



Universidad de Valladolid

Trabajo Fin de Grado

Los climas urbanos en España. El sobresaliente caso de la “isla de calor”

Autora:

Sara San José de la Cruz

Director

Guillermo Calonge Cano (Departamento de Geografía)

Grado en Geografía y Ordenación del Territorio: Facultad de
Filosofía y Letras, 2014

ÍNDICE:

1. INTRODUCCIÓN

- 1.1. Objetivos del trabajo
- 1.2. Fases y desarrollo del trabajo
- 1.3. Introducción respecto al tema

2. NOCIÓN DE LA ISLA DE CALOR

3. EJEMPLOS DE LA INVESTIGACIÓN DE LA ISLA DE CALOR EN ESPAÑA.

- 3.1 EL CASO DE BARCELONA
- 3.2 EL CASO DE MADRID
- 3.3 EL CASO DE VALENCIA
- 3.4. EL CASO DE ZARAGOZA
- 3.5 OTRAS CIUDADES

4. CONCLUSIONES

5. BIBLIOGRAFÍA

1- INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivos del trabajo

Los objetivos del presente trabajo son la valoración del estado de la cuestión en la investigación de los climas urbanos en España y en consecuencia, el fenómeno más famoso y conocido: “La isla de calor”, es decir, lo que se ha investigado y lo que por hacer, así como aportar mi opinión sobre aquello.

Voy a encargarme de ver la relación existe entre el hombre, la ciudad y sus repercusiones climáticas. O sea, como la ciudad influye sobre el clima urbano debido a la contaminación y el alto poder calorífico de los edificios. Creo que es significativo conocer la relación entre la ciudad, los elementos que la contaminan (muchos de ellos, por no decir la mayoría, son derivados del ser humano por sus malas prácticas) y de qué manera influyen estos últimos, en el clima. Es un tema muy importante, ya que como veremos más adelante, conforme vayamos avanzando en este trabajo, el simple hecho de tener 4 o 5 °C más (por el fenómeno de la “isla de calor”) repercutiría en el consumo energético, en verano se gastaría más energía a través de los aires acondicionados. Puede parecer un tema baladí, pero como ya he dicho, influye en el consumo de energía. En invierno, el calor nos beneficiaría, pero claro, al haber “isla de calor” habría contaminación, nociva para nuestra salud. Debemos saber, según un estudio del IDEA, que por cada grado que se aumente en la programación de la temperatura de la vivienda, el consumo energético asciende un 7%. Por lo tanto, en el presente trabajo demostraré como es un tema fundamental, que mucha gente desconoce o esta desinformada, y obviamente es fundamental.

1.2. Fases y desarrollo del trabajo

Las fases que se han seguido en el desarrollo del Trabajo han sido las siguientes:

- ❖ Recopilación, lectura y comprensión de una amplia bibliografía sobre el tema de estudio, tanto libros como capítulos de libro, artículos científicos y páginas web. He decir en este apartado, que me ha sido muy difícil encontrar bibliografía reciente (de cinco a diez años) acerca de este tema, ya que muy poca gente lo investiga, dado quizá su alto coste y su elevada dedicación. Por eso, la gran

mayoría de los libros y artículos son de la década de los noventa. El Director del trabajo me ha facilitado también mucha bibliografía y me ha abierto las puertas a buscar otra.

- ❖ Elaboración y discusión del índice del trabajo, intentándose a partir de los apartados y subapartados planteados conseguir un enlace lógico y un discurso ordenado de los distintos aspectos a desarrollar. De esta manera, me ha parecido lógico establecer un bloque introductorio para “entrar en materia”, seguido de la noción en sí de la “isla de calor”, poniendo de manifiesto ejemplos de ciudades españolas donde se ha trabajado acerca de este tema. También expongo unas conclusiones finales, en las que recalco el tema fundamental y lo pongo en relación con el Cambio Climático, un tema muy a la orden del día y que tiene relación con la “isla de calor”; para finalizar, expongo la bibliografía utilizada para realizar el presente estudio.
- ❖ Por último, se llevo a cabo la composición y exposición formal del Trabajo, siguiendo el esquema fijado anteriormente.

1.3. Introducción y antecedentes respecto al tema

La ciudad es el paisaje humano por excelencia, así, en la urbe, la acción del hombre alcanza su máxima plenitud, incluso en aspectos que ni sospechamos, tales como: en la composición del aire, la temperatura, los vientos, las precipitaciones, de gran valor medioambiental, ya que afectan directamente al conjunto de los habitantes.

Así, me parece importante analizar la relación entre el hombre y la ciudad, para ver como interfiere en el clima. Es decir, ver la relación entre hechos espaciales físicos y humanos.

La contaminación del aire, me parece un aspecto muy importante a tratar, ya que repercute en niveles superiores, como puede ser la destrucción de la capa de ozono, pero también en niveles inferiores, como pueden ser las ciudades en las que habitamos.

Desde hace siglos, es conocido que la temperatura en la ciudad es más elevada que en el campo, sobre todo por la noche. Con el paso de los años, muchos han sido los investigadores que se han interesado por este tema, como Hann, Martins, Renou, Kratz, Chandler que se interesó por el clima de Londres en 1967, que fue la primera

publicación en detalle sobre una ciudad, esta publicación ha sido un hito resaltado en la climatología urbana.

En España, hasta el S-XVIII, no se utilizan aparatos para medir las temperaturas, y de manera sistemática, mediados del S-XIX.

Lo ideal, es ubicar los observatorios meteorológicos a las afueras de las ciudades o en ciertos parques que presenten una calidad ambiental considerable, para conocer así, el clima regional.

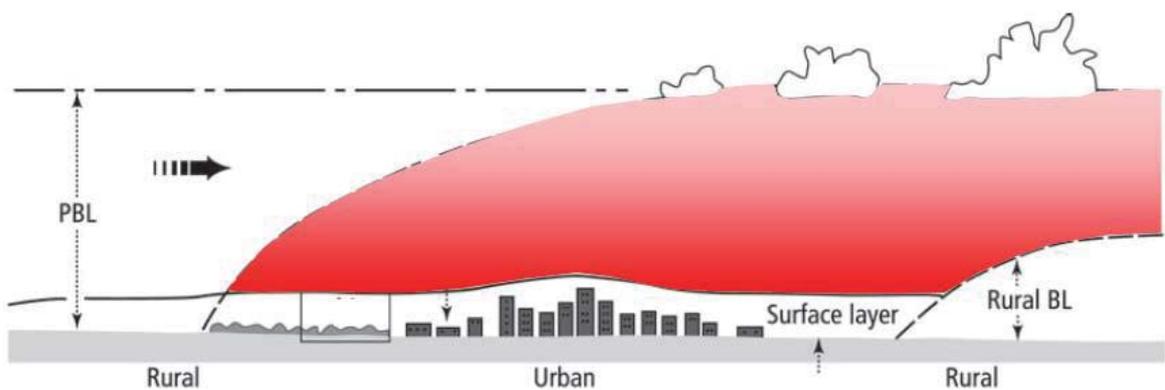
Todos los estudios que se han realizado con respecto a este tema, coinciden en afirmar que la ciudad modifica y perturba los elementos del clima regional, aunque, obviamente, los rasgos básicos de éste se mantienen. Importante destacar, entre las perturbaciones, la contaminación del aire, porque es capaz de alterar la llegada de la radiación solar e intercepta la terrestre. También tenemos que tener muy en cuenta, el tamaño y la forma de los edificios de la ciudad (materiales, volumen) y de las calles, con sus características térmicas y dinámica del aire. Importante también la densidad del tráfico y las actividades económicas que se desarrollan en dicha ciudad. Obviamente, cuanta más industria, cuanto más tráfico rodado y habitantes tenga una ciudad, mayor será el incremento de temperatura en ésta, respecto a sus alrededores.

En resumen, la definición de clima urbano, se efectúa en términos de comparación con su entorno rural o alrededores, es decir, se refiere a la mesoescala o a la escala local, a diferencia del clima regional.

Así, por estos argumentos expuestos y dada la relevancia y la importancia que personalmente, presenta este tema, me voy a adentrar en conocer más afondo los climas urbanos de las grandes y medianas ciudades. He decir también, que no sólo se han investigado estos temas en España, sino también en los países menos desarrollados y emergentes, por ejemplo en Sao Paulo se ha llevado un estudio del fenómeno, publicado en el libro escrito por Magda Adelaide Lombardo, de título “Ilha de calor nas metropoles: O exemplo de Sao Paulo”. Este libro trata sobre aspectos como la alteración que supone la “isla de calor” en la flora y en la fauna, como influye este fenómeno en la población, si la disminución de zonas verdes interfiere en el aumento de la “isla de calor”. Obviamente, queda mucho por hacer, por estudiar e investigar y sobretodo en estos países, donde tienen temas prioritarios por resolver, como el hambre, conflictos bélicos.

2. NOCIÓN DE LA ISLA DE CALOR.

Como ya he dicho, los espacios urbanos tienden a poseer una temperatura más elevada que las zonas rurales de sus entornos y alrededores, como resultado de las sucesivas transformaciones de la ciudad, como el reemplazo de la cubierta vegetal por edificios y calles (Figura 1). Cuando los edificios y las calles absorben una mayor cantidad de radiación solar, se calientan e irradian energía calorífica al aire circundante induciendo una elevación de la temperatura local. Este fenómeno es conocido como “Islote o Isla de Calor Urbana” (Oke, 1978; Landsberg, 1981; Voogt et al., 2003; Rosenzweig et al., 2005). Este término fue acuñado por primera vez por Manley en 1958 (the urban heat island).



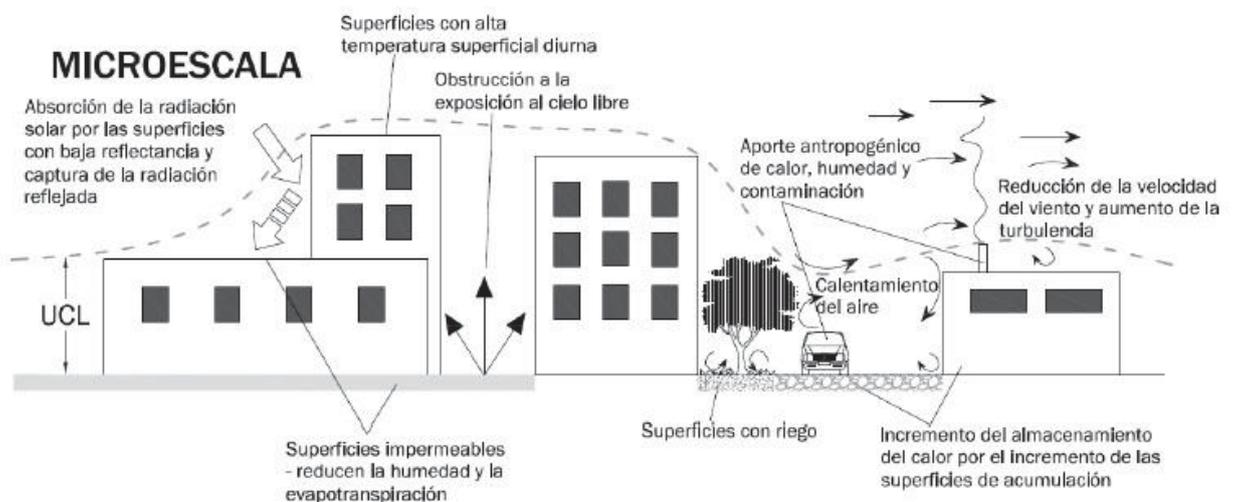
[Figura 1. Isla de calor Urbana (Oke TR, Boundary Layer Climates, 1978).]

Respecto a la generación de “la isla de calor”, decir que la contaminación ocasiona que la ciudad reciba de un 10 a un 30% menos de radiación solar, pero esa disminución está considerablemente sobrepasada por otros factores positivos (López Gómez A. et al):

1. La radiación de onda larga emitida por la superficie urbana o también conocida como radiación infrarroja. Esta radiación no es visible para el ojo humano pero sus efectos se revelan al emitir energía térmica al medio ambiente. Esta radiación depende directamente de las características del material de los edificios y de su relación con el medio.

2. La radiación reemitida al suelo por la capa de contaminación. Debido a la gran masa de edificios y el pavimento de las calles, que acumulan el calor solar recibido y lo emiten posteriormente. Los materiales de los pavimentos y de los edificios son de bajo calor específico, lo que se plasma en temperaturas diurnas y, por tanto, en las máximas diarias relativamente cálidas. Debido al desarrollo de las edificaciones en vertical aumenta –con respecto a la escueta horizontalidad- la cuantía de las superficies irradiantes de energía calorífica, lo que excede en el incremento de las temperaturas diurnas y máximas diarias.
3. En la ciudad la superficie es impermeable y con una ligera escorrentía, siendo reducidos los espacios verdes; este decremento de zonas verdes, se traduce una reducción de la evapotranspiración, elevando de manera proporcional la temperatura urbana.
4. Se suma el propio calor que crea el hombre, industrias y los automóviles.
5. El viento es habitualmente menos intenso (aunque hay casos inversos) por lo que es menor la pérdida de calor sensible por tal motivo.
6. Debe sumarse la mayor absorción de la radiación solar por la captura que se produce en las calles y edificios, y durante la noche la radiación es menor porque se reduce el “cielo libre” que es el porcentaje de cielo visible desde cualquier punto. (sky view factor).

Algunos de estos factores, están muy bien reflejados en la figura 2.



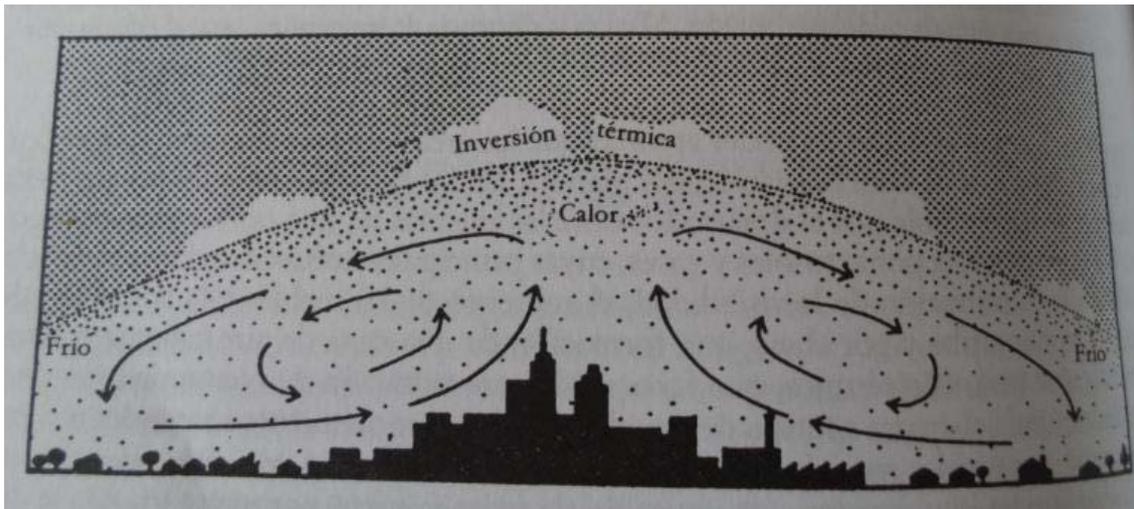
[Figura 2. Procesos que interactúan en el clima urbano a mesoescala y microescala. I. Fuente: Tumini, E. Higuera García adaptado de Voogt J. How Researchers Measure Urban Heat Islands.]

Debido a la “isla de calor urbana”, la temperatura media anual es de 1°C a 2°C superior a las áreas rurales circundantes. Destacar que durante las situaciones atmosféricas anticiclónicas, los incrementos térmicos son del orden de 3°C a 6°C en relación a las áreas rurales circundantes. Por ejemplo, en las grandes ciudades como Madrid y Barcelona se han dado temperaturas de 5°C más altas en las áreas urbanas centrales más contaminadas, que en la misma periferia urbana, lo que nos hace pensar en los vehículos y en la alta densidad de edificación, como causa de la elevada diferencia de temperaturas. Importante también, como en las latitudes templadas, se estima que las ciudades tienen un periodo libre de heladas de tres a cuatro semanas más amplio que en las áreas rurales circundantes.

De la misma manera, se ha registrado un viento débil, llamado brisa campestre, desde las áreas rurales vecinas hacia el interior de las ciudades, siempre que el viento “general” no sobrepasa cuantías del orden de 40 km/hora, debido a que “la isla de calor urbana” crea una baja presión relativa.

Para que se produzca la “isla de calor urbana” tiene que darse una importante contaminación en el aire y que el lecho urbano donde se da, presente un importante tamaño. La diversidad proviene de los materiales de pavimentos y edificios, los volúmenes edificados y la proporción de espacios verdes. Poniendo como ejemplo nuestra Comunidad Autónoma, Castilla y León, Valladolid alcanza el rango de “isla de calor” con claridad, así como Salamanca, León y Burgos.

En las grandes ciudades, como podemos ver en la figura 3, la impureza del aire se hace visible por el desarrollo sobre las mismas de una cúpula de polvo, compuesta por aerosoles y gases, cuyas principales consecuencias sobre el clima son la disminución de la visibilidad, el aumento de las nieblas y la absorción de radiación por arriba y por abajo, con la formación de una capa de aire caliente a cierta altura y una inversión térmica, que favorece la concentración de contaminantes dentro de la cúpula al actuar a modo de tapadera sobre los movimientos ascendentes. Por esta razón, los niveles más altos de contaminación se alcanzan con situaciones de estabilidad atmosférica y acentuada inversión de temperaturas, impidiendo la dispersión vertical de las partículas.



[Figura 3: Sistema de brisas en la atmósfera urbana generada por la “isla de calor” cuando los vientos regionales son débiles, con la formación de la característica cúpula de polvo por debajo del nivel de inversión (según Zárate, 1994)]

Las ciudades cuya “isla de calor” tiene entidad climática, presentan un descenso del 5% al 10% en cuanto a la humedad relativa y un incremento del 10% en lo referente a la humedad absoluta (cifras de referencia en París) con respecto a las áreas rurales circundantes. De facto, la humedad del aire urbano no parece ser uno de los factores explicativos del aumento de las precipitaciones, que se cifra entre el 5% y el 11% en el promedio anual pluviométrico. Esos factores son:

- Incremento de la turbulencia del aire, como consecuencia de las diferentes cualidades térmicas de los materiales urbanos y a la variada morfología de calles y edificaciones.
- Contaminación con profusión de aerosoles, que actúan como núcleos de condensación y congelación.
- Convección térmica y brisas campestres.

Como ejemplos del aumento pluviométrico anual, podemos citar las ciudades de Barcelona y Madrid. Así, en el caso de Barcelona –según L. M. Albentosa, en las tres primeras décadas del S-XX, se registró un incremento del tanto por ciento con respecto a las tres décadas del anterior (1871-1900).

En el caso de la ciudad Madrileña –según F. Fernández García-en el periodo 1982-1988, el conjunto urbano sobrepasa a Barajas y a Getafe en el 17% y 19% respectivamente, y El Retiro en el 9-11%.

El ritmo intra-anual de las precipitaciones no es fijo, puesto que no hay ninguna pauta general. Por ejemplo, en París aumento en verano con respecto a la periferia y ésta en otoño y primavera. En Madrid durante el verano el conjunto urbano y El Retiro, presentan una baja ligera con respecto a Barajas y a Getafe.

En cuanto a los tipos de precipitaciones, se da un incremento de días de lluvia, así, durante el periodo 1961-88, en El Retiro de Madrid, fueron 101 días, mientras que en Barajas fueron 79 y en Getafe, 77. Se produjo un incremento de la intensidad horaria y de los días con cuantías altas (superiores a 15 mm) y un incremento del número de días con menos de 5 mm.

Respecto a las nieblas, decir que existen distintos tipos de nieblas según la dinámica atmosférica ajena a la influencia de los climas locales urbanos. Las más frecuentes son debidas a subsidencia anticiclónica con fenómenos de inversión térmica. Una vez generadas, la “cúpula de polvo” urbana (hasta una altura de 200-300 metros) reduce la radiación solar absorbida por el suelo, y por ende, realimenta las nieblas. Es decir si la “isla de calor” es muy acentuada, las nieblas son más duraderas y más intensamente reductoras de la visibilidad en las ciudades que en las áreas rurales próximas.

Por el contrario, si la “isla de calor” es acentuada (en torno a 2°C más en la media anual), se ha demostrado recientemente que se reduce la frecuencia de las nieblas y aumentan las horas de insolación directa. Según G. Escourrou en el periodo 1971-80, el centro y las áreas más urbanizadas de París, tenían entre 14 y 4 días de niebla al año, mientras la periferia poco urbanizada alcanzó 58 días, podemos ver como la diferencia es grande.

Las urbes han generado nieblas contaminadas de dos tipos:

- ❖ Nieblas ácidas con predominio en lugares con climas templado-húmedos. Se depositan gotas ácidas (sulfúricas y nítricas) muy perjudiciales para las vías respiratorias, los vegetales y superficies de edificios.
- ❖ Nieblas o “smog” fotoquímicas con formación por oxidación de ozono y nitrato peroxiacilo (PAN), este último es un contaminante atmosférico tóxico e irritante. Predominan en lugares con climas templado cálidos y perjudican principalmente la piel, pudiendo incluso producir cáncer en la misma, dado que son mutagénicos. Los PAN también son lacrimógenos, ocasionando irritación en los

ojos en concentraciones bajas, sin embargo, en concentraciones más elevadas, pueden causar grandes perjuicios a la vegetación.

Además de los gases y aerosoles de origen humano introducidos en el aire urbano, para valorar los factores que explican o agravan la contaminación hay que tener en cuenta los siguientes factores: dónde está ubicada la ciudad, así como su forma y usos espaciales de la misma; también tendríamos en cuenta la periodicidad de la dinámica atmosférica anticiclónica benefactora de las nieblas.

En lo que confiere a la mitigación de la “isla de calor urbana”, decir que el clima urbano severo es ocasionado en mayor proporción por factores derivados de la ciudad que por las condiciones meteorológicas en sí. En este rumbo, varios estudios han investigado considerablemente las diferentes medidas de mitigación que se podrían llevar a cabo para paliar el efecto de “isla de calor urbana” y sus beneficios energéticos, ambientales y económicos.

Las medidas de mitigación del clima urbano están orientadas en tres direcciones:

- ❖ Aumento de zonas verdes en el entorno urbano para aumentar la evapotranspiración - pérdida de agua de las plantas hacia la atmósfera como consecuencia a la evaporación y a la transpiración-. Yo creo que a la mayoría de la sociedad le gustan los espacios ajardinados induciendo a ésta, efectos favorables en su psicología.

- ❖ Reducción de las temperaturas de la superficie a través del uso de materiales apropiados al ambiente urbano y a la edificación. Las características de los materiales que forman los edificios establecen en una elevada proporción el clima urbano. Características como el albedo y la emisividad de los edificios tienen una gran importancia en el balance de energía urbana (Santamauris, 2001). Usar materiales con un alto albedo, supondría que almacenarían menos calor (edificios de colores claros). Las cubiertas reflejantes, también ayudarían a combatir el efecto de la “isla de calor”

- ❖ Desarrollar un adecuado planeamiento urbano que contemple la mitigación como una primacía, haciendo hincapié en un buen control y una óptica en la configuración de los espacios. El promotor, debería tener en cuenta aspectos medioambientales a la hora de edificar, para así ahorrar energía y lograr un

confort entre el medioambiente y los habitantes de una ciudad. A través de la orientación de los edificios, puede ser controlada la cantidad de calor recibida. Las calles con una orientación N-S, no quedan expuestas todo el día a los rayos del sol, como las calles con una orientación E-W. También son muy favorables las calles estrechas para disminuir el calor concentrado, por la sombra recíproca de los edificios. Pero claro, en los meses más fríos, esto se convierte, en cierta medida, en un inconveniente, ya que en esos edificios, debido a la sombra recíproca, hay que gastar una mayor cantidad de energía para calentarlos. Muy recomendable sería, alrededor de los edificios disponer de espacios verdes con el fin de consumir menos energía por refrigeración.

3. EJEMPLOS DE LA INVESTIGACIÓN DE LA “ISLA DE CALOR URBANA” EN ESPAÑA.

3.1 EL CASO DE CATALUÑA

El alto grado de urbanización del territorio, hace que dos terceras partes de la población catalana vivan en unas condiciones climáticas modificadas por causa urbana, y gocen o padezcan unos climas urbanos particulares significativamente contrastados con los del entorno periurbano o rural. También, una cuarta parte de la población está sometida a una ligera pero no despreciable modificación climática por el mismo motivo (López Gómez et al).

El área metropolitana barcelonesa está definida por un clima mediterráneo de carácter marítimo, por su ubicación litoral. Según el INE, en la estación meteorológica de Barcelona (aeropuerto) en el año 2012, la temperatura media fue de 17°C. La media de las máximas alcanza 21°C, y la de las mínimas, alrededor de 11°C. La temperatura media del mes de enero oscila entre 9 o 10°C, en los meses estivales (Julio y Agosto) de 24°C. Las precipitaciones son de 446 mm, en la estación meteorológica del Aeropuerto de Barcelona.

En lo que confiere a los aspectos urbanos, El Área metropolitana de Barcelona (AMB), ofrece servicios a 36 municipios con una población de 3.239.337 habitantes (INE, 2012) en una extensión de 636 km² y una densidad de 5.093 hab/km². Barcelona es el

municipio más extenso y poblado, le siguen, teniendo en cuenta el número de habitantes, Hospitalet de Llobregat, Badalona y Santa Coloma de Gramenet.

En los estudios sobre la “isla de calor” en las ciudades catalanas, en especial del área metropolitana barcelonesa, se ha procurado extremar al máximo el cuidado en detectar la verdadera influencia urbana, aislando, en la medida de lo posible, la modificación producida por la urbe, de otros factores capaces de establecer diferencias entre las zonas urbanas y rurales, como podrían ser la altitud o la continentalidad (López Gómez et al). Podemos evaluar la alteración meteorológica producida por la urbe (siguiendo el esquema citado por López Gómez) de Lowry, mediante la diferencia entre los valores medidos en el centro de la ciudad y en su entorno periférico, en un momento determinado, si sus localizaciones o enclaves son geográficamente equivalentes. En el caso del área metropolitana barcelonesa, la altitud y la distancia al mar presentan amplios rangos de variación, por lo que ha de analizarse con mucha precaución la elección de los puntos, periférico y urbano, para establecer las comparaciones.

Destacar que de la elección del punto del centro urbano y del periférico, para aplicar el esquema de Lowry, dependerán los valores de la modificación urbana obtenidos para cada uno de los elementos meteorológicos considerados. Por ejemplo, si se considera la modificación en el campo de temperaturas producidas por la ciudad, lo que luego se denominará intensidad o magnitud de la “isla de calor” no será siempre la diferencia máxima entre los registros, para un instante determinado, de un punto del centro urbano y otro cualquiera de fuera de la ciudad.

Otro problema común en el estudio, es el carácter periférico o periurbano del punto de contraste fuera de la ciudad. Al igual que en otras ciudades, en las catalanas es complicado trazar una frontera nítida entre la ciudad y el espacio circundante; a menudo existe una gradación de niveles de urbanización. Así, en el caso de la temperatura, suele darse con frecuencia, un “escarpe” en los registros térmicos de los recorridos, o sea, un brusco incremento, que establece la frontera meteorológica de la ciudad, este “escarpe” garantiza, en cierta medida, que los puntos periféricos tomados son buenas referencias “no urbanas”, para comparar las diferencias térmicas entre las desigualas de la urbe en sí, y de sus alrededores en diferentes ciudades.

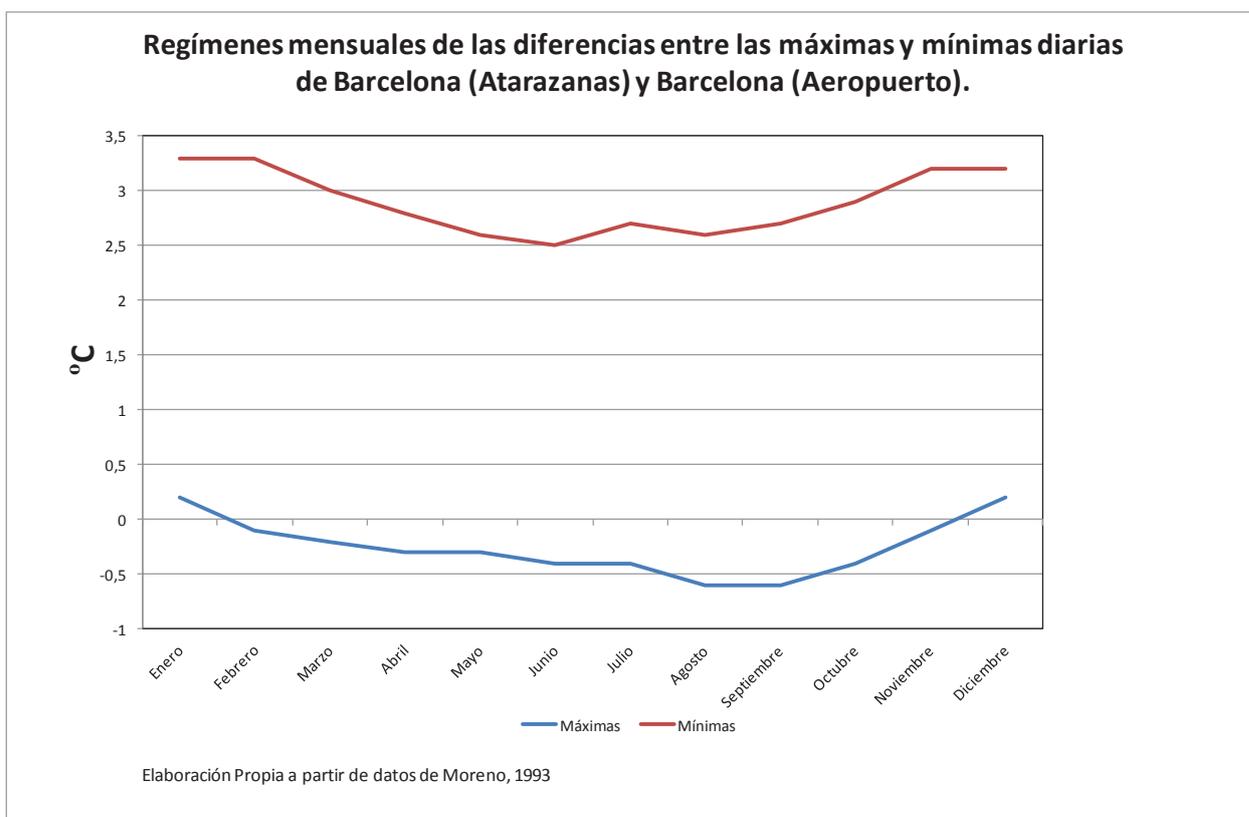
Una ventaja, para el estudio de las modificaciones climáticas en el caso de Barcelona, es la existencia del observatorio del aeropuerto en unas condiciones geográficas, de distancia al mar y altitud, comparables con las de algunos barrios bajos de la ciudad. Precisamente, uno de los observatorios oficiales de Barcelona se localizó en las proximidades de las Atarazanas (en una terraza fluvial, pero con una altitud y distancia al mar similares a las del observatorio del aeropuerto). Si comparamos los registros de los observatorios evaluaremos con bastante precisión la influencia urbana en el clima del área barcelonesa.

Una de las metodologías más usadas en el estudio de la distribución espacial de los valores de la temperatura, humedad del aire, sobre un área urbana y su entorno rural o menos urbanizado es la de los “transectos”. Esta metodología, se ha seguido en todas ciudades catalanas, salvo Tarragona, para detectar las características de la disposición de la “isla de calor”. El objetivo de los “transectos” térmicos es multiplicar el número de puntos de observación en un área tan complicada como la urbe y su entorno, para lograr un conocimiento microclimático, imposible de alcanzar con los registros de los insuficientes observatorios fijos. En todas las ciudades estudiadas se han utilizado automóviles, dos sincrónicos en el caso del área metropolitana barcelonesa, dotados con los instrumentos de medida adecuados, termo-higrómetros digitales de baja inercia. Los transectos se han ejecutado con cierta rapidez, con el fin de que el intervalo de tiempo que acontece entre el inicio y el final del recorrido fuera relativamente breve.

La modificación más clara y comprobada que producen las áreas urbanas sobre el clima del área en que se asientan lo constituye el fenómeno de la “isla de calor”, como modificación del campo de temperaturas, concretada en una anomalía térmica positiva de los centros urbanos por contraste con la periferia y el espacio peri-urbano, no urbano o rural circundante. Tal anomalía, se comportan en promedio, una temperatura media anual significativamente más alta en el centro que en el entorno urbano.

M^a C. Moreno analizó detalladamente en su tesis de doctorado (Moreno, 1993), las diferencias entre las temperaturas máximas diarias de ambos puntos (aeropuerto-Atarazanas). El promedio anual de las diferencias entre las temperaturas máximas diarias es de -0.2°C y el de las mínimas de 2.9°C . Esto significa que Barcelona (al menos en su parte más baja) es 2.9°C más cálida que su aeropuerto durante la noche

(madrugada). Durante el día, su temperatura es inferior a la del aeropuerto en tan sólo dos décimas de grado.



[Figura 4: Regímenes mensuales de las diferencias entre las máximas y mínimas diarias de Barcelona (Atarazanas) y Barcelona (Aeropuerto).

La figura 4, muestra que la ciudad de Barcelona es, en cualquier mes, durante la noche notablemente más cálida que su aeropuerto: más de 3° de Noviembre a Marzo, con máximos en enero y febrero de 3.3°C. Durante el día, y también con promedios mensuales, la ciudad es sólo muy ligeramente más fresca que el aeropuerto, hasta 0.6°C en agosto, en todos los meses, salvo en diciembre y enero. Por lo tanto, “la isla de calor” es más intensa en la época invernal y por la noche.

La “isla de calor” no se genera únicamente por la producción de calor –antropogénico– desprendido de las múltiples combustiones urbanas (tráfico rodado, calefacciones). En el caso de Barcelona y de otras ciudades catalanas litorales, con inviernos notablemente suaves (alrededor de 11-12°C), el calor por habitante desprendido en las calefacciones es relativamente modesto con respecto al correspondiente a otras ciudades más frías.

La causa más importante, es el inmenso almacenamiento de calor durante el día en la ciudad, merced a las propiedades térmicas y caloríficas de los materiales de construcción urbanos, y su devolución a la atmósfera durante la noche. Destacar el bajo albedo de las ennegrecidas fachadas de los edificios de Barcelona, que favorece la absorción diurna de la radiación solar.

También tiene importancia, la disminución de la evaporación, como causa de la sustitución de la superficie original por un suelo pavimentado, de la misma manera, decir que tanto en Barcelona, como en otras provincias catalanas analizadas, tienen una superficie muy reducida los espacios ajardinados.

Otras causas, de menor entidad pero de cierta relevancia y de difícil evaluación pueden ser: la menor pérdida de calor sensible como causa de la reducción de la velocidad del viento, el aumento de la absorción de radiación solar por la “captura” que produce la peculiar morfología de calles y edificios, el aumento de radiación de onda larga que es absorbida y reemitida hacia el suelo por la contaminada atmósfera urbana y la disminución de la pérdida de calor durante la noche por irradiación, debida al reducido factor de visión del cielo.

En el estudio de la isla de calor en el área metropolitana de Barcelona, el fenómeno se estableció caracterizado geográficamente por tres parámetros: la intensidad, la localización del máximo térmico y la forma o configuración. Obviamente, estas características varían de unas ciudades a otras en función de factores temporales –hacen referencia al momento del día y a la época del año-, urbanos –dependen de las características de cada ciudad-, meteorológicos- estado de la atmósfera-, geográficos –ubicación de la ciudad-.

La intensidad de la isla de calor se ha evaluado mediante la diferencia máxima observada, en un instante determinado, entre la temperatura de un punto de la periferia y otro punto del centro de la ciudad. En las horas nocturnas y de madrugada se produce la máxima intensidad de la “isla de calor”, con más concreción, de una a tres horas después de la puesta del sol. Por el contrario, al mediodía la ciudad tiende a ser más fresca que la periferia. En invierno y en otoño, se dan más diferencias térmicas entre la periferia y el centro.

Claro está, que las condiciones meteorológicas son definitivas en el valor alcanzado por la intensidad de la isla de calor, siendo la velocidad del viento el elemento ante el que el fenómeno muestra una mayor sensibilidad. Al igual que en otras ciudades, en Barcelona a medida que se incrementa la velocidad del viento la diferencia entre el centro y la periferia disminuye. La nubosidad también tiene su importancia con respecto a la "isla de calor", de esta manera, cuantas mas octas de cielo cubierto –sobre todo si son nubes bajas- menor es la intensidad de la "isla de calor".

En síntesis, si consideramos factores meteorológicos y temporales, la intensidad de la isla de calor es alta, en noches con viento en calma o flojo y cielos rasos o poco nubosos, condiciones que suelen darse bajo situaciones en calma anticiclónica. Pero no sólo este fenómeno se produce en situaciones anticiclónicas en Barcelona, también en situaciones que conllevan flujos fríos o frescos de componente norte

Respecto a la forma presenta la "isla de calor":

Si bien es cierto, que la "isla de calor" muestra una configuración espacial horizontal, reflejada gráficamente mediante la disposición de las correspondientes isotermas. La forma de la "isla de calor" pende en mayor medida de factores de tipo urbano, o sea, de la geometría de la ciudad. Sin embargo, la escasez de parques y jardines y la alta densidad edificatoria en las ciudades catalanas inducen pocas anomalías térmicas negativas en el área relativamente cálida que corresponde a la "isla de calor", con distribuciones cerradas de isotermas, más o menos concéntricas.

La "isla de calor" también se manifiesta en el municipio de Molins de Rei, ubicado en la comarca del bajo Llobregat y con una intensidad del fenómeno de 2°C; en Igualada localizado en la cuenca interior de Odena cuya intensidad del fenómeno rebasa en situaciones anticiclónicas los 3°C; Sabadell, localizado en la depresión prelitoral catalana; también se manifiesta en Terrassa, en Hospital de Llobregat con una intensidad de 2.2°C y máxima de 4.4°C (López Gómez et al).

3.2. EL CASO DE MADRID Y SU ENTORNO

Las alteraciones propias del clima urbano se registran con gran nitidez en **Madrid** ya que su tamaño, con 3.207.247 millones de habitantes, según el INE (2013), ocasiona variaciones notables con respecto al clima regional. Merced al relieve, la morfología de la ciudad y otros factores, en Madrid, como en otras ciudades, hay espacios climáticos distintos.

Con respecto al clima regional, decir que debido al aislamiento del mar, existen marcados contrastes de temperaturas y diarios. En el aeropuerto de Barajas, hay una amplitud en torno a 9°C entre la media de las máximas y de las mínimas. Los inviernos son fríos, la media de enero en torno a 6.7 °C, sin embargo, los veranos son cálidos en torno a 26 ° C en Julio (datos INE, 2012, estación meteorológica del Retiro). En cuanto a las precipitaciones son reducidas, en torno a los 400 mm, con el típico régimen mediterráneo; es decir un mínimo evidente en verano. Destacar también que la zona del Noroeste es más lluviosa que el Sureste. La alteración que se produce en la ciudad es de gran índole, sobre todo por el aumento de temperaturas de varios grados; varían los elementos, pero no cambia el clima regional. (López Gómez et al).

La estructura de Madrid es la causa de las modificaciones, en los que interactúan tres aspectos fundamentales, éstos son: las actividades, el desarrollo de los espacios urbanos y el relieve.

Entre las actividades, como suplemento de calor encontramos las calefacciones, el tráfico y las fábricas e industrias. Con respecto al tráfico, destaca el gran eje Norte-Sur de la castellana y las autopistas M-30 Este y Oeste. Con respecto a las industrias, decir que no hay aglomeraciones industriales relevantes que originen calor en la ciudad, se podrían señalar como espacios industriales Getafe y Villaverde. Un caso muy importante, es la fábrica de Aristráin, establece un pico aislado y muy vistoso, creando una “microisla de calor”.

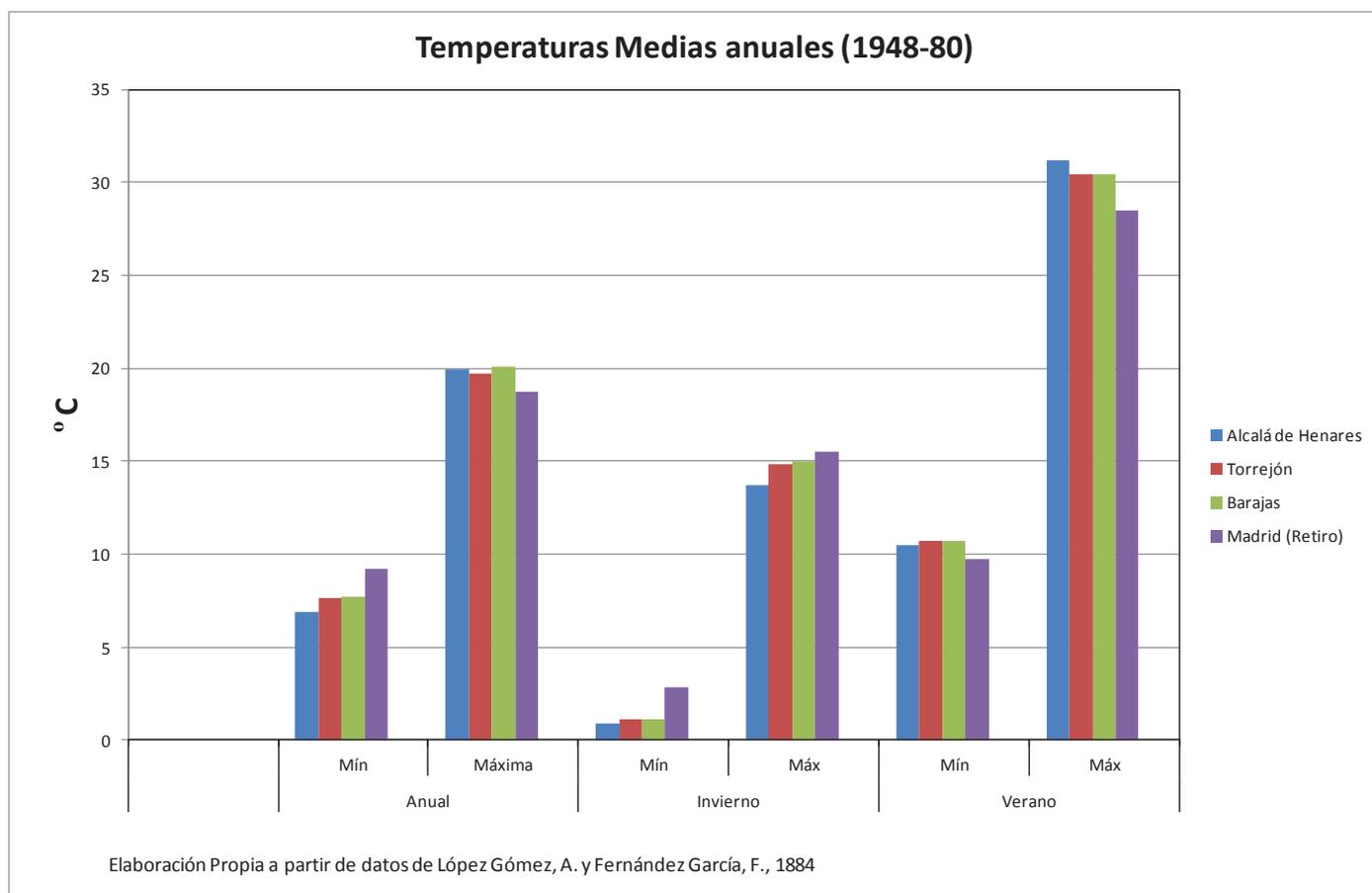
En lo que respecta a los espacios urbanos, podemos diferenciar tres espacios: El Ensanche, el Centro y la extensa periferia. El Ensanche con una disposición de las calles Norte-Sur y Este-Oeste, es debido a la trayectoria de los vientos del NE y del SW.

En el centro abundan las calles estrechas e irregulares, y muchísimas de ellas, en cuesta. Aquí se desarrolla el centro de actividades terciarias y la población está muy envejecida.

Con respecto a la periferia, decir que es muy diversa, y muchas veces no se ha tenido en cuenta la planificación urbanística, con lo cual, los barrios son abigarrados.

Las características más importantes de “la isla de calor” son la periodicidad e intensidad y las variaciones espaciales y temporales que muestra, atributos atañidos directamente con los factores que asisten a su formación. De esta manera, la tipología y la densidad de los edificios del entorno contiguo donde se localiza el observatorio son componentes urbanos, que se reflejan claramente en la intensidad y en la frecuencia del fenómeno.

Para ver las características más importantes del fenómeno y sus manifestaciones, en Madrid se han tomado como referencia cuatro observatorios meteorológicos, éstos son: Barajas (espacio poco afectado por la urbanización), Retiro (en el corazón de la ciudad pero en un parque), el de la Ciudad Universitaria (urbanizaciones poco densas) y el observatorio de Plaza de Castilla (zona de intenso tráfico).



[Figura 5. Temperaturas medias anuales (1948-1980)]

En la figura 5, comparando los valores térmicos anuales, se pone en evidencia algunos de los rasgos más reveladores de las distas entre Madrid y su entorno más inmediato. Vemos como en el Retiro, se registran las temperaturas mínimas más elevadas y estas descienden lentamente conforme nos separamos de la ciudad, siendo Alcalá de Henares, el núcleo más lejano, el que registra los valores más bajos. Sin embargo, en las máximas, la relación se invierte y las diferencias son positivas a favor de las áreas suburbanas, un grado más cálidas.

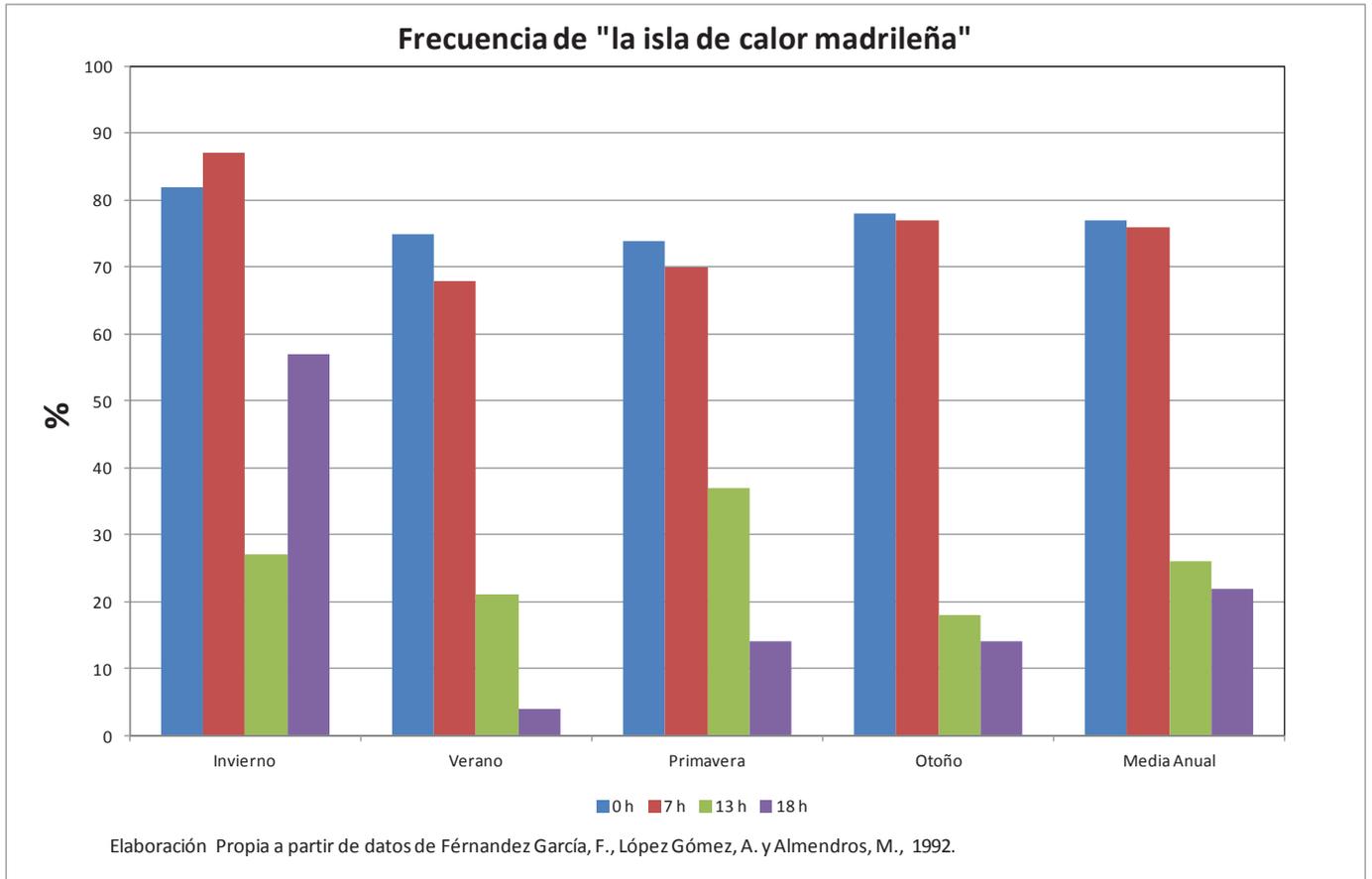
Pero, no siguen las mismas pautas las temperaturas estacionales, en invierno con unas mínimas medias más elevadas en Retiro y unas máximas levemente superiores; en la época estival ambas son superiores. Así, el carácter cálido de Retiro declina en invierno, en las mínimas.

Algunos estudios señalaban una intensificación en “la isla de calor” en verano, pero el estudio de Landsberg (1981), dice que la ciudad se mantiene más cálida durante todo el año, aunque con diferencias más pronunciadas en la época estival y durante el día. El origen de esta “anomalía” la investigaremos en la ubicación del Retiro; es decir, este se ubica en un extenso parque de 120 Ha y rodeado de edificios. Esto significa, que las mínimas y la vegetación se calientan, y durante el día y en los meses más cálidos, el Retiro se convierte en un “islote de frescor”.

Por lo tanto, a modo de síntesis, podemos afirmar que la ciudad altera el clima regional elevando las temperaturas, pero dentro de ella, las disímiles estructuras urbanas inducen transformaciones a menor escala.

Una característica común a todos observatorios meteorológicos en Madrid, es la oscilación diaria de la isla de calor más intensa durante la noche, periodo en el que la emisión infrarroja es más elevada en la urbe y una gran parte de ésta queda “apresada” por los varios estorbos que coexisten; durante el día la mayor radiación directa es menor en las zonas urbanas, por la mayor contaminación del aire y las sombras provocadas por los edificios, y el ritmo de calentamiento es menor como consecuencia de la mayor capacidad calorífica de los materiales urbanos. (López Gómez et al)

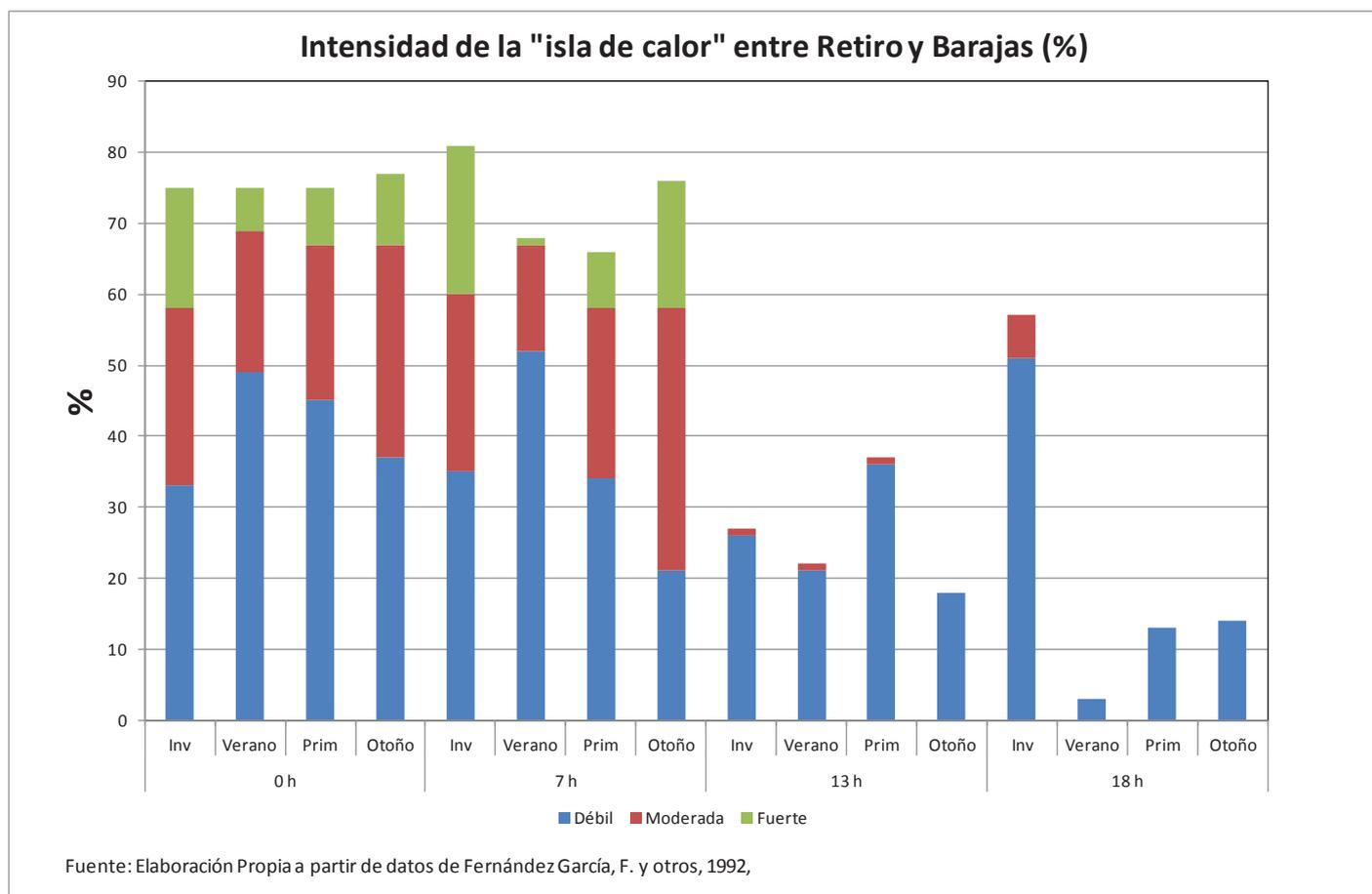
Con respecto a la frecuencia de este fenómeno, la figura 6, nos puede ayudar mejor a comprender la frecuencia de la “isla de calor”.



[Figura 6]: Frecuencia de la "isla de calor" en Madrid.

Durante el invierno, la máxima se sitúa a las 7 horas, se adelanta a las 0 horas durante el verano, mientras que en otoño y primavera se mantiene muy similar en estas horas. A las 13 horas y a las 18 horas, los porcentajes se reducen bastante. Estas desigualdades siguen un ritmo idéntico a las temperaturas mínimas, relacionadas, a su vez, con la duración del día y de la noche en nuestras latitudes y el cambio estacional del ciclo diario de la radiación: en invierno el enfriamiento no sólo es más intenso que en las demás estaciones, sino que además la salida del sol es más tardía; en verano, la mayor duración de la insolación directa retrasa el comienzo del ciclo de enfriamiento en las zonas rurales y, en consecuencia, la hora de aparición de la isla de calor. (López Gómez et al)

La intensidad de “la isla de calor” es una característica muy importante.



[Figura 7]: Intensidad de la “isla de calor” entre Retiro y Barajas.

La situación débil cuando las diferencias oscilan entre 0 y 2 °C, moderada entre 2 y 4°C y fuertes entre 4 y 6 °C. En la figura 7, vemos como las situaciones más frecuentes son débiles y moderadas: A las 00 horas, las débiles son las más comunes, sobre todo en primavera y en verano. A las 7 horas, se refuerzan las intensidades de la isla de calor en invierno, otoño y primavera, debido a una disminución de las más débiles. A las 13 horas, el cambio es brutal, con un descenso general de las frecuencias en todas las estaciones. El calentamiento urbano es pausado a lo largo de la mañana y fundamentalmente moderado en el parque, por lo tanto, los porcentajes se invierten respecto a la noche. La intensidad a las 18 horas, las frecuencias se acercan en invierno a las registradas durante la noche, pero descienden de manera pronunciada en las demás estaciones. Así, “la isla de calor” se manifiesta en el 57 por ciento de los anticipados anocheceres. La influencia del parque, actuando como moderador de las temperaturas,

en las horas más calurosas del día y en las fases más cálidas obtiene aquí todo su significado y ayuda a implantar un círculo de confort térmico peculiar en la urbe.

El viento, es un elemento que tiene gran influencia en la “isla de calor”. En la totalidad de los estudios existentes y en el caso de Madrid, las investigaciones realizadas con termómetros digitales (López Gómez, y Fernández García, 1984; López Gómez y otros, 1986), ponen en apariencia que las mayores desigualdades entre las zonas rurales y urbanas se originan con situaciones de gran estabilidad atmosférica, mientras que con tiempo perturbado se produce una disminución o incluso ausencia de la “isla de calor”.

Ya sabemos, que la intensidad y la frecuencia de la isla de calor depende de la velocidad del viento y existe una velocidad límite, que establece su desaparición. Si aplicamos esta función a Madrid (López Gómez y otros, 1986, pág.13), la isla de calor desaparecería con un viento igual o superior a 10.6 m/s.

Como apunte, decir que la “isla de calor” no sólo depende de factores urbanos, sino que influyen de manera pronunciada, las características del tiempo dominantes en la ciudad. Muchos factores contribuyen a la formación de la “isla de calor” y especialmente, a su intensidad.

En conclusión, la máxima intensidad de la “isla de calor” se logra durante la noche, con un cielo despejado, con un tiempo anticiclónico y el aire en calma. De esta manera, se alarga hasta el amanecer, cuando se alcanzan las temperaturas mínimas. Sin embargo, la “isla de calor” se debilita. La mayor frecuencia se da en invierno y con un tiempo estable, el contraste con las áreas rurales es de 4°-6°C y hasta 8°-10°C, estos valores concuerdan con los de otras grandes ciudades.

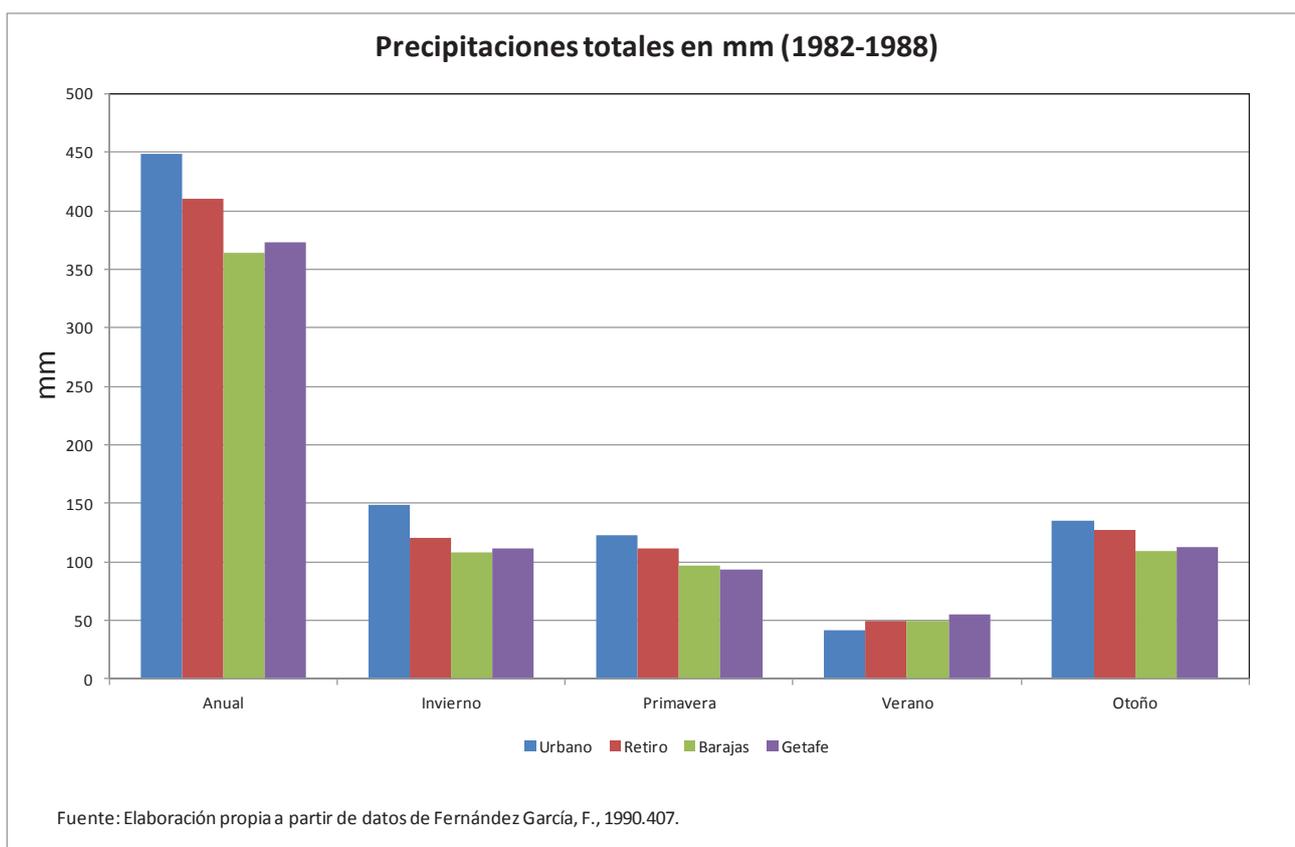
En invierno, a medianoche la “isla de calor” es moderada con un aire en calma y un cielo despejado, la “isla de calor” se perfila con máximo de 4°-6°C. Próximo al amanecer es cuando se registran las “islas de calor” más llamativas, de hasta 8°-9°C.

En verano, la “isla de calor” se da a medianoche de forma extendida pero poco intensa, máxima de 3° o 4°C, incluso menos. Debido a que el enfriamiento es mayor en campo y ha procedido aún pocas horas. Se puede dar en verano, a medianoche y al amanecer, una “isla de calor” que supera los 5°C, incluso llega a 8°-9°C, debido a los contrastes con la fresquísima vaguada del Manzanares

Landsberg (1981, pág.187), señala que se conocen las causas que crean un incremento pluviométrico en la ciudad, pero señala que los mecanismos no están claros. Cuantiosos

hechos ayudan a ello, por ejemplo, la gran variabilidad de las precipitaciones, mucho más acusada que en las temperaturas, y la complejidad de factores que inciden sobre ellas, lo que entorpece la elaboración de un modelo pluviométrico general para otros conjuntos urbanos.

En Madrid se tomaron datos de tres observatorios de la Red Nacional de Meteorología: Retiro, Barajas y Getafe. En Madrid, se registran totales anuales siempre superiores a los de las áreas próximas.



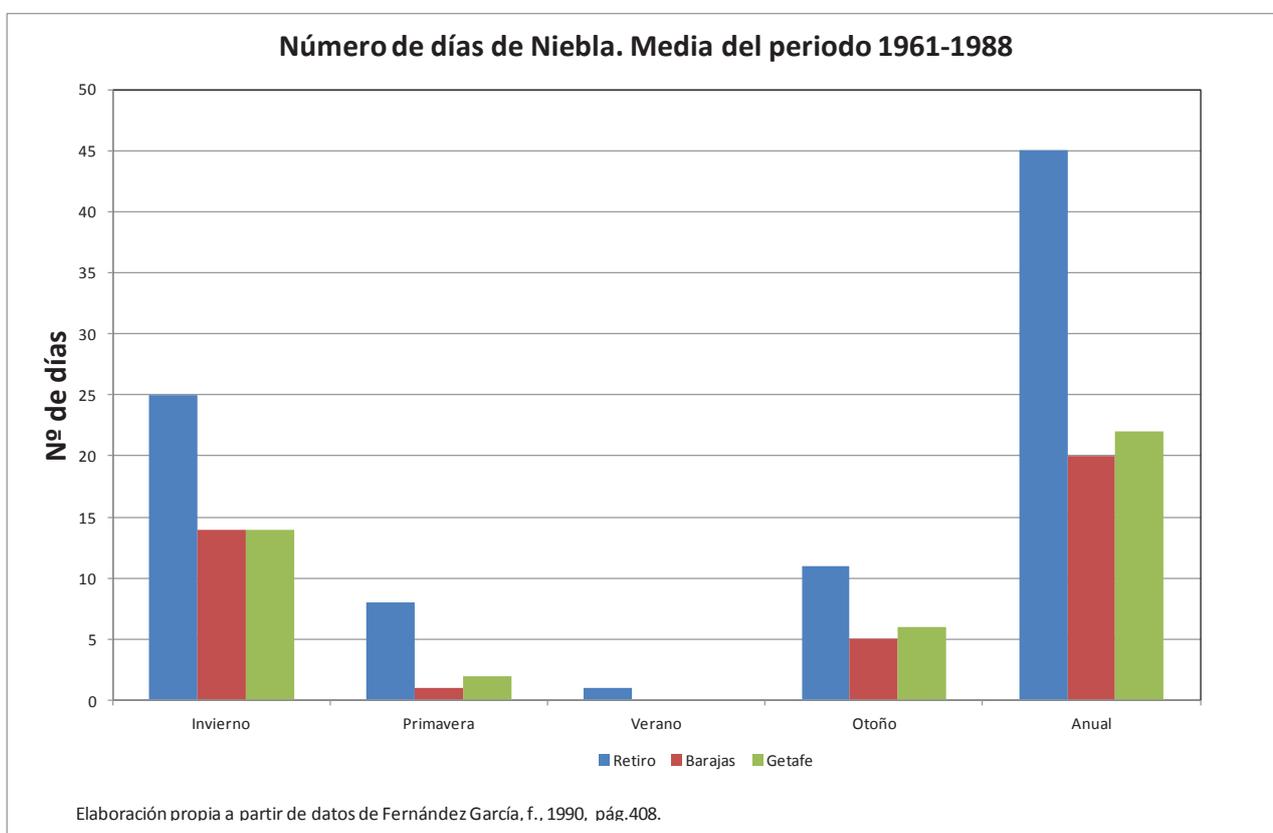
[Figura 8]: Precipitaciones totales en milímetros, (1982-1988), Madrid.

En la figura 8, vemos como los totales anuales de Getafe y Barajas son un 17% y un 19% inferiores a los del conjunto urbano y las diferencias son más discentadas en otoño, primavera e invierno. En la época estival, sucede lo inverso, donde se dan más precipitaciones son en los observatorios de las afueras de la urbe Madrileña, aunque las diferencias no son marcadas ya que en verano, las precipitaciones son mínimas en todos observatorios, por la sequía característica de la zona.

Las causas de este aumento pluviométrico en la ciudad, pueden deberse a que en invierno el aumento de las lluvias lo podemos relacionar con la polución existente en la

ciudad, que es mayor que en cualquier otra estación del año, y las precipitaciones termodinámicas (las más comunes), por lo que el calentamiento urbano podría ser un factor agregado del incremento de las precipitaciones urbanas.

La contaminación sobre la humedad y las precipitaciones influye con el aumento de los días de niebla en la ciudad y el aumento de los días de precipitación débil. Las nieblas más frecuentes en Madrid son las de radiación, especialmente en invierno, por lo que afectan de igual forma a zonas urbanas y rurales. En la urbe, son estas situaciones de gran estabilidad las que favorecen la “isla de calor”, a pesar de ello, el número de días de niebla es más del doble en el Retiro, esto sólo puede ser explicado por los altos índices de contaminación que se logran en este periodo. (Ver figura 9)



[Figura 9]: Número de días de niebla. Media del periodo 1961-1988, Madrid.

Por lo tanto, en Madrid, se produce un incremento de las precipitaciones con relación a las áreas suburbanas vecinas. La contaminación y el efecto mecánico de los espacios erigidos sobre los mecanismos pluviosos regionales parecen ser las causas más significativas durante el invierno, puesto que la isla de calor aminora ampliamente en las fases de inestabilidad frontal. En primavera y en otoño, sin embargo, los factores

térmicos y mecánicos acrecentarían el efecto de las situaciones dinámicas productoras de precipitaciones. En la época estival, la irregularidad y escasez pluviométrica son los rasgos típicos de la zona, las diferencias son muy pequeñas.

3.3. EL CASO DE VALENCIA

Valencia presenta según el INE de 2013, 792.303 habitantes. La ciudad está emplazada a orillas del río Turia, en el mismo centro del golfo de Valencia. Las temperaturas se caracterizan por presentar, en el 2012, según la Agencia Estatal de Meteorología 12.5°C en Enero, en Julio 25.9°C, y una media anual de 18.7°C.

Las precipitaciones anuales son entorno a los 450 mm, con mínimos estivales (Junio, Julio y Agosto), y máximos en los meses de otoño, debido al fenómeno de la gota fría.

En cuanto al viento, son típicas las brisas en verano, del Sureste y del Este, en cambio en invierno, domina el flujo de componente Oeste. En situaciones normales, el viento no sopla con fuerza, impera un viento débil.

Dentro de la ciudad, destacar que al sur del Turia, se sitúa el viejo centro, y luego al sur también, se realiza un ensanche en cuadrícula en dos sectores que tienen como ejes las grandes vías. Destaca los pocos espacios verdes con los que cuenta Valencia, y a medida que crece la ciudad, la huerta se reduce por la demanda de vivienda.

La modificación del clima en la ciudad se produce, esencialmente en el viento y en las temperaturas.

En lo que respecta a la “isla de calor”, decir que la densidad urbanística es la razón de que se origine una estructura concéntrica del fenómeno en Valencia. A nivel del suelo, las sombras y la estabilidad atmosférica hacen que el aire se mantenga más fresco y proporcionan diferencias térmicas de más de 1°C respecto a la huerta Valencia, y algo más si lo comparamos con el campo propiamente dicho, por lo que tenemos una notable “isla de calor”.

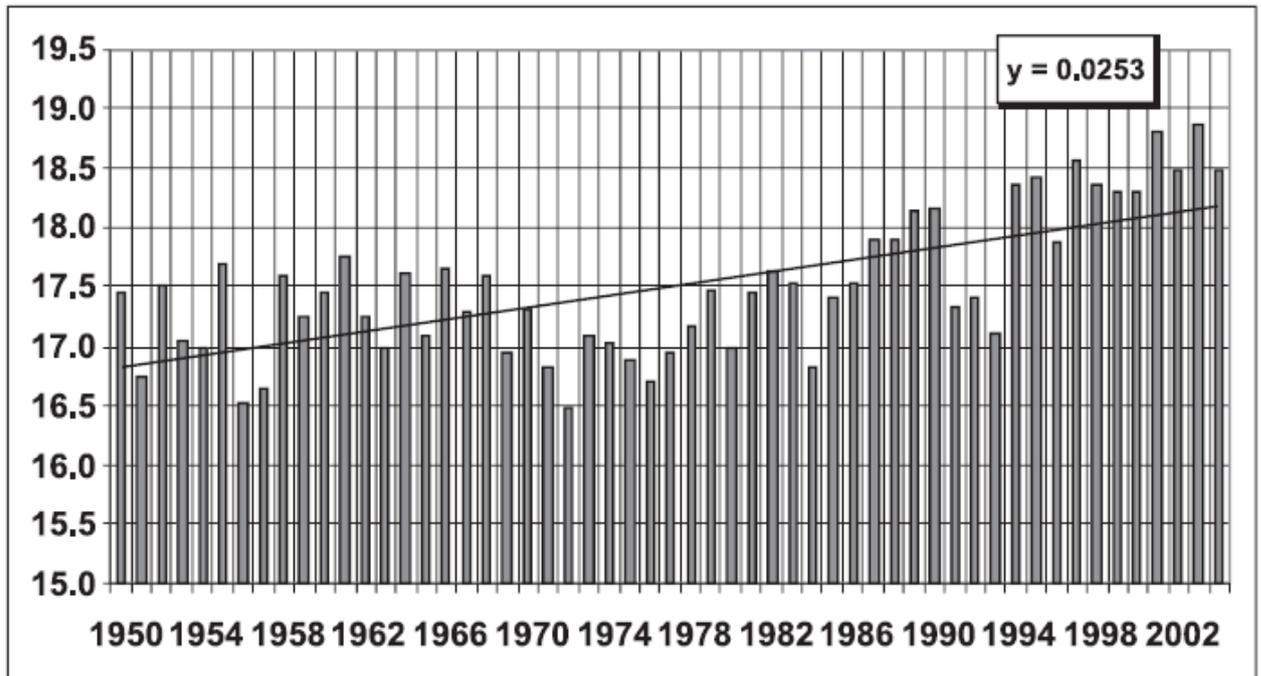
Una cosa que me parece muy importante, es que la intensidad de la “isla de calor” en Valencia, puede deberse a la diferencia entre el gran contraste de humedad en la ciudad el regadío de los alrededores. La intensa evapotranspiración de la Huerta provoca una mayor devolución de energía a la atmósfera en forma de calor latente, en detrimento del calor sensible.

Así pues, en Valencia como en otras ciudades españolas, la “isla de calor” con una mayor intensidad, se alcanza en situaciones anticiclónicas, con un cielo sin nubes

(despejado) y el aire en calma en que la media es de unos 3°C, pudiendo alcanzar hasta 6°C. En la estación estival, la “isla de frescor” se almacena hasta la irrupción de la brisa (11-12h). En menos de una hora el aire de la brisa termina removiendo el aire fresco de por la mañana y se igualan las temperaturas entre la ciudad y el campo. Decir, que la “isla de calor” en Valencia es una de las más grandes de nuestro país, y que no se muestra con un tiempo nublado o con un fuerte viento.

En cuanto a la insolación y las precipitaciones, decir que no se han visto afectadas ni modificadas. Sí que es verdad, que con respecto al viento, ha disminuido un 25 por ciento en la velocidad de rachas máximas, comparándolo con el aeropuerto de Manises (ubicado a 10 kilómetros de la ciudad). También el viento se ha reducido a partir de 1960, por la construcción de bloques de edificios de muchas alturas (en torno a 15 pisos).

Otro aspecto importante a destacar, es la evolución de las temperaturas en la región mediterránea española, que pone manifiesta una tendencia significativa de calentamiento climático. El valor secular de esta tendencia sería notable, 2,5 °C, equivalente 1,25 °C para el período 1950-2004. Este valor adquiere incluso magnitudes de calentamiento «dramáticas» ya que se detectan a partir de 1980, después de una década anterior más fresca (Ver figura 10). (Quereda, 2008).



[Figura 10. Evolución de la temperatura media anual Valenciana, homogeneizada, como promedio de los observatorios de Alicante, Valencia y Castellón. Fuente: Quereda Sala, E., y otros (2008).]

Después del complejo y laborioso proceso de homogeneización y corrección de diferencias (Alexandersson and Moberg, 1997; Easterling and Peterson, 1992), podemos considerar que una parte de esa elevación de la temperatura, 1,25 °C sobre el período 1950-2004, podría resultar del efecto urbanización (ver figura 10). Un efecto que se declara progresiva y acumulativamente ya que los observatorios han sido absorbidos poco a poco por el esparcimiento de las ciudades. La mayor parte de la elevación térmica se ha producido en las temperaturas mínimas, con un valor de 1 °C a lo largo del periodo 1950-2000. Una de las principales incertidumbres de la hipótesis de Cambio Climático es el proceso de generación de calor urbano.

3.4. EL CASO DE ZARAGOZA

Zaragoza, con 682.004 habitantes según el INE de 2013, se sitúa en la zona central de la depresión del Ebro, en la confluencia de los ríos Gállego, Ebro y Huerva, esto nos revela sobre los materiales en los que está asentada en la ciudad, que fundamentalmente son gravas y arenas. La altitud media de Zaragoza es de 200 metros sobre el nivel del mar.

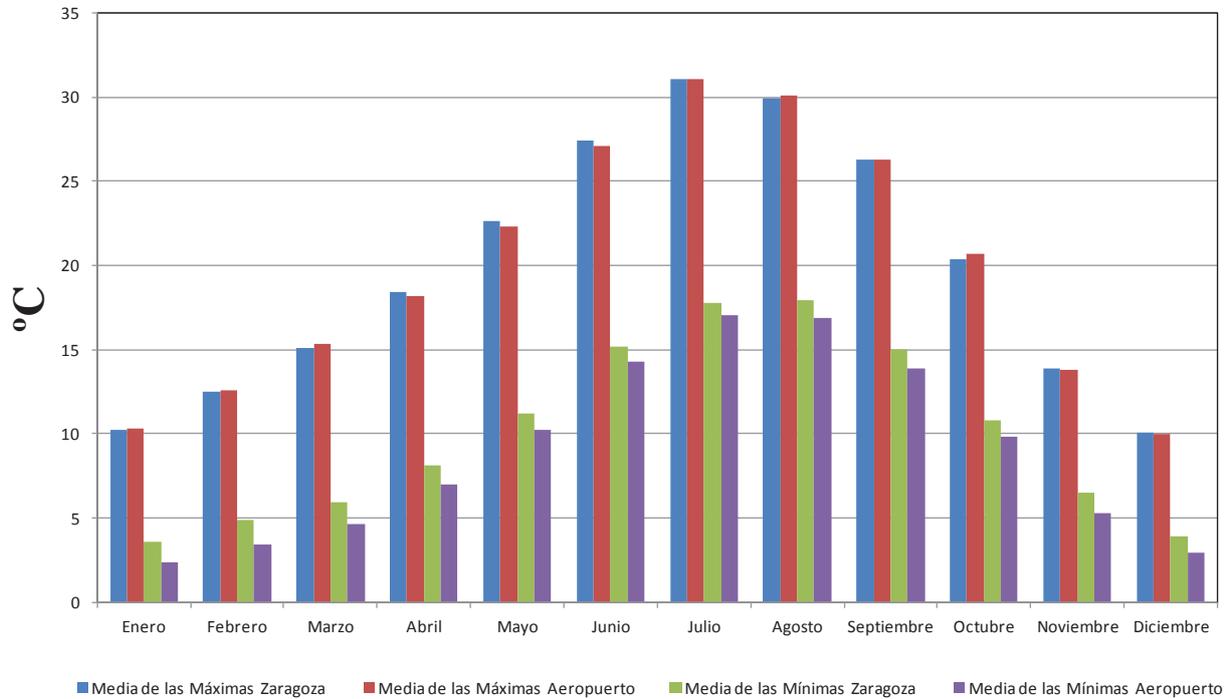
Jose M^a Cuadrat Prats, destaca cuatro formas con morfologías disímiles, que obviamente, muestran conductas distintas a la recepción y emisión de calor:

- Zaragoza romana: delimitada por una muralla, su límite es el río Huerva, forma el actual casco viejo.
- Zaragoza hasta la Guerra de la Independencia (1808-1814): recinto cerrado por las murallas, forma en la actualidad la zona centro.
- Zaragoza en la industrialización: con la llegada del ferrocarril surgen los “barrios-estación” y ensanches, su morfología es mucho más amplia.
- Zaragoza desde el Polo de Desarrollo hasta la actualidad: el crecimiento demográfico, los polígonos industriales, y demás fenómenos, demandan que la ciudad crezca y se construyen barrios por la margen derecha del Ebro.

Esta variada textura urbana que ostenta la ciudad zaragozana, con sus desemejantes características para el almacenamiento de calor, se relaciona con el efecto modificador sobre el clima de dos significativos elementos de la ciudad. El primero, el efecto de frescor que inducen las superficies verdes ubicadas al sur de la ciudad (parque Primo de Rivera y Pinares de Venecia) y el segundo, debido a los ríos Huerva, Gállego y Ebro, por su influencia sobre las temperaturas y por la acción canalizadora de los flujos de aire frío hacia el casco urbano.

Para ver las diferencias entre el campo y la ciudad en Zaragoza, se han tomado los datos de los observatorios representativos de cada medio geográfico. En Zaragoza existen dos estaciones meteorológicas de primer orden del Instituto Nacional de Meteorología, una situada en el interior de la ciudad y otra en el aeropuerto de Sanjurjo, en la periferia.

Promedios mensuales de las temperaturas máximas y mínimas medias entre los observatorios de Zaragoza y aeropuerto (1960-1984)



Fuente: Elaboración propia con datos de J. M. Cuadrat Prats

[Figura11: Promedios mensuales de las temperaturas máximas y mínimas entre los observatorios de Zaragoza y aeropuerto (1960-1984). Fuente: Elaboración Propia con datos de J.M. Cuadrat Prats.]

En la figura 11, podemos observar como las temperaturas mínimas, son siempre superiores en la ciudad que en el aeropuerto, con valores que salvo en Junio y Julio son siempre superiores a 1°C. Vemos como las mayores diferencias se logran de Noviembre a Marzo, y van disminuyendo progresivamente durante la primavera hasta los meses estivales. En lo que confiere a las temperaturas máximas en ambos observatorios, sus diferencias se reducen casi completamente y el ritmo de las mismas, a lo largo del año, se hace muy irregular.

La media anual es idéntica (19.8°C) y la máxima diferencia alcanzada en mayo, junio y octubre es, únicamente de tres décimas: si se analiza el desarrollo de las temperaturas a lo largo de los meses podría señalarse que en primavera y en verano, la ciudad es durante el día más cálida que su aeropuerto, y levemente más fresca en invierno en otoño. Podemos concluir, pues, que la menor amplitud de las temperaturas en el área

urbana en comparación con su periferia, se debe, entre otras causas, a la inercia térmica que ocasiona la elevada capacidad calorífica de los materiales de construcción urbanos.

Estos valores, son más moderados que en otras ciudades que hemos estudiado como Madrid o Barcelona, al igual que en éstas, en Zaragoza la “isla de calor” aparece con una mayor nitidez durante la noche y cuyos valores máximos se dan en invierno. La intensidad es más débil merced, entre otras causas, al menor tamaño de la ciudad y a la menor densidad de población.

Para ver la configuración de “la isla de calor”, se trazaron recorridos según las más importantes direcciones de desarrollo de Zaragoza y se eligieron diferentes puntos de observación. En conjunto, los transectos presentan una extensión de 80 kilómetros. Las observaciones han sido esencialmente por la noche, y poco más o menos entre cuatro y cinco horas después de la puesta de sol, para así, observar el instante de máxima intensidad de la “isla de calor”.

El estudio de los resultados alcanzados, consiente verificar la presencia de una “isla de calor” nocturna, que oscila para situaciones atmosféricas variables, y que logra su máximo en días anticiclónicos invernales en torno a los 5°C.



[Figura: 12 “Isla de calor en Zaragoza”. Fuente: Atlas Digital de Aragón]

En la figura 12, vemos como la disposición de las isotermas pone de manifiesto un sector central más cálido que abarca el casco viejo y la zona centro. El casco viejo, muestra una forma de calles estrechas con edificaciones más bajas que altas, mientras que en la zona centro predominan edificios más altos, las calles son más anchas y el tráfico es más denso. Este sector de mayor temperatura se localiza únicamente en la margen derecha del Ebro.

En torno a este núcleo las temperaturas disminuyen progresivamente, ajustándose al área edificada, con un cierto desplazamiento hacia el Sureste y prologándose con dirección a los barrios rurales.

En la zona sur de la ciudad, en torno a la masa arbórea de los Pinares de Venecia, se produce una elevación de las temperaturas a pesar de la proximidad del parque, pero al adentrarnos en éste, las temperaturas disminuyen y se forma una “isla de frescor” con valores similares a los de la periferia urbana.

3.5. OTRAS CIUDADES

Valladolid, con 309.714 habitantes, según el INE de 2013, su área metropolitana está formada por 23 municipios emplazados en las dos primeras coronas que rodean Valladolid, con una superficie en torno a los 1.000 km²:

1. Por el valle del Pisuerga hacia el norte, tenemos los municipios de Mucientes, Cabezón de Pisuerga, Cigales, Santovenia de Pisuerga y Fuensaldaña.
2. Por los valles del Duero y la Esgueva, tenemos los municipios de Castronuevo de Esgueva, La Cistérniga, Renedo de Esgueva, y Tudela de Duero.
3. Hacia Tierra de Pinares (Sur), el área metropolitana de Valladolid alberga a Valdestillas, Viana de Cega, Laguna de Duero, Boecillo, Aldeamayor de San Martín, La Pedraja de Portillo y Villanueva de Duero
4. Hacia el Oeste, Simancas, Ciguñuela, Zaratán, Arroyo de la Encomienda, Geria y Villanubla

Según los datos indirectos de población de los 23 municipios, extraídos del padrón municipal de 2013 publicado por Instituto Nacional de Estadística de España (INE), cuenta con una población de 414.244 habitantes.

Los estudios sobre la “isla de calor” en esta ciudad se iniciaron en 1993, bajo las ordenes de Felipe Fernández García y apoyado por el Centro Meteorológico Territorial de Castilla y León.

Apuntar, que la toma de datos se efectuó con un aparato Thies de baja inercia, con sensores de humedad, viento y temperatura, durante doce meses; es decir, desde Junio de 1993 hasta mayo del año siguiente. Sólo se realizaron recorridos nocturnos, dado que la instalación del sensor de temperatura y humedad, se realizó sin protección ante la radiación solar. Se realizaron 75 transectos, en 25 días que duró el experimento, aproximadamente y por término medio, dos horas y media después de que se metiera el sol.

Para definir el conjunto de puntos de medida, primero se identificaron las distintas unidades morfológicas urbanas, y como no podía ser de otra manera, se tuvo muy en cuenta, tanto la importancia del río que atraviesa la ciudad, el Pisuerga, como los jardines del Campo Grande, en el pleno corazón de la urbe vallisoletana.

De esta manera, se estableció una red en forma de malla, con tres transectos, dos de ellos cruzan el río:

El primer transecto: Parquesol → Las Flores

El segundo transecto: Polígono de San Cristóbal → Barrio de la Vitoria

El tercer transecto: recorre a la ciudad en dirección Norte-Sur: Cementerio → Covaresa.

En lo que confiere a la intensidad de la “isla de calor” en Valladolid, en este estudio, el día 17 de Noviembre de 1993, la diferencia de temperatura rural-urbana alcanzó de diferencia 7.28°C, obviamente, las condiciones climatológicas eran excepcionales, por ejemplo, el viento estaba en calma, la insolación era elevada, el cielo despejado.

A diferencia de Madrid (López Gómez et al, 1991) y Barcelona (Moreno, 1993), donde las mayores probabilidades de encontrar una isla de calor son mayores en invierno, o en Logroño, donde las probabilidades son mayores en verano (García Ruiz et al, 1989), en Valladolid, se observa que en primavera, se dan las mayores probabilidades de encontrar una “isla de calor” con una intensidad fuerte o moderada.

En lo que confiere a la hora de máxima intensidad de la “isla de calor”, el máximo de temperatura se produce con más frecuencia entre una hora y media y dos horas después de la puesta de sol, por el contrario, para la humedad el mejor intervalo sería entre dos horas y dos horas y media tras la puesta de sol.

La “isla de calor” en esta ciudad, presenta sus valores máximos en una meseta térmica situada sobre el centro de la ciudad (casco antiguo) y en un espolón en dirección sur, separados por un área fría correspondiente a una masa de árboles.

Las comunidades de Aragón, La Rioja y Navarra, conforman uno de las áreas socioeconómicas más notables de España, y componen el llamado corredor del Ebro. El proceso de concentración demográfico ha dejado a la mitad de la población del Valle del Ebro registrada en las capitales de provincia, tasa que supera con creces el porcentaje nacional que sólo significa el 33%. Presenta tasas de envejecimiento sensiblemente más acentuadas que en el conjunto de España.

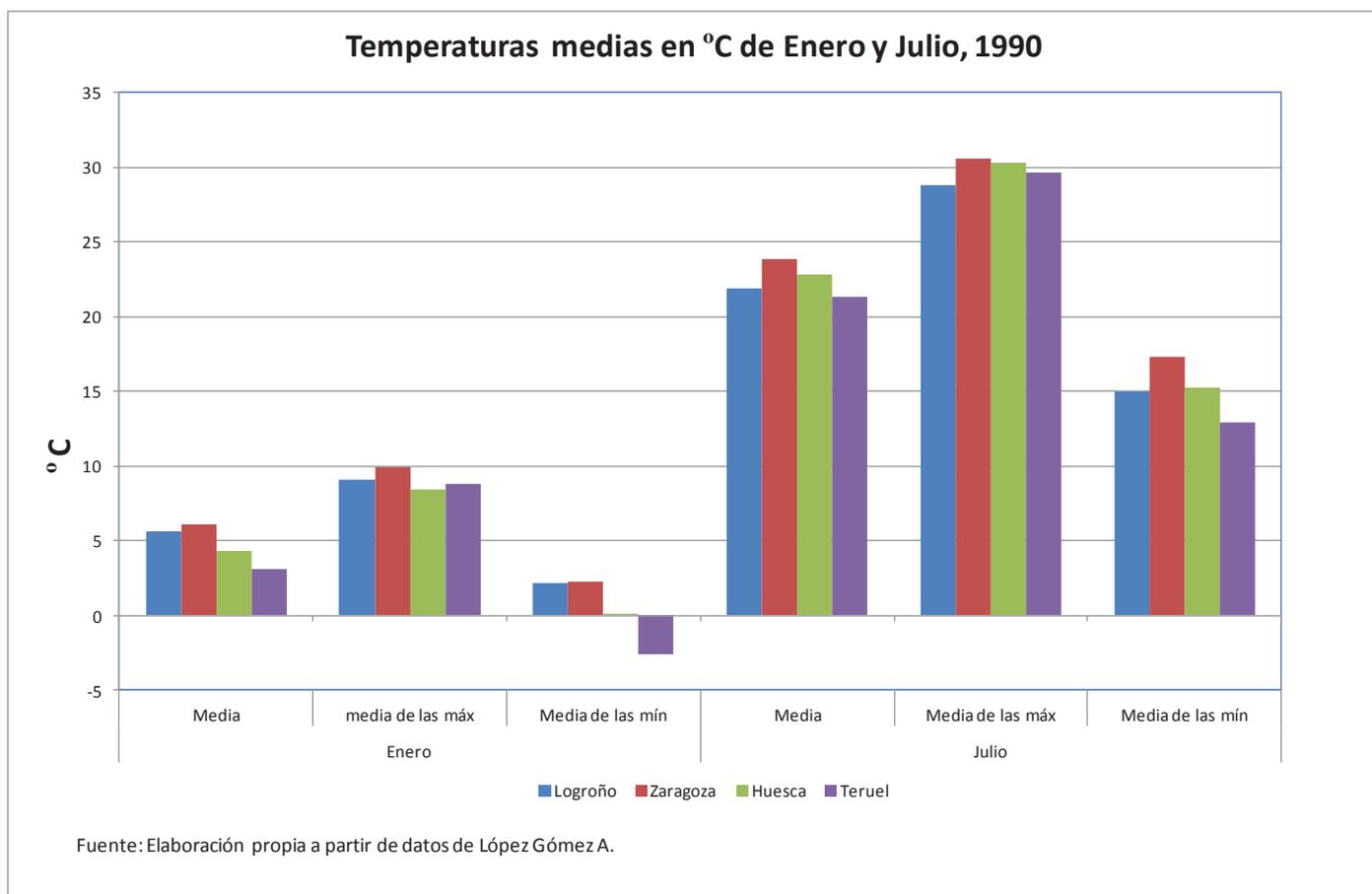
El valle del Ebro, salvo Zaragoza, el resto de las ciudades son de pequeño o mediano tamaño. Obviamente, las actividades urbanas se han ido incrementando con el paso del tiempo; es decir, calefacciones, densidad de tráfico, viviendas son capaces de influir sobre las condiciones climáticas locales, de forma que éstas llegan a diferenciarse notoriamente del medio rural circundante.

La influencia que la ciudad ejerce sobre las condiciones climáticas generales es muy variable y cambia en función del tamaño de la ciudad, su desarrollo, relieve y la población.

En el valle del Ebro, predominan las situaciones anticiclónicas durante el verano y centro del invierno, favorables para la formación del fenómeno, y situaciones más favorables para el paso de borrascas durante la primavera y el otoño.

Pero no debemos de olvidar, que el Valle del Ebro es una depresión cerrada entre dos altas zonas montañosas, el Sistema Ibérico al Sur, y los Pirineos al Norte, lo cual provoca sobre las precipitaciones un claro efecto de “sombra pluviométrica” (Jose María Cuadrat Prat et al). Por lo tanto, merced a esta depresión cerrada se origina la continentalidad de sus temperaturas y las fuertes diferencias de su régimen anual. El viento, debe sus características al efecto orográfico, los flujos de aire que se dan en el valle, presentan dos claros componentes: ESE y WNW.

En las zonas centrales de la depresión, las borrascas llegan de forma muy débil y aportan escasas precipitaciones. Me explico, en la depresión hay un gran aporte de energía, por la escasez de días con el cielo cubierto de nubes y por una insolación elevada.



[Figura 13. Contrastes entre temperaturas de los meses de Julio y Enero.]

En la figura 13, se puede ver el contraste de temperatura entre estaciones. La intensidad de estos contrastes indica la importancia del calentamiento diurno y del enfriamiento durante la noche, que sin duda alguna, ayudan a la aparición de contrastes entre el clima de las áreas urbanas y su entorno próximo.

La velocidad del viento es fuerte o muy fuerte, o sea, alcanzan 70km/h, y pueden alcanzar los 100 km/h, lo que modera la “isla de calor urbana” y en momentos en los que se alcanzan velocidades muy fuertes, puede hacer desaparecer este fenómeno.

Huesca, presenta 52.418 habitantes, según el INE 2013, es una ciudad de pequeño tamaño, situada a orillas del río Isuela, la capital se ha expandido a partir del primitivo emplazamiento en la parte alta de un amplio cerro testigo.

La organización en el espacio de las temperaturas en Huesca empieza a conocerse a partir de los trabajos de campo iniciados en Huesca, en 1991. Se realizaron medidas periódicas, en horas nocturnas y en situaciones anticiclónicas, siguiendo un recorrido de

19 kilómetros de longitud, en el que se establecieron 40 puntos de observación que cubrían el área urbana y las salidas al medio rural.

Los primeros resultados del análisis de los registros efectuados ofrecen estos aspectos:

- La “isla de calor, presentaba una intensidad de 2° a 3°C entre el centro de ciudad y áreas circundantes, durante los días de tiempo anticiclónico y viento en calma o débil. La configuración de la misma es concéntrica en torno al casco antiguo, aunque alargada norte sur. De esta manera, el centro de la ciudad suele ser el área más cálida (dado su intenso tráfico, las edificaciones compactas con una altura media, calles estrechas.) (López Gómez et al). A partir de este núcleo, las temperaturas descienden progresivamente. Merece ser destacado que el gradiente térmico más acusado, se sitúa en el Este de la ciudad, en los confines del casco viejo con la periferia más baja (al lado del río Isuela).
- Mencionar como en el parque municipal Miguel Servet, bajo la influencia de una masa vegetal amplia y abundante arbolado, las temperaturas se han mantenido un grado más frescas que en su entorno.
- En el norte de la ciudad oscense, el descenso de las temperaturas es más acusado que en el sur, debido a la presencia del río Isuela.



[Figura 14. “Isla de calor en Huesca”. Fuente: Atlas Digital de Aragón]

En la figura 14, vemos como las isotermas ponen en relevancia un sector central más cálido que abarca la zona centro. En torno a este núcleo las temperaturas disminuyen progresivamente, a medida que nos acercamos a las afueras de la ciudad.

Teruel, con 35.961 habitantes, (según el INE de 2013) es la capital de provincia con menos población de España se alza a 930 metros de altitud sobre el nivel del mar, en la cumbre del espolón que dejan en resalte las ramblas de San Julián y del Arrabal en su descenso hacia el río Turia. Este emplazamiento (defensivo en el pasado), ha creado una considerable variedad topográfica dentro del espacio urbano, que engrandece las peculiaridades del clima local.

En la investigación de la ciudad Turolense, se registraron temperaturas en 42 puntos, emplazados a lo largo de un recorrido de 16 km que atraviesa la ciudad en diferentes direcciones para cubrir el medio urbano y el rural próximo.

Los datos que se obtuvieron, corroboran la presencia de la “isla de calor” en el interior de la ciudad, cuya intensidad es leve merced a las restricciones tanto espaciales como demográficas de presenta la ciudad. Así, en días con un tiempo estable suele excederse de los 2°C entre la plaza del Torico y la carretera de Zaragoza. Pero, cuando se dan situaciones de inversión térmica las desigualas se acentúan y pueden ser del orden de 3° y 4°C entre el interior de la ciudad y el cauce del río Turia.



[Figura 15. “Isla de calor en Teruel”. Fuente: Atlas Digital de Aragón]

La figura 15, refleja el diseño de las isotermas el cual traza formas redondas, prolongadas en sentido Norte-Sur, rodeando dos grandes centros, el principal, que engloba el núcleo histórico y el secundario, que cerca el conjunto del Ensanche.

En el casco viejo, es donde se logran las temperaturas más elevadas, sobre todo, en torno a la vieja judería, gracias a la actividad que allí se da a lo largo del día y por las calles estrechas que presenta, las cuales ayudan a que el calor se acumule.

El otro foco, se situ en torno al ensanche de la capital, de menor entidad que el “islote” del casco viejo, debido por ejemplo, a que existen mayores espacios abiertos y las calles son más amplias y obviamente, menos estrechas que en el apretado casco viejo

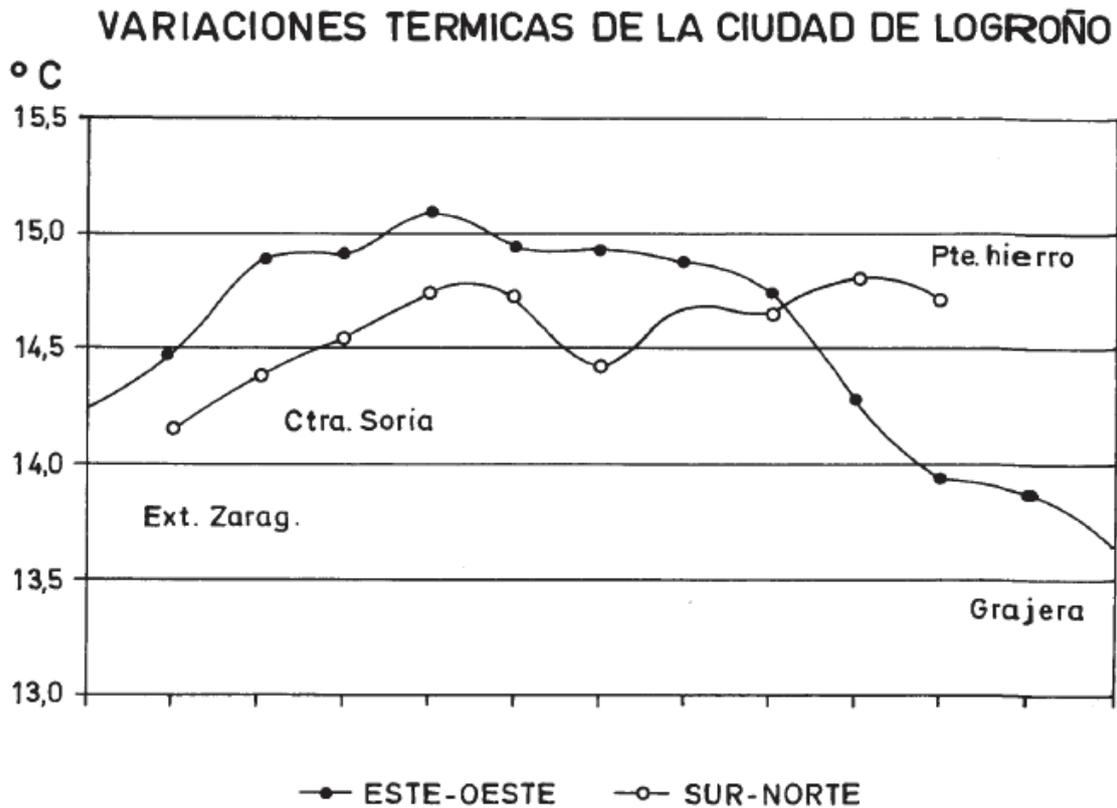
Fuera de estos “islotes”, la caída de las temperaturas hacia las afueras de la ciudad es continua, no obstante, siempre muy moderada. Sólo en el oeste de la ciudad, donde el cauce del Río Turia separa la ciudad debido a un fuerte escarpe topográfico, se forma

una sucesión térmica más manifestada, que según la situación atmosférica imperante, pudo alcanzar los 3 °C, gracias a la acción refrescante del río y a la presencia de zonas rurales con una fuerte ocupación de huertas.

Cabe destacar que con un tiempo anticiclónico en invierno, se han observado inversiones térmicas, en las que ayuda el carácter accidentado de la ciudad, en las que se han registrado diferencias en torno a los 4°C entre la zona más fría y más cálida de la superficie analizada.

Logroño, con una población de 153.066 habitantes, según el INE de 2013, se emplaza a orillas del río Ebro, a 384 metros de altitud, sobre terrazas bajas. Su topografía es suave, sin accidentes topográficos. El desarrollo urbano de la ciudad, se ha efectuado en función de una serie de coronas semicirculares que a partir del núcleo medieval se han ido desplazando hacia el sur. Destacar como la ciudad ha crecido y conseguido las edificaciones, sin embargo, se han construido muy pocas zonas verdes, cabe destacar solamente el parque de El Espolón, en el interior de Logroño.

Con el objetivo de ratificar o no la presencia de una “isla de calor” en el espacio urbano y de contrastar el funcionamiento térmico entre centro y periferia, Martín Ranz y García Ruiz, durante 1984-1988, investigaron las temperaturas de Logroño. Para ello, se seleccionaron 23 puntos de muestreo ubicados por la totalidad de la ciudad y en sus entornos más próximos. Medían las temperaturas el primer miércoles de cada mes, a las 6:15 y 23 horas, a lo largo todo el año.

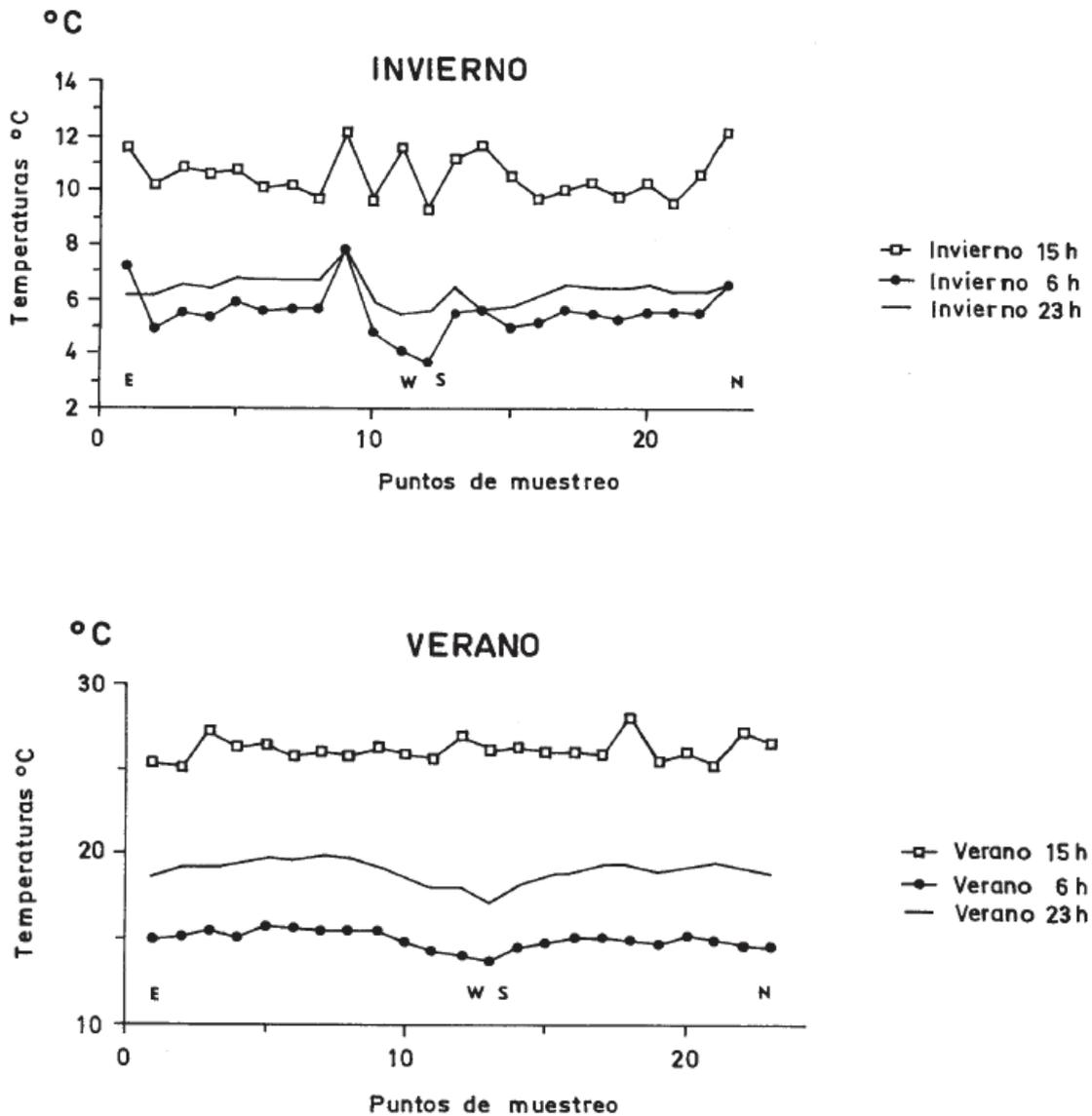


[Figura 16: Variaciones térmicas en la ciudad de Logroño. Fuente: García Ruiz, Ortigosa, Arnaez y Gómez.]

En la figura 16 podemos ver notoriamente el incremento de temperatura que se produce desde la periferia hacia el interior de Logroño. Vemos un punto de inflexión en el perfil Sur-Norte, corresponde al parque de El Espolón, por la presencia de arbolado. Sin embargo en el perfil Este-Oeste, vemos como el mínimo se alcanza en la salida hacia Zaragoza y en el Alto de la Grajera y el máximo en Jorge Vigón-Estatua del Labrador (García Ruiz y otros, 1989). Las diferencias entre la temperatura mínima y máxima son muy pequeñas, en el perfil Sur-Norte es de 0.6°C y en el perfil Este-Oeste de 1.6°C, pero efectivamente, podemos hablar de un clima urbano. La presencia de calles y bloques, con su propia conductividad, basta para alterar el balance de energía y el ritmo de radiación e irradiación. Y aunque la intensidad sea moderada, puede hablarse de una verdadera isla de calor cuyos contrastes internos responden a algunas características de la estructura urbana de la ciudad, por ejemplo el Parque del Espolón que se comporta como un lugar más fresco que sus alrededores, también ocurre lo mismo, pero con menor intensidad, en las calles del casco antiguo.

A continuación, adjuntaré dos gráficos con los perfiles térmicos en invierno y en verano, para ver mejor la “isla de calor”.

PERFILES TERMICOS MEDIOS EN INVIERNO Y VERANO



[Figura: 17: Perfiles térmicos en invierno y en verano en la ciudad de Logroño. Fuente: García Ruiz, Ortigosa, Arnaez y Gómez.]

Los materiales que forman esencialmente las estructuras urbanas tienen una elevada resistividad térmica y por ello, almacenan el calor en una capa muy superficial, lo que les permite reponer rápido esa energía en la atmósfera en las primeras horas de la noche. En la figura 17, vemos clarísimamente como el centro de la ciudad forma una “isla de calor” en verano a las 23 horas, situada casi 3°C por encima de los entornos. Por el

contrario, a las 15 horas esa “isla de calor” es más difícil identificar merced a la gran importancia que logra en ese instante la situación del punto de muestreo.

En invierno, también podemos apreciar la “isla de calor” aunque con algunas dificultades.

Si nos fijamos de nuevo en la figura 17, vemos como en invierno, las temperaturas que corresponden a las 6 horas y a las 23 horas están muy próximas entre sí, por el contrario en verano, esto no sucede, porque en invierno, a las 23 horas se ha disipado la mayoría del calor almacenado durante el día y la temperatura se acerca a la del amanecer; y en verano, la ciudad conserva a las 23 horas gran parte de la energía absorbida, que seguirá perdiéndose a lo largo de la noche hasta conseguir el mínimo a primeras horas del alba.

San Sebastián, con 186.500 habitantes según el INE de 2013, está situado en la costa del Golfo de Vizcaya. La temperatura máxima media anual es de 19°C y la mínima media anual es de 10°C, no muy baja en comparación con otras ciudades Españolas, por la influencia del mar, que atempera las temperaturas. Las precipitaciones, son de 1.608 mm en el 2012 según la Agencia Estatal de Meteorología.

Para analizar la “isla de calor”, aparte de obtener datos del observatorio urbano, se efectuaron recorridos a medianoche (ida y vuelta) con medidas en 40 puntos, según dos direcciones. Uno era relativamente corto, iba desde el núcleo del casco viejo con dirección sur, hasta los límites del barrio de Amara; el otro camino era más largo, en dirección Oeste-Este, desde Ibaeta, atravesando el centro y siguiendo hasta Rentería, Lezo y Pasajes.

Un recorrido en otoño, con un tiempo perturbado y muy nuboso que mostró una “isla de calor” débil con variaciones de 2,4°C. Otro recorrido, esta vez en primavera, con un tiempo anticiclónico, ciertas nubes y viento flojo del Suroeste, aparece una “isla de calor moderada”, con diferencias de 4,4°C y temperaturas moderadas (entre 18,6 y 14,2°C). En los dos recorridos se observa un área más cálida en el centro. Parte de “El Antiguo”, al oeste, crea un islote propio, pero con un descenso rápido en los alrededores. En el este de la ciudad, la “isla de calor” se prolonga conforme a la banda de urbanización y disminuye paulatinamente en torno al alto de Miracruz y posteriormente, es muy disminuida en el ámbito de Pasajes, Lezo y Rentería.

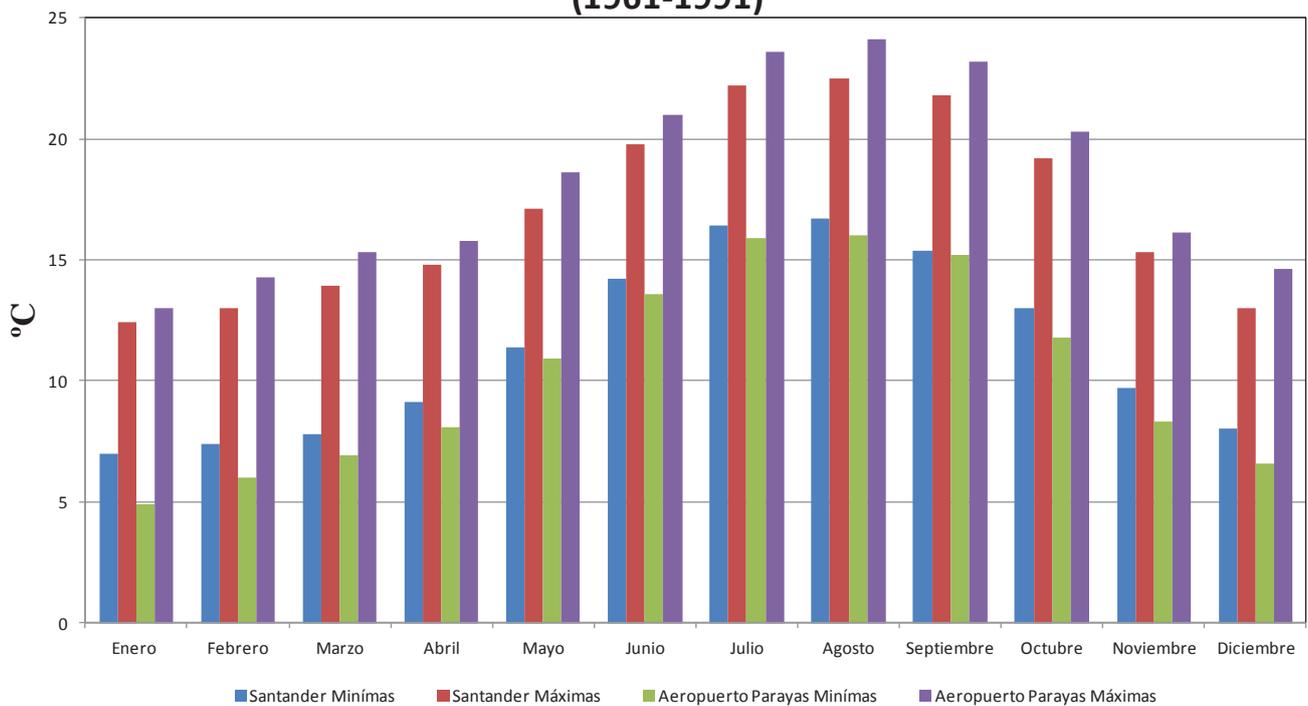
Santander, con 177. 123 habitantes, según el INE 2013, es una ciudad de medio tamaño, emplazada al norte de la Península Ibérica, lindando con el Mar Cantábrico.

Presenta un clima oceánico atlántico. La media de las máximas anuales es de 18.1°C y la media de las mínimas 10.2°C, por la influencia del mar que se manifiesta en la importancia de las brisas. Muestra también una elevada a lo largo de todo el año que llega a superar el noventa por ciento en algunas situaciones. Las precipitaciones en el 2012, en el aeropuerto de Parayas fueron de 1.009 milímetros (según AEMET).

Al sur de la bahía se halla el aeropuerto de Parayas, que empezó sus registros climáticos en 1961 y hacia el interior existe otro observatorio, el de Ojáiz, a 50 metros sobre el nivel del mar, en una zona de pocas construcciones de tipo rural., empezó a registrar los datos climáticos en 1985, pero las temperaturas son muy representativas de aquellas zonas más alejadas de la influencia del mar, como el caso de Parayas, ni de los núcleos de población significativos, como podría ser Santander. Dentro de la ciudad, existe un observatorio que empezó a funcionar en 1923, se sitúa a 65 metros sobre el nivel del mar.

La figura 18 refleja, como el aeropuerto de Parayas registra valores más bajos en las mínimas, especialmente en invierno. Por el contrario, las máximas son más elevadas, fundamentalmente en verano.

Temperaturas medias en Santander y en el Aeropuerto de Parayas (1961-1991)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Fernández García, F y Rasilla, D., con datos del CMZS.

[Figura 18: Temperaturas medias en Santander y en el Aeropuerto de Parayas (1961-1991)]

Por lo tanto, la influencia urbana de Santander se revela en los valores medios y ésta es más acusada, al igual que sucede en otras ciudades, en el invierno y en las temperaturas mínimas; en la estación estival y en las máximas, las diferencias son más pequeñas y con asiduidad, la ciudad es algo más fresca que los alrededores.

Si se comparan las series térmicas mensuales del espacio de tiempo entre 1961 y 1991, entre Santander y el aeropuerto, excepto en uno o dos años se ha analizado una “isla de calor” en todos los meses. Durante el invierno, la “isla de calor nocturna” logra su máxima intensidad. Asimismo, en el invierno se alcanzan las desigualdades más fuertes entre el Parayas y la ciudad, de esta manera, hay ciertos días en que las diferencias de temperatura son de aproximadamente 4°C.

En Parayas, la acción moderadora del mar, presenta un papel significativo en el estudio de los datos. De esta manera, al comparar las temperaturas de Santander con las registradas en el Observatorio de Ojáiz (un núcleo lejos de la influencia del mar), vemos por una parte, que la frecuencia de la “isla de calor” es levemente superior, excepto en invierno, a la observada con respecto a Parayas; por otra parte, las intensidades débiles reducen su importancia gracias al aumento de las más intensas, fuertes y muy fuertes, fundamentalmente, en primavera, verano y otoño.

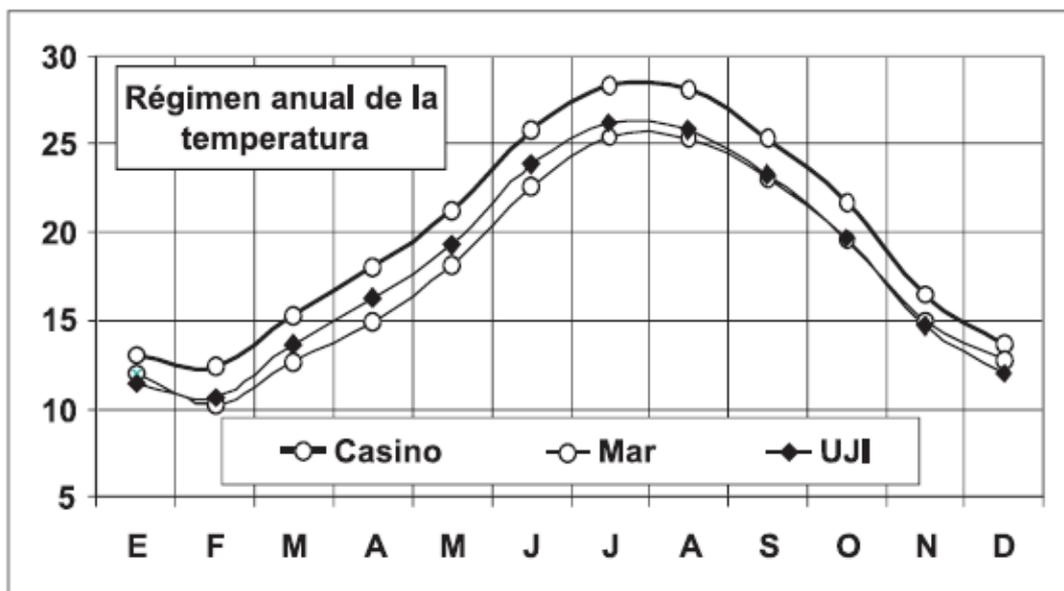
Con respecto a **Castellón**, el estudio ha sido realizado por J. Quereda Sala, E. Montón Chiva y J. Escrig Barberá. Para el estudio, se han instalado tres estaciones automáticas de meteorología correctamente calibradas. Los emplazamientos de estas estaciones se hallan en: una en el mismo centro urbano, otra sobre las aguas mediterráneas y otra en el extremo oeste de la ciudad

Ambas estaciones se ubican sobre una diagonal, E-W, de tan solo 10 Kilómetros sobre el llano litoral. Los registros meteorológicos estudiados han analizado tres años de las experiencias, desde Agosto de 2003 a Septiembre de 2006.

Hay grandes diferencias, entre la temperatura media anual de la estación meteorológica urbana y los valores de las estaciones situadas fuera del casco urbano, en la zona universitaria y marina. En el centro urbano la temperatura media anual en el período 2004-2006, ha sido de 20 °C y de tan sólo 17,5 °C sobre la superficie del mar, así como de 18,1 °C en la periferia urbana (Estación universitaria). Estos mismos valores parecen mostrar que en la temperatura media de la UJI, 18,1 °C, ya se dejan sentir los efectos de la misma ciudad universitaria elevando actualmente en 1 °C la media histórica del observatorio del Instituto Ribalta. Importante es la notoria elevación de la temperatura registrada durante 2004-2006 en el observatorio del centro de la ciudad con respecto a los otros dos observatorios exteriores. El valor de la tendencia en el Casino Antiguo duplica el de la estación universitaria. La estación marina muestra una tendencia contraria.

Estas diferencias entre los valores periféricos y los urbanos, se manifiestan continuamente a lo largo de la evolución anual (Fig. 19). Este régimen anual ha mostrado un mínimo sobre el mes de febrero, frente al normal de enero, siendo por lo tanto paralelo al de la temperatura superficial del mar. Las temperaturas marinas muestran a partir del otoño la intensa acumulación de energía en las aguas apaciguando la diferencia con las continentales. El efecto suavizador del mar queda reflejado en las diferencias máximas registradas durante los meses de verano, próximas a 5 °C con respecto a las temperaturas máximas de la urbe.

La máxima diferencia térmica entre Casino y UJI se registre en los meses de julio y agosto, cuando acaba la actividad académica en el campus universitario.



[Figura 19. Régimen anual de la temperatura en Castellón. Fuente QUEREDA SALA, E. Y OTROS (2008): "Un análisis experimental del efecto urbano sobre las temperaturas. Rev. Investigaciones geográficas. N°43. Págs. 5-17.]

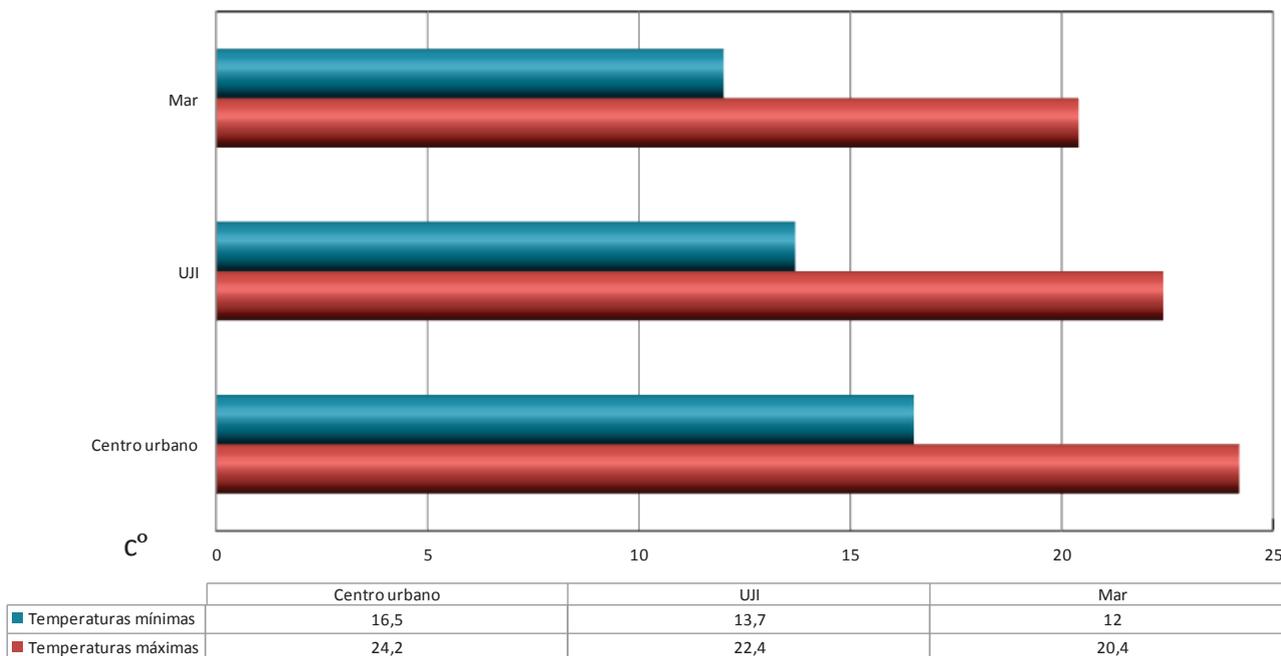
En cuanto a las temperaturas medias máximas y mínimas, decir que también revelan la diferencia entre las temperaturas urbanas y las de los alrededores de la ciudad.

La discrepancia en las temperaturas máximas medias anuales es notoria. Así el centro urbano ha registrado una media de 24,2 °C, mientras que la estación de la UJI en el campus universitario ha registrado 22,4 °C. Las temperaturas del mar registran un valor de 20,4 °C.

Por otra parte, el régimen anual de las temperaturas mínimas muestra una diferencia más exagerada que las máximas, entre los valores urbanos (16,5 °C) y los situados en el campus universitario (13,7 °C), reflejo del notorio efecto térmico que el microclima urbano está ejecutando en el observatorio central de la ciudad. Las diferencias próximas a los 3 °C se mantienen durante todo el año entre el Casino y la UJI.

Las temperaturas marinas, conformes con el efecto termostático del mar Mediterráneo con mínima invernal en las aguas de 12 °C, muestran en las temperaturas mínimas unos valores más elevados que las universitarias (14,8 °C) pero igualmente una diferencia de casi 2°C con respecto a las urbanas (Figura. 20).

TEMPERATURAS MEDIAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS EN LAS DIFERENTES ESTACIONES METEOROLÓGICAS, CASTELLÓN.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos tomados de Quereda Sala, E. v Otros (2008)

[Figura 20. Temperaturas medias máximas y mínimas, de las tres estaciones meteorológicas de Castellón.]

Cuenca, con 56.107 habitantes, según el INE de 2013, y cuyo núcleo originario de la ciudad se ubica en lo alto de un espolón rocoso, enclavado entre las hoces del río Júcar y de su afluente el Huécar, a unos 1000 metros de altitud.

El clima de la ciudad de Cuenca es mediterráneo continental, con temperaturas frías en invierno, de media presenta alrededor de 13.8°C en 2012, según la Agencia Estatal de Meteorología. Las temperaturas son frías en invierno y suaves en verano, en enero 5.6°C y en Julio 24°C, existe una importante oscilación térmica diaria durante todo el año, con una amplitud de 10.2°C en Enero, especialmente en los meses de verano, en torno a 16.5°C. Las precipitaciones son más abundantes que en su entorno debido al relieve montañoso de la Serranía de Cuenca, por lo que se sitúan alrededor 984 mm anuales. Se da un mínimo de precipitaciones en los meses estivales.

Para ver la presencia de la “isla de calor” se han hecho dos recorridos, el primero Norte-Sur, pasando y atravesando espacios muy diferentes: zonas verdes, ensanche, calles

cerradas, avenidas amplias y el segundo Noroeste-Sureste: desde el centro penitenciario hasta el polígono industrial de Los Palancares.

Se percibieron diferencias, pero están asociadas en vez de a la contaminación, a la alta densidad de edificios (aquí inexistente), las grandes industrias (inexistentes también), como ocurría en otras ciudades, está asociado a la accidentada topografía y a la trama urbana.

En el recorrido Norte-Sur, el diseño de las callejas presentaban unas zonas más abrigadas que otras. Este recorrido presentaba 246 metros de altitud, entre la cota más alta (cerro de Majestad y el río Moscas, 1.186 y 940 metros respectivamente). Las variaciones de temperatura en este recorrido no respondían al gradiente normal, o sea, $0.65^{\circ}\text{C}/100$ metros. Podemos decir, que en este recorrido, la topografía condiciona la inversión térmica, y lo que en otras situaciones sería isla de calor, aquí se convierte en un curioso escalón.

En cambio, en el recorrido Noroeste-Sureste, a unos 960 metros de altitud, se aprecian diferencias entre los espacios sin construcciones y en centro de la ciudad moderna.

Cáceres, con 95.925 habitantes, según el INE de 2013. Según la Agencia Estatal de Meteorología, en el año 2012, se alcanzó la temperatura más baja en Febrero con 7.1°C y la máxima en Agosto con 26.2°C . La media anual de las precipitaciones es de 523mm, con un marcado mínimo estival.

Para interceptar el fenómeno de la “isla de calor” se tomaron datos de dos observatorios meteorológicos, uno situado en el interior de la ciudad y otro en las afueras de la misma. Durante cuatro años, se hicieron medidas en ambos y los resultados fueron los siguientes: las mínimas medias del observatorio rural son más frías en todos meses que las urbanas, siendo en los valores máximos las diferencias menores. Estos datos no nos permiten precisiones excesivas, pero son expresivos de la influencia urbana sobre las temperaturas.

Respecto a las Palmas de Gran Canaria:

Romero Martín, L., Máyer Suárez, P., Hernández-Cordero, A.I. y Ruiz Flaño, P., analizaron las temperaturas nocturnas de la Ciudad Baja de Las Palmas de Gran Canaria. La averiguación se adquirió a partir de los registros de once sensores, ubicados en cada una de las unidades homogéneas identificadas en ese ámbito de la ciudad. Se

estudia la distribución espacial, la variabilidad en el tiempo y la intensidad o la fuerza de la “isla de calor”.

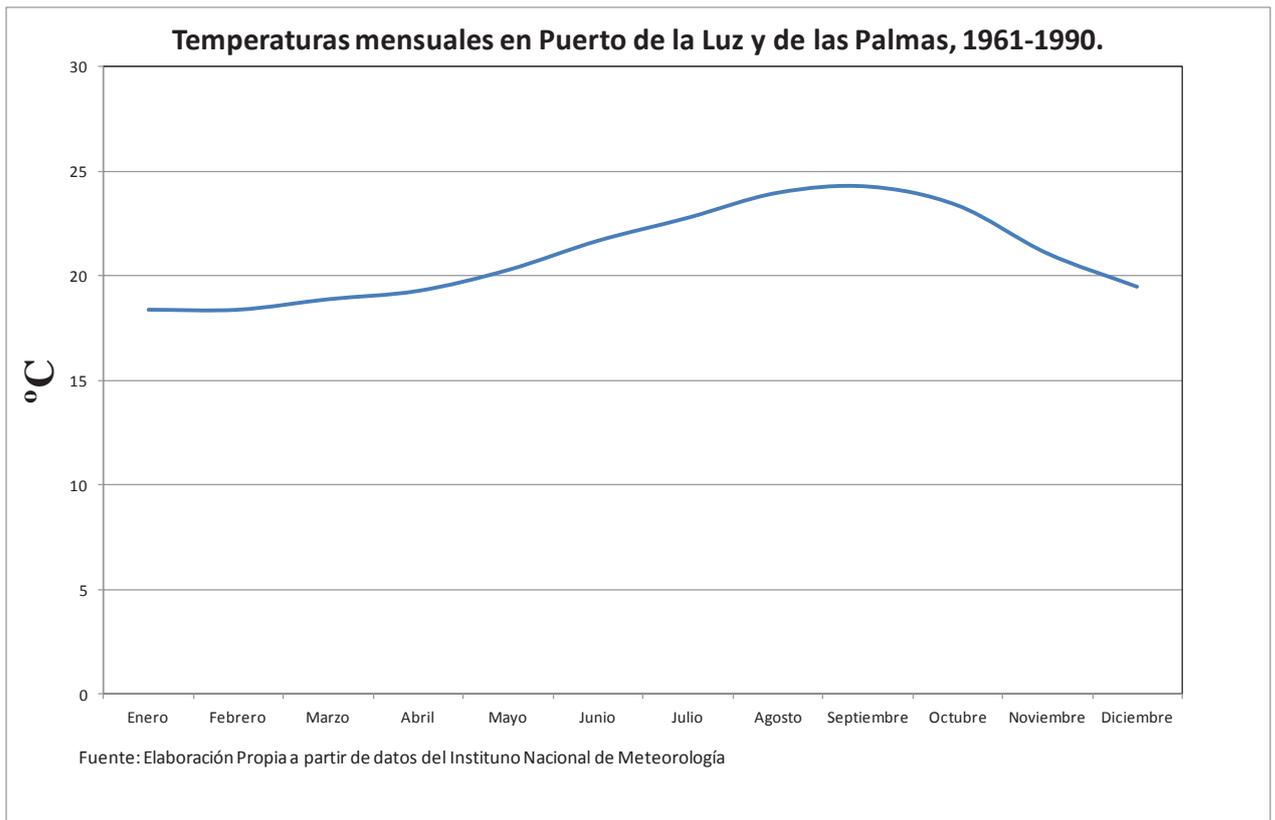
La metodología se funda en el estudio estadístico de los registros de las temperaturas y en el análisis espacial de aquellos, así como de las variables (la densidad de los edificios, la altura de los mismos, la densidad de tráfico rodado y la distancia al mar) que inciden en sus valores mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Las Palmas de Gran Canaria, capital de la isla de Gran Canaria, es una ciudad litoral que ha desarrollado un crecimiento exagerado en las últimas décadas. De facto, es el municipio, de todo el Archipiélago, con más superficie urbanizada, en el año 2002.

Presenta una superficie de 5,3 Km² y es conocida como Ciudad Baja. En ella se encuentra, el núcleo de fundación de la ciudad y se asienta el crecimiento actual de la misma, además de coincidir allí, el uso administrativo con el residencial, el económico, comercial el deportivo, el ocio. La configuración urbana de este ámbito de la ciudad tiene como por característica, la trama cerrada de sus calles.

Constituye una ciudad bien aireada, aunque el porcentaje de días de calma al año es algo elevado -22% promedio anual-. Los vientos que dominan son los alisios. El mes más ventoso es julio y el que menos, octubre.

Las Palmas de Gran Canaria, se localizan en el norte de la isla, influida constantemente por los vientos alisios, que unidos a su baja altitud y su condición de ciudad litoral, hacen de ésta, su peculiar clima. De esta manera, la temperatura media anual es de 21° C, con una amplitud térmica anual de 6° C. El mes con las temperaturas más elevadas es Septiembre con 24.3°C, y las más bajas en Enero, con 18,4°C. Observamos como las temperaturas más o menos siguen una tendencia estable, y no se ven grandes diferencias como en las otras ciudades estudiadas (con grandes oscilaciones térmicas, ver figura 21)



[Figura 21: Temperaturas mensuales en Puerto de la Luz y de las Palmas. Fuente: Instituto Nacional de Meteorología, 1960-1990]

En lo que confiere a las precipitaciones, decir que éstas apenas logran los 112 mm de media anual y suelen producirse en pocos días al año, en una media de 22/23 días.

Los resultados obtenidos, a través de los once sensores (algunos de ellos dieron problemas y anomalías térmicas, que se solventaron) del análisis del comportamiento de las temperaturas en nuestro sector de estudio, nos muestran que las temperaturas medias del periodo analizado revelan la presencia de dos focos cálidos en la Ciudad Baja de Las Palmas de Gran Canaria. Uno se localiza en el norte de la ciudad, en los confines de los barrios Santa Catalina y del Puerto, y el otro en la zona centro-sur en, en el de Arenales. Al igual que aparecieron zonas de calor, también se localizaron zonas de frescor, ambas en los extremos de la zona de estudio. Las diferencias de temperatura entre las zonas más cálidas y más frescas son de 3° C.

En definitiva, en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria se confirma la presencia de una “isla de calor” con una intensidad media de 1,8° C de diferencia entre el punto más cálido y el más fresco de la ciudad. En cambio, si analizamos la intensidad de la “isla de calor” mensualmente, esta “isla” manifestaría valores levemente superiores, siendo ésta moderada en los meses de julio a octubre, con 2,3° C de diferencia entre el punto más cálido y el más fresco de la ciudad; y durante agosto y septiembre de 2,2°C, y en Julio y

en Noviembre de 2,1 °C. Así pues, podemos comprobar cómo estos valores responden a una “isla de calor” de moderada intensidad, que cuando penetra el otoño, resultan por debajo de la media del período.

También, apuntar como las variables que mayor peso tienen en la incidencia de la intensidad y de la localización espacial de las temperaturas y la humedad, son la densidad y altura de las edificaciones. Por el contrario, otras variables como la densidad de tráfico y la distancia a la costa tienen una importancia menor.

4. CONCLUSIONES

En los dos últimos decenios, se está desarrollando un gran esfuerzo en la investigación de las variaciones climáticas, y a cómo influye el hombre sobre el clima. A pesar de los estudios, aún existen numerosas incertidumbres en este dominio en plena efervescencia y en el que oscilaciones de medio grado, tal vez más, deben ser inspeccionadas con prudencia, ya que la causa puede deberse a un cambio en la ubicación de los observatorios o un cambio de abrigo.

Así, el análisis de la evolución de la temperatura por medio de las series históricas disponibles de los principales observatorios mundiales no es tarea fácil, ya que algunos procesos no climáticos deben ser tenidos en cuenta. Sin duda alguna, el proceso más importante es el efecto térmico urbano. Las ciudades se han convertido en células de condiciones climáticas distintas a las del entorno circundante. Como ya sabemos, este proceso se llama «isla de calor» que debe ser tomada en cuenta en el análisis de la evolución de las temperaturas. Este fenómeno es el resultado, pues, de la acción conjunta de varios factores, como pueden ser: el calor antrópico que desprenden las diversas estructuras y vehículos, el aumento en la acumulación del calor diurno y un lento desprendimiento de calor por la noche, reducción en la pérdida del calor dado que la velocidad del viento es menor. Obviamente tengo que aludir al alto efecto de invernadero del aire contaminado por CO₂ y otros gases, como factor del calentamiento del aire y, concretamente, del escaso enfriamiento nocturno que incide en las temperaturas mínimas, que son menos frías que el entorno rural. En consecuencia, las variaciones de los elementos climáticos es la resultante del balance de energías de una ciudad, debido a la absorción de energía solar por parte de los materiales de construcción, y la liberación de energía que irradian las viviendas (calefacción, aire acondicionado) e industrias.

Así, debemos de tener una serie de consideraciones claras:

- Cuanto mayor tráfico rodado presenta una ciudad, cuanta más población albergue y, cuanta más industria presente, mayor será el incremento de temperatura en ésta, respecto a sus alrededores.
- La “isla de calor urbana” es más intensa, en situaciones anticiclónicas; es decir, en noches con viento en calma o flojo y cielos rasos o poco nubosos y depende de las características de la propia ciudad. Hay que añadir la estrecha relación que se da entre la magnitud del fenómeno y el número de habitantes de la ciudad.
- Con viento fuerte la “isla de calor” disminuye y puede desaparecer, al mezclarse el excedente térmico con el aire frío circundante. De hecho, debido a la fricción de los edificios y a su efecto de obstrucción, la intensidad del viento en el interior de la ciudad es siempre menor a la de los espacios rurales.
- La carencia de grandes zonas verdes, reaviva la formación de la “isla de calor”, dado que las oportunidades de transformar la energía solar a través de la fotosíntesis, se reducen.
- Los edificios con muchas alturas, también ayudan a la formación de este fenómeno, debido a las muchas reflexiones horizontales de la radiación recibida, que acrecientan la probabilidad de que esta energía persista en el suelo.
- Las ciudades ubicadas en un valle circundando por montañas están más expuestas a sufrir una “isla de calor”, porque el aire queda interceptado por las montañas que la rodean creando una envoltura más espesa y gruesa.
- La mayoría de las emisiones de gas de “efecto invernadero” que contribuyen al Cambio Climático global, provienen de zonas urbanas (ciudades). Por ende, estas emisiones ayudan a las condiciones del tiempo a escala local y global, y también a la alteración climática. Una mayor urbanización, significará el aumento de las emisiones que se causan en las zonas urbanas. La investigación de los impactos de mayor escala de las emisiones urbanas, es meditada como una relevante área de investigación futura.

A continuación, vamos a poner en relación la “isla de calor” con el calentamiento global, ¿la “isla de calor”, exagera la tendencia al calentamiento o tiene que ver con él? Yo creo que “las islas urbanas de calor” por sí mismas no son responsables del calentamiento global ya que son fenómenos de pequeña escala, magnitud y cubren sólo

una fracción muy pequeña de la superficie terrestre. No obstante, hay algunas conexiones urbano-globales que hay que destacar:

- Alrededor de la mitad de la población mundial vive hoy en día en ciudades, y se espera que esta cantidad aumente conforme el paso de los años. La alta tasa de urbanización, fundamentalmente en los trópicos, implica que un futuro, hará que cada vez más personas se vean expuestos a los impactos resultantes de la “isla de calor”.
- Las ciudades han sido siempre el lugar de algunas de las estaciones de observación más anticipadas, utilizadas para fundamentar el record global de temperatura de la superficie, usado para documentar cambios climáticos de larga escala. Con el paso de los años, las consecuencias de la urbanización, y en efecto, las “islas de calor” en estas estaciones, pueden llevar a cierta “contaminación” del record de temperatura.
- Las modificaciones climáticas que se han dado en las grandes urbes en la última centuria, exponen semejanzas en términos de las tasas y magnitudes esperadas con respecto a los cambios climáticos programados hacia el futuro. Lo que quiero decir, es que las ciudades pueden servir como modelo a seguir para evaluar e investigar los impactos del Cambio Climático, así como las estrategias de adaptación al mismo.

Estos factores recalcan la importancia de los climas urbanos no solo en la escala local sino también, para la escala global. A mi juicio, llamamos Cambio Climático a la variación global del clima de la Tierra. Si bien es cierto, que el clima de la Tierra ha evolucionado a lo largo de la historia geológica del planeta. Distintos autores afirman con seguridad, que el clima continuará cambiando en el futuro. En parte, la evolución se verá impulsada por causas naturales, como pueden ser por ejemplo, las fluctuaciones en la órbita de la Tierra. Sin embargo los cambios climáticos que nos sucedan tendrán probablemente un nuevo origen, como es la actividad humana, derivado de la excesiva emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero que derivan de la quema de combustibles fósiles. Desde un punto de vista paleoclimático, los cambios climáticos

son normales, y son parte de la variabilidad natural de la Tierra. Esta última se encuentra relacionada con las interacciones entre la atmósfera, el océano y la Tierra.

El Cambio Climático puede implicar una grave amenaza para el ser humano y para los ecosistemas. Tanto luchar para detenerle, como remediar sus efectos representaría costes muy altos, económicamente hablando, e invaluable, visto desde la óptica de la salud: pérdida de especies, culturas, territorios. La solución debería formarse mediante esfuerzo global, teniendo en cuenta las capacidades y la responsabilidad histórica de los diferentes países. Así, las naciones desarrolladas deberían adjudicarse el liderazgo en la mitigación de emisiones y apoyar a las menos desarrolladas (que son más vulnerables para proteger a sus generaciones futuras).

Para concluir con este estudio, me gustaría resaltar muchas carencias que en un futuro, me gustaría que se resolviesen, por ejemplo que las investigaciones, en cuanto a las alteraciones pluviométricas, son muy escasas e inconclusas y tropiezan, entre otros, con un grave problema técnico, como es la itinerancia repetida del observatorio meteorológico oficial. Otra carencia, sería que el daño que producen las industrias fábricas, calefacciones, en el clima urbano, tiene graves repercusiones pero falta de investigarlo, por ejemplo, invirtiendo más recursos económicos y financiación para que se hagan investigaciones acerca de este tema.

Los estudios más profundos acerca del clima urbano se han centrado en las grandes ciudades como Madrid y Barcelona. Pero en regiones como el valle del Ebro o en la mayoría de las ciudades españolas falta mucho por investigar. Por ejemplo, en la investigación acerca de la “isla de calor” en Valladolid, el aparato de medida que se utilizó, carecía de veleta, y obviamente, no se podían valorar los flujos de aire hacia el interior de la ciudad. A parte de este impedimento, también hay que decir que fue muy parcial, tan sólo unos días. En mi opinión creo que debe volver a repetirse esta investigación y compararse, para así, analizar los resultados obtenidos.

Yo espero que en años sucesivos, este tema adquiriera mayor relevancia y se dedique más dinero y más personal para investigarlo, ya que es un tema muy importante e influye directamente al ser humano, al desarrollo socio-económico y la calidad de vida.

5- BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADELAIDE LOMBARDO M. (1985): Ilha de calor nas metropoles: O exemplo de Sao Paulo. Sao Paulo, Hucitec. Pp 244.

ALBENTOSA SÁNCHEZ, L. M. (1979): “Contaminación atmosférica y cambio de clima en las regiones urbanas industrializadas”. El incremento de las precipitaciones. Págs. 11-20. En “Aportacions en homentage al geograf Salvador Llobet”. Ed. Departament de Geografia-Universitat de Barcelona. 214 pp.

ALBENTOSA SÁNCHEZ, L. M. (1979): Contaminación atmosférica y nieblas en las áreas urbanas industrializadas. Págs. 529-533. En “Homenatge a Lluís Solé Sabaris”. Ed. Universitat y C. S d'Investigacions Científiques. Barcelona. 589 pp.

ALBENTOSA SÁNCHEZ, L. M. (1980): “Contaminación y cambio de clima en las regiones urbanas industrializadas”. Rev. Tarraco-Cuadernos de Geografía.

ALCOFARADO, M^a J. (1998): “La isla de calor en Madrid: notas sobre barrios centrales”. Coordinadores Galán Gallego E. y Cañada Torrecilla R. En Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas. Pag. 241-256.

ALEXANDERSSON. H., and MOBERG, A. (1997): «Homogenization of swedish temperatura data. Part I: Homogeneity test for linear trends». International Journal of Climatology, 17, pp. 25-34.

ALVARES PEDRERO R.E. (1998):”La Isla de calor en Valladolid”. Pag 231-239. En Fernández García F., y Coordinadores Galán Gallego E. y Cañada Torrecilla R. Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas. Madrid. Parteluz.

BERAL-GUYONNET, I. (1997): “Analyse spatiale des temperaturas mensuelles dans l'agglomération lyonnaise: l'îlot de chaleur urbain” Rev. Géographie de Lyon. Vol.72. N°4. Pag. 236-267.

CALONGE GANO, G. (1991): El medio físico del Canal del Duero. Condiciones climáticas y configuración geomorfológica. Pag. 92-113. En “El Canal del Duero”. Ed. Consejería de Agricultura y Ganadería de la Junta de Castilla y León. Valladolid. 286 pp.

CALONGE CANO, G. (2008): Climas locales y urbanos. Fundamentos científicos y metodologías. Cursos del TERCER CICLO (Doctorado). Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid. Inédito.

CALONGE CANO, G. (2013): Apreciaciones sobre el Cambio Climático global. Fundamentos e insuficiencias en el contexto de la decisiva contaminación. Rv: Polígonos. N° 24

CALONGE CANO, G. Y QUIRÓS HERNÁNDEZ, M (2004): Extensas nieblas invernales en la Cuenca del Duero. Rev. Polígonos. N° 11-12. Págs. 45-75.

- CATALÁ DE ALEMANY, T. (1986): Contaminación y conservación del medio ambiente. Ed. Alhambra. Madrid. 105 pp.
- CUADRAT PRATS J. M, DE LA RIVA J., LÓPEZ F., Y MARTÍ A. (1993): El medio ambiente urbano en Zaragoza. Observaciones sobre la «isla de calor». Anales de Geografía de la Universidad Complutense, nº 13, Ed. Comp., Madrid. Págs 127-138
- CUADRAT PRATS J M^a, FERNANDA PITA M. (1997): Climatología. Madrid. Cátedra. Pp 496.
- CUADRAT PRATS, J M^a, SAZ M., (2002), “Spatial patterns estimation of urban heat island of Zaragoza (Spain) using GIS”, Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio.
- EASTERLING, D. R. and PETERSON, T. C. (1992): «Techniques for detecting and adjusting for artificial discontinuities in climatological time series: a review». 5th International Meeting on Statistical Climatology, June 22-26, 1992, Toronto, pp. J28-J32.
- ESCOURROU, G. (1984): “L'évolution du climat français: océanisation et influence de l'urbanisation”. Rev. Géographie de L'Est. Nº 1. Págs. 17-26
- ESCOURROU, G. (1990): “La spécificité du climat de l'agglomération parisienne”. Rev. Géographie de Lyon. Nº2. Págs. 85-89.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (1990): La influencia de la ciudad sobre las precipitaciones. El caso de Madrid. Rev. Estudios Geográficos. Nº 199-200. Págs. 397-412.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (1996): “La influencia del relieve en la isla de calor de Madrid: las vaguadas del Manzanares y del Abroñigal”. Rev. Estudios geográficos Nº224. Pag. 475-495
- GANHO, N. (1995): “La isla de calor en Coimbra bajo diferentes condiciones de tiempo de verano”. Rev. Estudios geográficos. Nº 219. Pag. 285-318.
- GARCÍA RUIZ J. M., ORTIGOSA IZQUIERDO L.M., ARNÁEZ VADILLO J. Y GÓMEZ VILLAR AMELIA (1989): Organización espacial de las temperaturas en Logroño. Cuadernos I. Geográfica. Nº 1-2. Págs 87-98
- GUIJARRO, J. A. (1998): “Influencia de la urbanización en las series termométricas de Baleares. En “Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas”. Pag. 305-314.
- HERNÁNDEZ, L. y PARREÑO, J. M. (Eds.), Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 752-765.

- LADNSBERG H. E. (1981): The urban climate. Ed. Academic Press. Nueva York. 277 pp.
- LÓPEZ GÓMEZ A. (1983): Los transportes urbanos de Madrid, Instituto “Juan Sebastián Elcano” (CSIC). Madrid. Pp 13-69.
- LÓPEZ GÓMEZ, A. Y FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (1984): “La isla de calor en Madrid. Avance de un estudio de clima urbano”, Estudios Geográficos, 174, págs. 5-34
- LÓPEZ GÓMEZ, A. y OTROS (1993): El clima de las ciudades españolas. Ed. Cátedra Madrid. 262 pp.
- LÓPEZ GÓMEZ, A. Y OTROS (1995): “Teledetección y clima urbano: variaciones nocturnas y diurnas de la isla de calor en Madrid”. Ed. Instituto de Economía y Geografía. Madrid. 75 pp.
- MARTÍN VIDE, J. (1980): Persistencia de los días con o sin precipitación en Barcelona. Rev. De Geografía. Vol. XIV. Nº 1 y 2. Pag. 39-58.
- MARTÍN VIDE, J. (1986-1987): “Acerca de la medición y experimentación en Geografía Física. Un ejemplo climatológico: “la isla de calor”. Rev. Notes de Geografía Física. Nº 15-16. Págs. 21-27.
- MARTÍN VIDE J., (1990): Modificaciones térmicas en las ciudades. Avance sobre la *isla de calor* en Barcelona. Documents d’anàlisi Nº 17. pp. 51-77
- MARTÍN VIDE, J, Y OTROS (1998): Distribución de la precipitación según el día de la semana en varias ciudades españolas. En “climas y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas”. Pag. 1975-205.
- MARTÍN VIDE, J. Y MORENO M. (2001): Climas y tiempos de España. Ed. Alianza. Madrid. 248 pp.
- MORALES RODRÍGUEZ, C. Y OTROS (1994): Aproximación al estudio de las nieblas en el Valle Medio del Duero. Rev. Investigaciones Geográficas. Nº12. Pag. 23-44.
- MORENO GARCÍA, M.C.(2001): “Climas urbanos y variabilidad climática”. Págs. 153-176 en MARTÍN VIDE, J. y OTROS “Climas y tiempos de España”. Ed. Alianza. Madrid. 258 pp.
- MUSCAR BENASSAYAG, E. F. (1987): Una propuesta para el análisis de la contaminación atmosférica. Rev. Estudios Geográficos. Nº 188. Págs. 409-438.
- QUEREDA SALA, E. Y OTROS (2008): “Un análisis experimental del efecto urbano sobre las temperaturas. Rev. Investigaciones geográficas. Nº43. Págs. 5-17.
- RASO NADAL, J. M. (1993): Evolución de las precipitaciones anuales en España desde 1870. Rev. Notes de Geografía Física. Nº22. Pag. 5-24 Rev.

SANTAMAURIS M., (2001), “Energy and climate in the urban built enviroment”, James&James. London. Pág 402

TUMINI I., HIGUERAS GARCÍA, E. (2012): Alcance y limitaciones de las herramientas de simulación para el estudio del microclima urbano. DYRA. Energía y Sostenibilidad.

Enlaces a páginas web:

INE: <http://www.ine.es/>

Atlas de climatología de Aragón: <http://www.aragon.es/>

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET): <http://www.aemet.es>