuelo nocturno a dos alturas (2.400 y 500 m) en la madrugada del 26 de junio de 1986.

De las 75 imágenes tomadas, se escogieron 20 que representan «casi todos los tipos del tejido urbano discernibles en la aglomeración madrileña».

Las temperaturas radiantes «reflejan los valores de radiación emitidos por los distintos materiales que conforman el espacio urbano», la distribución de estos valores determina los mecanismos causantes de la isla de calor; de forma general, lo que demuestra al comparar las diferentes imágenes es la diferenciación de los espacios en función de su densidad y volumen de edificación. Las diferencias térmicas entre la ciudad y el ex-

trarradio están en torno a los 3°, lo que concuerda con el carácter de isla de calor nocturna de Madrid.

La causa se encuentra en que la temperatura radiante de los diferentes materiales está en función de su temperatura absoluta (de la capacidad de absorción del material) y del intercambio de calor con el aire circundante, que depende de la temperatura ambiente. Por lo tanto, las superficies más radiantes son las áreas construidas, le sigue los espacios rurales con escasa o nula vegetación y por último las zonas húmedas y de vegetación abundante. Los mismos resultados se obtienen del análisis térmico.

Estos rasgos generales se complican en la medida en que se detalle el estudio, en las imágenes aparecen una gran variedad de colores que es respuesta a diferentes valores radiantes, relacionados con múltiples factores: orientación y anchura de las calles, y presencia de obstáculos para la radiación emitida por la superficie. Por todo esto es posible encontrar diferencias térmicas en los mismos materiales.

A partir de aquí los autores hacen una detallada descripción de las imágenes tomadas a 2400 m y que forman un rectángulo formado por 12 cuadrados (imágenes) y en dirección S-NE, abarcando desde el extremo inferior izquierdo la casa de campo y el extremo inferior derecho, el barrio de Moratalaz, siguiendo en línea ascendente hasta llegar al área de Alcobendas y alrededores en los extremos superiores izquierdo y derechos. Además de 8 imágenes a 500 m en detalle, 2 de la imagen 1 que es el de Centro, 2 de la imagen 3 referida a la zona del Ensanche norte y zona intermedia, 2 de zona intermedia norte y finalmente 2 fuera del rectángulo en el S, Barrios del Manzanares. Identifican los diferentes elementos urbanos y zonas con sus respectivos colores representando las temperaturas radiantes.

Para terminar, con esta publicación, los autores presentan unas acertadas y clarificadoras conclusiones que resumen la investigación en conjunto, tanto de este último trabajo como del anterior, presentamos las ideas centrales.

Con respecto a la isla de calor con medidas termométricas, se detectan islas nocturnas moderadas (3°-6°C) o intensas (6°-9°C) en mayor frecuencia en invierno con tiempo estable y despejado. Los máximos se localizan en la calle Alcalá, paseo de la Castellana y en el Centro y un mínimo acentuado en la vaguada del Manzanares.

Por su parte, el estudio de las temperaturas radiantes mediante sensores remotos, en las imágenes diurnas, presenta la ciudad más fría que

el campo en verano y otoño, debido, quizás, al más rápido calentamiento del campo. No obstante en algún caso no coincide con las medidas termométricas.

Es patente la disminución de radiación térmica desde el Centro-Ensanche a la periferia, debido a: 1-Recepción del calor solar, que produce efectos de sombra, 2-Tipo de material, sus propiedades térmicas, 3-Orientación en el conjunto de la ciudad.

A los efectos, destacan tres elementos de la tipología urbana: superficies asfaltadas, edificaciones y espacios verdes. Las superficies asfaltadas, son «el conjunto más cálido» de los estudiados, pero hay diferencias en la red viaria debido a la orientación, anchura y situación. Así, las vías de orientación E-W son las que reciben mayor insolación, a excepción en La Moraleja que prevalecen otros factores como la abundancia de arbolado en las W-E, y poca vegetación en las de N-S; de la misma manera, el efecto sombra que produce los edificios según la altura de los mismos. En el Centro y Ensanche destaca la acción de la sombra en el borde meridional de la calle en rosa, frente al rojo general de las vías.

Las grandes superficies, plazas o glorietas y áreas de aparcamiento son focos de calor y adquieren las mismas tonalidades de las calles amplias pero se diferencian por su forma geométrica, si son edificios singulares, se contrastan mejor por la diferencia térmica con sus cubiertas, los materiales de estos unido a la disposición, compacta o abierta, con patios, ajardinados o no, hace notables diferencias en poco espacio.

En el centro o antiguos núcleos, con predominio de techumbre de teja, las edificaciones se confunden con el viario, se reflejan como una mancha naranja con puntos amarillos, mientras que en el Ensanche, zonas intermedias y periféricas, aparecen en naranja o amarillo entre las bien alineadas calles en rosa o rojo, pero en las dos últimas zonas hay mayor número de puntos fríos de cubierta con materiales como pizarras, fibrocemento, o cemento.

De los parques, se puede diferenciar los interiores muy arbolados, que emiten casi la misma radiación que la masa urbana, pero se distinguen por la uniformidad del color naranja con puntos amarillos. Las masas de vegetación de la periferia norte, con zonas de arbolado muy denso y se reflejan con manchas azules y verdes, o los que siguen las vaguadas de los arroyos. Las zonas ajardinadas, ocupadas por césped o por huertas, aparecen como manchas irregulares bastante frías, ya sea en la ciudad o fuera de ella y por último, los espacios abiertos, baldíos o cultivados de ra-

diación media en color amarillo confundiéndose con edificaciones en las zonas intermedias y periurbanas.

«La combinación de estos tres conjuntos diferenciados nos permitirá distinguir tres grandes tipologías de espacios urbanos en función de su temperatura radiante»: Las áreas urbanas compactas con elevadas temperaturas medias (16,1°C), con abundantes focos de calor. Las zonas de menor densidad de edificaciones, se dan en la zona intermedia y periferia próxima, las temperaturas medias descienden al tener menos focos de calor y la tercera, son las zonas rururbanas que en conjunto son más frías, con manchas cálidas aisladas, donde en algunas localizaciones destaca las cubiertas frías y el rosa o rojo de aparcamientos, o el resto, campos sin vegetación con urbanizaciones en la zona que se muestran templados o las zonas húmedas y masa de vegetación arbórea asociadas a los arroyos y vaguadas.

Con las referidas investigaciones se desvela que al menos durante las primeras horas del día, la superficie de la ciudad aparece térmicamente más fría que el campo circundante, por el contrario, en la noche, las zonas rurales y periféricas se enfrían más rápidamente que la ciudad.

Temperaturas nocturnas y diurnas en Madrid a partir de teledetección aeroportada

Esta nueva entrega de los autores, para su estudio utilizan las imágenes de infrarrojo de dos nuevos vuelos, diurno y nocturno (16 y 22 de marzo de 1995) a 2753 m, y de recorrido semejante a los anteriores (dirección S-N) «el cual permitiera obtener imágenes de zonas estudiadas en los transectos y similares en los distintos vuelos.»

En aras a la brevedad y por conocimiento de los trabajos precedentes nos limitaremos a los capítulos 3, análisis e interpretación conjunta de los resultados y el capítulo 5, caracteres térmicos de las imágenes.

Se eligieron zonas representativas de las diferentes tipologías urbanas y las más parecidas a las estudiadas anteriormente: imagen 1, alta densidad de edificaciones e importantes ejes viarios, centro y ensanche y parque del Retiro; imagen 2, situada al NE de la anterior con tipologías urbanas diferenciadas (viviendas unifamiliares, calles con diferentes orientación y anchura y sector importante de la M-30); imagen 3, sur de la ciudad (parte de los barrios de Embajadores, río Manzanares, otro sector de la M-30, barrios del otro lado del río con el parque Tierno Galván y por

supuesto Ensanche sur); por último la imagen 4, periferia norte de Alcobendas con zonas industriales y urbanizaciones representativas como el Soto de la Moraleja.

Se observó que el «ritmo temporal y espacial de las temperaturas es muy similar» al aportado en el anterior trabajo, si bien los valores absolutos son distintos. Las temperaturas medias nocturnas en las zonas urbanas van entre los 3,5°C y 3,9°C; y bajan hasta los 1,1°C en la periferia norte. En las temperaturas medias diurnas, sus valores más bajos se dan dentro de la ciudad (16,9°C y 18,3°C) mientras en la periferia norte y sur se presentan más cálidas (20,1°C y 21,3°C). Los máximos absolutos están en torno a los 46°C tanto para la zona urbana como periferia norte, y para la periferia sur su valor es de 53,3°C. Se pone en evidencia, en los histogramas de frecuencia, que al parecer la diversidad de superficies es la causa principal de la dispersión radiométrica.

Las variaciones espaciales de la temperatura radiante, como ya sabemos, dependen del tipo de viario y edificación. Hay que tener presente que los trabajos de la isla de calor mediante transectos termométricos están referidos a la temperatura del aire, mientras que las imágenes de infrarrojo se refieren a la radiación emitida de los diversos materiales de la superficie urbana.

En cuanto a las temperaturas diurnas, de forma general, el calentamiento urbano es típico de las horas diurnas, si bien varía según la anchura y orientación de las calles (las más anchas y en dirección E-W son más cálidas; las estrechas con más sombra proyectada son mas frescas) y el tipo de edificación y materiales utilizados: las edificaciones industriales muestran altas temperaturas, mientras que otras, con techumbre de materiales menos radiantes muestran dicha temperatura más baja (verde oscuro). Por su parte los espacios verdes y los cuerpos de agua también aparecen en tonos verdes con temperaturas radiantes que van desde los 12,5° hasta los 17,5°.

Las tres imágenes urbanas muestran alta temperatura, pero con diferencias notables. La primera del Centro-Ensanche, las edificaciones son mas aglomeradas y mas cálidas, pero la inclusión del parque del Retiro, hace que su temperatura media llegue a los 18,3°. En la segunda, del Ensanche-zona intermedia, el caserío mas abierto, jardines y un parque, además de construcciones frías, hacen que la temperatura media sea de 16,9°. La tercera imagen, del Ensanche Sur y barrios al otro lado del río, muestran extensas edificaciones industriales y espacios ferroviarios o va-

cíos, lo que hace que predomine el rojo ($>26^{\circ}\text{C}$) con una temperatura media de $21,3^{\circ}$. Ya por último, la cuarta imagen, de la zona periurbana de Alcobendas, hay muchas urbanizaciones ajardinadas, pero también gran espacio industrial, lo que da una media de $20,1^{\circ}$.

Con respecto a las temperaturas nocturnas, las imágenes son «de contornos mucho mejor definidos por el contraste nítido entre las construcciones y los otros espacios y la ausencia de sombras». Las calles muestran el azul claro (7°) mientras que el azul medio se muestra más hacia las afueras y en la imagen periurbana de Alcobendas. Los edificios son todos fríos, dominado el azul medio (5°), al igual que parques y urbanizaciones y en los espacios vacíos el azul más oscuro ($<2^{\circ}$).

Resumen los autores que «las calles ofrecen bastante diversidad de día y se añade el efecto sombra; de noche se dibujan mucho mejor y son más uniformes» pero las imágenes de la noche aún reflejan una radiación residual nocturna considerable, la diferencia entre el día y la noche es de 17° ; con respecto a las construcciones, el enfriamiento nocturno es considerable, en este caso la diferencia de temperatura es más de 20° , pero si se compara las edificaciones industriales con cubierta de menor temperatura diurna, la diferencia va entre los $5\text{-}10^{\circ}$; en los espacios vacíos, la diferencia de temperatura del día a la noche puede ser mayor de 20° , algo parecido pasa con los parques, finalmente los cuerpos de agua son isotérmicos.

A partir de aquí, los autores comienzan hacer un análisis de las 8 imágenes, las 4 diurnas y las 4 nocturnas correspondientes a los cuatro sectores estudiados, en donde tratan los aspectos básicos: trama lineal de las calles o viario, masa de edificaciones y entes específicos como son el parque del Retiro y río Manzanares.

Nos queda por agregar, que como apuntan los autores, con este nuevo estudio se confirman los resultados de las investigaciones anteriores y se añaden nuevos datos, que a pesar de las limitaciones, resulta de interés.

Una notable investigación llevada a cabo durante varios años, donde conjugan perfectamente bien dos grandes áreas de la geografía: La física o si se prefiere más «científica», donde la cuantificación se hace necesaria en vista a una demostración veraz de las teorías o hipótesis planteadas; y la humana o «descriptiva», de la cual hacen uso en su exhaustiva descripción en cuanto a elementos, localización e identificación dentro todo el conglomerado de la superficie urbana y su relación con la periferia.

M.^a DEL CARMEN BEJARANO MEDEROS