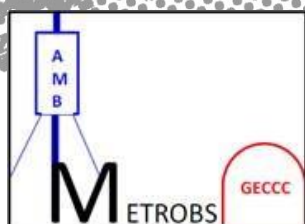


METROBS 2015

LA ISLA DE CALOR EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BARCELONA Y LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Diciembre 2015



 **AMB** : Àrea Metropolitana de Barcelona

Treball encarregat per:

Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB

Assistència tècnica:

Universitat de Barcelona. Director: Javier Martín-Vide. Equip d'investigació: Víctor M. Artola, M^a José Cordobilla i M^a Carmen Moreno.

Barcelona Regional (BR).

Índice

Parte 1: LA INTENSIDAD DE LA ISLA DE CALOR DEL ÁREA METROPOLITANA DE BARCELONA, A PARTIR DEL ANÁLISIS DE LAS TEMPERATURAS MÍNIMAS DE DOS OBSERVATORIOS FIJOS.....	4
Parte 2: LA CONFIGURACIÓN DE LAS ISLAS DE CALOR DEL ÁREA METROPOLITANA DE BARCELONA, A PARTIR DE TRANSECTOS URBANOS.....	36
Parte 3: LA INTENSIDAD DE LA ISLA DE CALOR DEL ÁREA METROPOLITANA DE BARCELONA SEGÚN LA SITUACIÓN SINÓPTICA.....	72
Parte 4: EL FACTOR DE VISIÓN DEL CIELO (SVF, <i>SKY VIEW FACTOR</i>) EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BARCELONA.....	80
CONCLUSIONES GENERALES.....	92
RECOMENDACIONES.....	95
Referencias bibliográficas.....	99
Agradecimientos.....	100

PARTE 1

LA INTENSIDAD DE LA ISLA DE CALOR DEL ÁREA METROPOLITANA DE BARCELONA, A PARTIR DEL ANÁLISIS DE LAS TEMPERATURAS MÍNIMAS DE DOS OBSERVATORIOS FIJOS.

1.1. Introducción.

Uno de los objetivos principales de la mayoría de estudios sobre la isla de calor urbana es establecer su intensidad en determinadas noches o, incluso, si el número de observaciones es suficientemente amplio, su intensidad máxima y su intensidad media. La intensidad de la isla de calor es la diferencia de temperatura entre el sector más cálido de la ciudad y el espacio no urbano que rodea la ciudad en un momento determinado. Formalmente,

$$\Delta T_{u-r} = T_u - T_r$$

donde ΔT_{u-r} es la intensidad de la isla de calor, T_u , la temperatura de un punto del centro (cálido) de la ciudad y T_r , la temperatura de un punto rural o no urbano próximo a la ciudad.

La intensidad de la isla de calor es el indicador más simple y cuantitativo de la modificación térmica que impone la urbe sobre el territorio en el que se emplaza y de su calentamiento relativo respecto al medio rural circundante en horario nocturno (Memon et al, 2009). La expresión anterior de la intensidad de la isla de calor se fundamenta en el esquema o modelo aditivo de Lowry (1977), que, simplificado, se resume del siguiente modo:

T_u , la temperatura medida en un punto urbano (cálido) es función del clima de la región (C) en la que se localiza más el efecto de los factores geográficos locales del lugar de medida urbano (G_u) y más la influencia de la urbanización (U):

$$T_u = C + G_u + U$$

T_r , la temperatura medida en el punto no urbano es función del mismo clima regional más el efecto de los factores geográficos locales del lugar de medida no urbano (G_r):

$$T_r = C + G_r$$

Si los factores geográficos locales son similares en ambos puntos, es decir $G_u = G_r$, entonces la diferencia entre las dos temperaturas expresará el efecto de la urbanización:

$$U = T_u - T_r$$

Por tanto, es imprescindible, si se quiere dar un valor correcto y comparable de la intensidad de la isla de calor, elegir un punto no urbano con una altitud y una distancia al mar o a las masas de agua existentes comparables a las del punto urbano. Estos dos factores geográficos, altitud y distancia al mar, son los decisivos, mientras que otros, como la latitud, no aportan diferencias sustanciales entre los dos puntos. Si el punto no urbano se sitúa, por ejemplo, a varios centenares de metros por encima del urbano, su temperatura en promedio va a ser apreciablemente más baja, o episódicamente mayor si se da inversión térmica. En todo caso, el efecto urbano quedaría enmascarado al calcular la diferencia de temperaturas (Martin Vide *et al*, 2015). Bien es cierto que la disponibilidad de observatorios con registros fiables limita, muchas veces, la elección de los puntos urbano y no urbano.

En el presente estudio se ha elegido como punto urbano el observatorio oficial de primer orden de la Agencia Estatal de Meteorología en Barcelona, sito en la Vila Olímpica de Barcelona (41°23'26"N; 2°12'00"E; 25 m; indicativo 0201D), y como punto no urbano el observatorio de la misma institución del aeropuerto de Barcelona (41°17'34"N; 2°4'12"E; 4 m; indicativo 76), a una altitud similar y a una distancia al mar parecida. Es cierto que el primero no se localiza en el sector más cálido de la ciudad de Barcelona, que, por trabajos previos, estaría en la parte baja del Eixample (Moreno, 1993), en su contacto con el Raval, pero sus valores nocturnos difieren poco de los registrados en este sector, como se ha podido comprobar a partir de los registros del observatorio Barcelona-Raval (41°23'2"N; 2°10'39"; 33 m) del Servei Meteorològic de Catalunya de un período coincidente. Del mismo modo, el observatorio del aeropuerto de Barcelona tampoco se ubica en un ámbito rural, que prácticamente no existe en el Área Metropolitana de Barcelona (AMB), donde los tipos de superficies son, además de urbanas, periurbanas y rururbanas, más que rurales. Habría que distanciarse mucho de Barcelona para encontrar espacios auténticamente rurales, con lo que no se cumplirían los requisitos del esquema de Lowry. El aeropuerto de Barcelona, a pesar de sus instalaciones, es un ámbito ampliamente abierto, con un *sky view factor* (ver Parte 4) muy elevado y, en consecuencia, con un enfriamiento nocturno marcado, que contrasta con el de los centros de las ciudades de la AMB, y en particular el de Barcelona. Además, como se ha dicho, sus factores geográficos de altitud y distancia al mar son similares a los de la parte baja de la ciudad de Barcelona.

1.2. Los datos de los observatorios fijos.

Para el presente proyecto y de cara a obtener la intensidad de la isla de calor barcelonesa se han utilizado los valores diarios de la temperatura máxima y de la temperatura mínima del período que va del 1 de enero de 2004 al 31 de diciembre de 2013 de los observatorios oficiales de la Agencia Estatal de Meteorología de Barcelona-Vila Olímpica y del aeropuerto de Barcelona, anteriormente citados. Potencialmente, sin

lagunas en los registros, hubieran sido 14.612 valores, desglosados así: 3.653 temperaturas máximas y 3.653 temperaturas mínimas de Barcelona ciudad y los mismos valores para el aeropuerto de Barcelona. El número de datos realmente disponible ha sido de 3.303 temperaturas máximas y 3.300 temperaturas mínimas de Barcelona-Vila Olímpica y 3.637 temperaturas máximas y el mismo número de temperaturas mínimas del aeropuerto de Barcelona. El número de datos disponibles en fechas comunes en los dos observatorios ha sido de 3.288 para las máximas y 3.285 para las mínimas. Al ser la isla de calor un fenómeno nocturno, el análisis se ha concentrado en las temperaturas mínimas de Barcelona ciudad y las correspondientes del aeropuerto, dado que estas temperaturas se registra muy mayoritariamente en horario nocturno o al amanecer. Por tanto, se ha analizado prácticamente el 90% (3.285 de 3.653) de las diferencias entre las temperaturas mínimas comunes posibles en el período de estudio. La calidad de los datos está garantizada por el organismo oficial del que provienen. Aun así se han sometido a un control de calidad básico, con el objeto de detectar posibles errores de transcripción, que han sido escasos. Complementariamente, se ha dispuesto de los valores diarios de las temperaturas mínimas del observatorio de Barcelona-Raval perteneciente al Servei Meteorològic de Catalunya del período que va del 11 de octubre de 2006, en que comienzan los registros, al 31 de diciembre de 2010. La diferencia entre las temperaturas mínimas de los observatorios de Barcelona-Vila Olímpica y Barcelona-Raval del citado período, más de 1.500 valores de cada lugar, es de 0,22°C favorable al segundo observatorio. Esto último refleja que se ubica más próximo al núcleo de la isla de calor de Barcelona, como se verá en la Parte 3.

1.3 Procedimiento metodológico para la comparación de las temperaturas mínimas del Barcelona ciudad y su aeropuerto.

El primer paso metodológico es el cálculo de las diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de Barcelona ciudad y su aeropuerto. Son, como se ha dicho, 3.285 valores. A continuación se ha hallado la distribución de frecuencias de estas diferencias en clases de longitud 1°C y se ha construido el histograma correspondiente. Igualmente, para cada estación y mes del año se han realizado las correspondientes distribuciones de frecuencias y se han construido los correspondientes histogramas. Asimismo, para todo el período, así como para las estaciones y los meses, se han calculado los parámetros estadísticos descriptivos básicos: Tamaño de la muestra, valores máximo y mínimo, rango, media, varianza, desviación típica, coeficiente de variación, error estándar, coeficiente de asimetría, coeficiente de curtosis y los percentiles 5, 10, 25, 50, 75, 90 y 95.

Una vez descritas estadísticamente las muestras anuales, estacionales y mensuales, en total 17 conjuntos estadísticos, se ha procedido a su ajuste mediante distribuciones de probabilidad. El paquete estadístico EasyFit, de Mathwave, especialmente indicado para

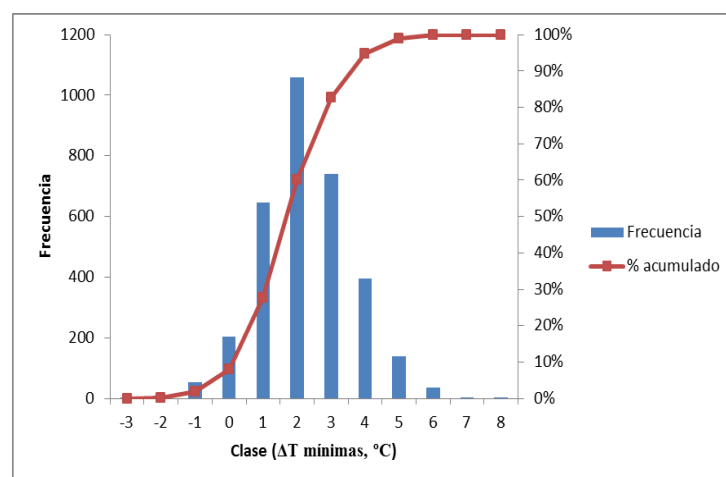
el ajuste de muestras mediante distribuciones de probabilidad (contiene más de medio centenar de leyes de probabilidad), ha sido la herramienta empleada. Se ha elegido la distribución de mejor ajuste, salvo cuando desde un punto de vista metodológico tal elección fuera incongruente con la naturaleza de los datos analizados. Finalmente, con las distribuciones de probabilidad seleccionadas en cada caso se han hallado las probabilidades de que las diferencias entre las temperaturas mínimas de Barcelona ciudad y de su aeropuerto sean positivas y sobrepasen 1, 2, 3, 4,..°C. De este modo se dispone de unos valores de probabilidad de la intensidad de la isla de calor barcelonesa.

1.4. Diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de Barcelona ciudad y su aeropuerto en el período de estudio.

Para el conjunto del período analizado, la distribución de frecuencias de los valores de las diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de los observatorios fijos de Barcelona-Vila Olímpica –la referencia urbana- y del aeropuerto de Barcelona –la referencia no urbana- de 3.285 días, y el correspondiente histograma, se presentan en la tabla 1.1 y en la figura 1.1.

Tabla 1.1 y figura 1.1: Distribución de frecuencias e histograma, respectivamente, de las diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de los observatorios fijos de Barcelona-Vila Olímpica y del aeropuerto de Barcelona, en el período 2004-2013, en °C.

Clase(lím.sup. abierto) °C	Frecuencia absoluta	% Acumulado
3,0	1	0,03
-2,0	8	0,27
-1,0	53	1,89
0,0	204	8,10
1,0	647	27,79
2,0	1060	60,06
3,0	741	82,62
4,0	395	94,64
5,0	138	98,84
6,0	35	99,91
7,0	2	99,97
8,0	1	100,00
	3.285	



Solo en un 8,10% de los días la temperatura mínima en la metrópoli barcelonesa ha sido inferior a la de su aeropuerto, es decir, en el 91,90% restante o ha sido igual o superior en la ciudad, lo que habla a las claras de la frecuencia de la anomalía térmica positiva de la ciudad con relación a su entorno. La clase modal es la 1,0-2,0, con 1.060 casos. Como

intensidades máximas de la isla de calor se han superado, en el período de análisis, los 7,0°C en un caso, concretamente 7,4°C, los 6,0°C en dos y los 5,0°C en treinta y cinco.

Los valores de los parámetros estadísticos básicos se recogen en la tabla 1.2. La media de las 3.285 diferencias entre temperaturas mínimas es 1,7°C, o, lo que es lo mismo, las noches en el mismo centro de la ciudad son, en promedio, cerca de 2°C más cálidas que en el aeropuerto. En esta afirmación se tiene en cuenta, además, los 0,22°C en que el observatorio complementario de Barcelona-Raval supera al de Barcelona-Vila Olímpica. Estos cerca de 2°C constituyen la intensidad media de la isla de calor barcelonesa, valor muy notable. El coeficiente de variación es elevado, 0,78, o 78%, lo que delata un notable contraste en las diferencias de las temperaturas mínimas de los dos observatorios entre unas noches y otras. Finalmente, el histograma es muy poco asimétrico y la distribución es algo leptocúrtica (ligeramente alargada respecto a la distribución Normal). La regularidad de la distribución y su histograma avalan la magnitud de la muestra. Por último, en el 10% de los días la diferencia entre las temperaturas mínimas iguala o sobrepasa los 3,5°C (percentil 90).

Tabla 1.2: Valores de los parámetros estadísticos básicos de las diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de los observatorios fijos de Barcelona-Vila Olímpica y del aeropuerto de Barcelona.

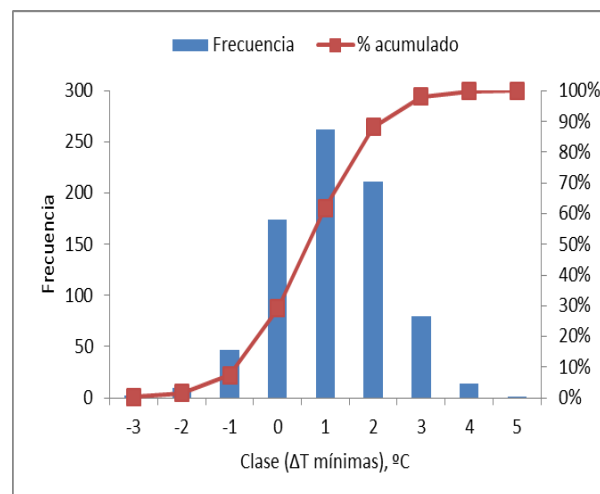
<i>Estadística</i>	<i>Valor</i>	<i>Percentil</i>	<i>Valor</i>
Tamaño de la muestra	3285	Min	-3,5
Rango	10,9	5%	-0,4
Media	1,7111	10%	0,1
Varianza	1,7794	25% (Q1)	0,9
Desviación estándar	1,334	50% (Mediana)	1,6
Coef. de variación	0,77958	75% (Q3)	2,6
Error estándar	0,02327	90%	3,5
Asimetría	0,1305	95%	4
Curtosis	0,30166	Max	7,4

1.5. Diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de Barcelona ciudad y su aeropuerto por estaciones del año.

Para la estación de primavera se han hallado las diferencias entre las temperaturas mínimas de los dos observatorios, Barcelona-Vila Olímpica y aeropuerto de Barcelona, para los 801 días disponibles en el período 2004-2013 (tabla 1.3), y se ha construido el correspondiente histograma (figura 1.2). Sólo en un 7,37% de ellos la ciudad registró un valor inferior al del aeropuerto, mientras que en el 92,63% restante fue superior, lo que revela la alta frecuencia de las islas de calor en primavera. La clase modal es la 1,0-2,0, con 262 efectivos. La intensidad máxima superó en una ocasión los 5°C.

Tabla 1.3 y figura 1.2: Distribución de frecuencias e histograma, respectivamente, de las diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de los observatorios fijos de Barcelona-Vila Olímpica y del aeropuerto de Barcelona en primavera, en °C.

Clase(lím.sup. abierto) °C	Frecuencia absoluta	% acumulado
-2,0	2	0,25
-1,0	10	1,50
0,0	47	7,37
1,0	174	29,09
2,0	262	61,80
3,0	211	88,14
4,0	80	98,13
5,0	14	99,88
6,0	1	100,00
y mayor...	0	100,00
	801	



Los valores de los parámetros estadísticos básicos se recogen en la tabla 1.4. La media de las 801 diferencias entre temperaturas mínimas es 1,6°C. El coeficiente de variación es elevado, 0,74, o 74%, lo que delata un notable contraste en las diferencias de las temperaturas mínimas de los dos observatorios entre unas noches y otras. Finalmente, el histograma es casi simétrico y la distribución es leptocúrtica. Por último, en el 10% de los días la diferencia entre las temperaturas mínimas iguala o sobrepasa los 3,1°C.

Tabla 1.4: Valores de los parámetros estadísticos básicos de las diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de los observatorios fijos de Barcelona-Vila Olímpica y del aeropuerto de Barcelona en primavera.

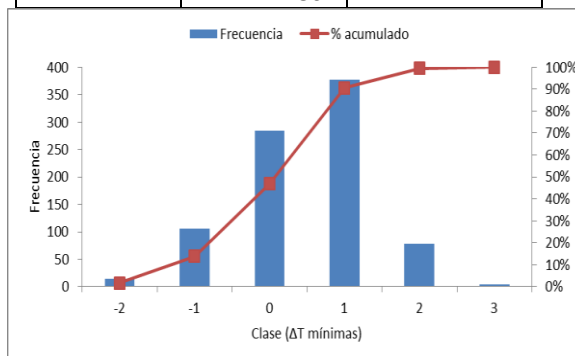
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	801	Min	-2,6
Rango	7,9	5%	-0,4
Media	1,5826	10%	0,2
Varianza	1,3579	25% (Q1)	0,8
Desviación estándar	1,1653	50% (Mediana)	1,6
Coef. de variación	0,73629	75% (Q3)	2,3
Error estándar	0,04117	90%	3,1
Asimetría	-0,0846	95%	3,5
Curtosis	0,23758	Max	5,3

Para la estación de verano se han hallado las diferencias entre las temperaturas mínimas de los dos observatorios, Barcelona-Vila Olímpica y aeropuerto de Barcelona, para los 864 días disponibles en el período 2004-2013 (tabla 1.5), y se ha construido el correspondiente histograma (figura 1.3). En un 13,89% de ellos la ciudad registró un

valor inferior al del aeropuerto, mientras que en el restante 86,11% fue superior. La clase modal es la 1,0-2,0, con 377 efectivos. El valor más alto de las diferencias fue 3,6°C, claramente inferior al de las otras estaciones.

Tabla 1.5 y figura 1.3: Distribución de frecuencias e histograma, respectivamente, de las diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de los observatorios fijos de Barcelona-Vila Olímpica y del aeropuerto de Barcelona en verano, en °C.

Clase	Frecuencia	% acumulado
-1,0	14	1,62%
0,0	106	13,89%
1,0	285	46,88%
2,0	377	90,51%
3,0	78	99,54%
4,0	4	100,00%
y mayor...	0	100,00%
	864	



Los valores de los parámetros estadísticos básicos se recogen en la tabla 1.6. La media de las 864 diferencias entre temperaturas mínimas es 0,9°C. El coeficiente de variación es muy elevado, 0,91, o 91%, lo que delata un notable contraste en las diferencias de las temperaturas mínimas de los dos observatorios entre unas noches y otras. Finalmente, el histograma presenta asimetría negativa, es decir, cola a la izquierda, y la distribución es leptocúrtica. Por último, en el 10% de los días la diferencia entre las temperaturas mínimas iguala o sobrepasa los 1,9°C.

Tabla 1.6: Valores de los parámetros estadísticos básicos de las diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de los observatorios fijos de Barcelona-Vila Olímpica y del aeropuerto de Barcelona en verano.

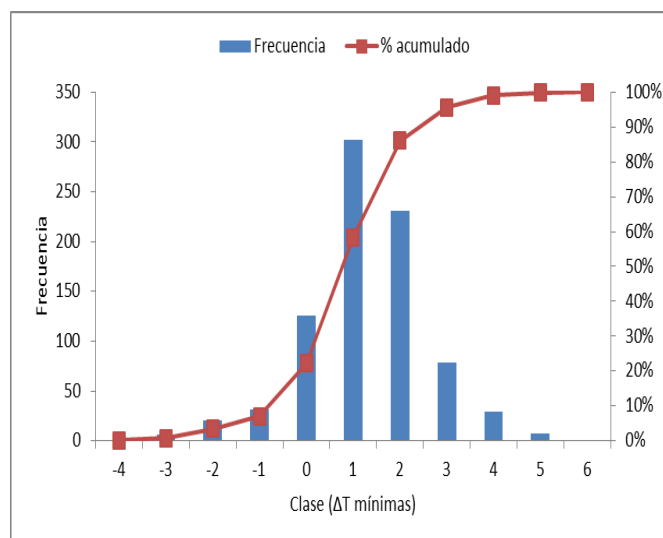
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	864	Min	-1,7
Rango	5,3	5%	-0,675
Media	0,93264	10%	-0,25
Varianza	0,72158	25% (Q1)	0,4
Desviación estándar	0,84946	50% (Mediana)	1
Coef. de variación	0,91081	75% (Q3)	1,5
Error estándar	0,0289	90%	1,9

Asimetría	-0,4065	95%	2,1
Curtosis	0,12418	Max	3,6

Para la estación de otoño se han hallado las diferencias entre las temperaturas mínimas de los dos observatorios, Barcelona-Vila Olímpica y aeropuerto de Barcelona, para los 834 días disponibles en el período 2004-2013 (tabla 1.7), y se ha construido el correspondiente histograma (figura 1.4). Solo en un 7,07% de ellos la ciudad registró un valor inferior al del aeropuerto, mientras que en el restante 92,93% fue superior, lo que refleja la alta frecuencia de noches con isla de calor en otoño. La clase modal es la 1,0-2,0, con 302 efectivos. El valor más alto de las diferencias fue 6,1°C y en 8 casos se superó los 5°C.

Tabla 1.7 y figura 1.4: Distribución de frecuencias e histograma, respectivamente, de las diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de los observatorios fijos de Barcelona-Vila Olímpica y del aeropuerto de Barcelona en otoño, en °C.

Clase	Frecuencia	% acumulado
-3,0	1	0,12%
-2,0	6	0,84%
-1,0	21	3,36%
0,0	31	7,07%
1,0	126	22,18%
2,0	302	58,39%
3,0	231	86,09%
4,0	79	95,56%
5,0	29	99,04%
6,0	7	99,88%
7,0	1	100,00%
y mayor...	0	100,00%
	834	



Los valores de los parámetros estadísticos básicos se recogen en la tabla 1.8. La media de las 834 diferencias entre temperaturas mínimas es 1,7°C. El coeficiente de variación es elevado, 0,75, o 75%, lo que delata un notable contraste en las diferencias de las temperaturas mínimas de los dos observatorios entre unas noches y otras. Finalmente, el histograma presenta asimetría negativa, y la distribución es claramente leptocúrtica. Por último, en el 10% de los días la diferencia entre las temperaturas mínimas iguala o sobrepasa los 3,2°C.

Tabla 1.8: Valores de los parámetros estadísticos básicos de las diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de los observatorios fijos de Barcelona-Vila Olímpica y del aeropuerto de Barcelona en otoño.

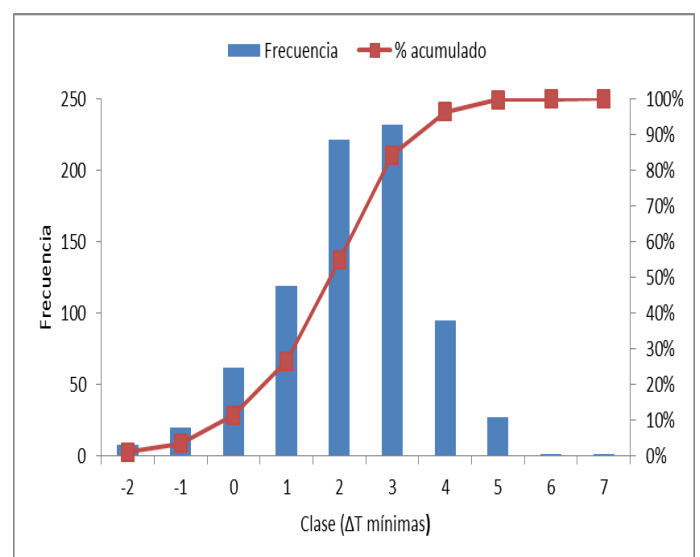
Estadística	Valor	Percentil	Valor
-------------	-------	-----------	-------

Tamaño de la muestra	834	Min	-3,5
Rango	9,6	5%	-0,6
Media	1,7194	10%	0,3
Varianza	1,6839	25% (Q1)	1
Desviación estándar	1,2977	50% (Mediana)	1,7
Coef. de variación	0,7547	75% (Q3)	2,5
Error estándar	0,04493	90%	3,2
Asimetría	-0,3013	95%	3,825
Curtosis	1,3906	Max	6,1

Para la estación de invierno se han hallado las diferencias entre las temperaturas mínimas de los dos observatorios, Barcelona-Vila Olímpica y aeropuerto de Barcelona, para los 786 días disponibles en el período 2004-2013 (tabla 1.9), y se ha construido el correspondiente histograma (figura 1.5). Solo en un 3,56% de ellos la ciudad registró un valor inferior al del aeropuerto, mientras que en el restante 96,44% fue superior, lo que refleja la muy alta frecuencia de noches con isla de calor en invierno. La clase modal es la 3,0-4,0, lo que destaca por su alto valor con respecto a las clases modales de las otras estaciones, y contiene 232 efectivos. El valor más alto de las diferencias fue 7,4°C, el más elevado de todo el período, en otro se superó los 6°C y en 27 días se rebasó los 5°C. Todos estos valores, así como el promedio de las diferencias, expresan con claridad que el invierno es la estación con el fenómeno de la isla de calor más intenso y frecuente en el Área Metropolitana de Barcelona.

Tabla 1.9 y figura 1.5: Distribución de frecuencias e histograma, respectivamente, de las diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de los observatorios fijos de Barcelona-Vila Olímpica y del aeropuerto de Barcelona en invierno, en °C.

Clase	Frecuencia	% acumulado
-1,0	8	1,02%
0,0	20	3,56%
1,0	62	11,45%
2,0	119	26,59%
3,0	221	54,71%
4,0	232	84,22%
5,0	95	96,31%
6,0	27	99,75%
7,0	1	99,87%
8,0	1	100,00%
y mayor...	0	100,00%
	786	



Los valores de los parámetros estadísticos básicos se recogen en la tabla 1.10. La media de las 786 diferencias entre temperaturas mínimas es 2,7°C, la más elevada entre las estaciones. El coeficiente de variación es elevado, 0,50, o 50%, aunque el menor por estaciones. Finalmente, el histograma presenta asimetría negativa, es decir, cola a la izquierda, y la distribución es claramente leptocúrtica. Por último, en el 10% de los días la diferencia entre las temperaturas mínimas iguala o sobrepasa los 4,3°C, un valor considerable.

Tabla 1.10: Valores de los parámetros estadísticos básicos de las diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de los observatorios fijos de Barcelona-Vila Olímpica y del aeropuerto de Barcelona en invierno.

<i>Estadística</i>	<i>Valor</i>	<i>Percentil</i>	<i>Valor</i>
Tamaño de la muestra	786	Min	-1,7
Rango	9,1	5%	0,3
Media	2,6889	10%	0,8
Varianza	1,8389	25% (Q1)	1,9
Desviación estándar	1,356	50% (Mediana)	2,8
Coef. de variación	0,50431	75% (Q3)	3,6
Error estándar	0,04837	90%	4,3
Asimetría	-0,4286	95%	4,8
Curtosis	0,29104	Max	7,4

En resumen, es el invierno, seguido por el otoño, la estación en que la isla de calor en Barcelona se manifiesta de forma más intensa y frecuente.

1.6. Diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de Barcelona ciudad y su aeropuerto por meses.

El mismo análisis de las estaciones del apartado anterior se ha realizado para cada uno de los meses. Los resultados se resumen en las tablas 1.11 a 1.22 y las figuras 1.6 a 1.17.

Tablas 1.11 a 1.22: Distribución de frecuencias de las diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de los observatorios fijos de Barcelona-Vila Olímpica y del aeropuerto de Barcelona en los meses del año, en °C.

Tabla 1.11.
Enero

<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
-1,0	2	0,73%
0,0	4	2,19%

1,0	18	8,76%
2,0	49	26,64%
3,0	81	56,20%
4,0	77	84,31%
5,0	30	95,26%
6,0	12	99,64%
7,0	1	100,00%
y mayor...	0	100,00%
	274	

Tabla 1.12.

Febrero

<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
-1,0	2	0,79%
0,0	10	4,74%
1,0	25	14,62%
2,0	46	32,81%
3,0	64	58,10%
4,0	79	89,33%
5,0	22	98,02%
6,0	4	99,60%
7,0	0	99,60%
8,0	1	100,00%
y mayor...	0	100,00%
	253	

Tabla 1.13.

Marzo

<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
-2,0	1	0,37%
-1,0	4	1,84%
0,0	12	6,25%
1,0	41	21,32%
2,0	66	45,59%
3,0	83	76,10%
4,0	53	95,59%
5,0	11	99,63%
6,0	1	100,00%
y mayor...	0	100,00%
	272	

Tabla 1.14.

Abril

<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
-1,0	3	1,19%
0,0	13	6,32%
1,0	63	31,23%
2,0	80	62,85%
3,0	71	90,91%
4,0	20	98,81%
5,0	3	100,00%
y mayor...	0	100,00%
	253	

Tabla 1.15.

Mayo

<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
-2,0	1	0,36%
-1,0	3	1,45%
0,0	22	9,42%
1,0	70	34,78%
2,0	116	76,81%
3,0	57	97,46%
4,0	7	100,00%
y mayor...	0	100,00%
	276	

Tabla 1.16.

Junio

<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
-1,0	2	0,71%
0,0	39	14,64%
1,0	80	43,21%
2,0	118	85,36%
3,0	40	99,64%
4,0	1	100,00%
y mayor...	0	100,00%
	280	

Tabla 1.17.

Julio

<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
-1,0	5	1,67%
0,0	38	14,33%
1,0	125	56,00%
2,0	111	93,00%
3,0	18	99,00%
4,0	3	100,00%
y mayor...	0	100,00%
	300	

Tabla 1.18.

Agosto

<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
-1,0	7	2,46%
0,0	29	12,68%
1,0	80	40,85%
2,0	148	92,96%
3,0	20	100,00%
y mayor...	0	100,00%
	284	

Tabla 1.19.

Septiembre

<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
-3,0	1	0,35%
-2,0	6	2,45%
-1,0	16	8,04%
0,0	12	12,24%
1,0	53	30,77%
2,0	138	79,02%
3,0	53	97,55%
4,0	6	99,65%
5,0	1	100,00%
y mayor...	0	100,00%
	286	

Tabla 1.20.
Octubre

<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
-1,0	3	1,02%
0,0	9	4,10%
1,0	54	22,53%
2,0	112	60,75%
3,0	91	91,81%
4,0	21	98,98%
5,0	3	100,00%
y mayor...	0	100,00%
	293	

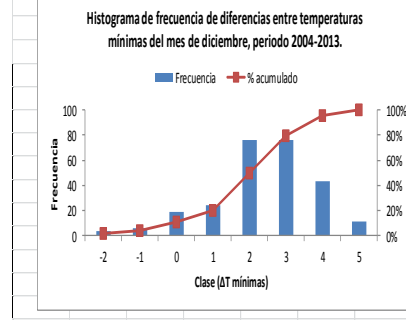
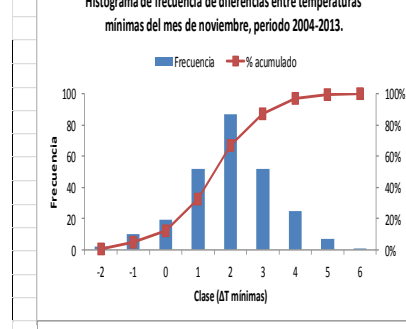
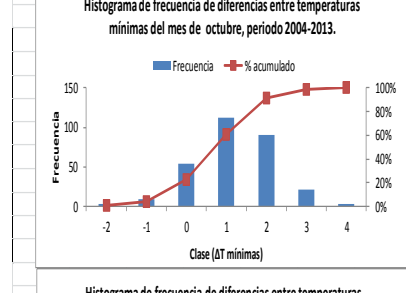
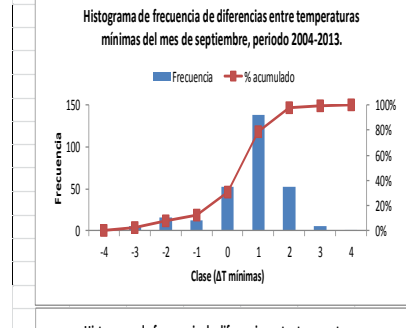
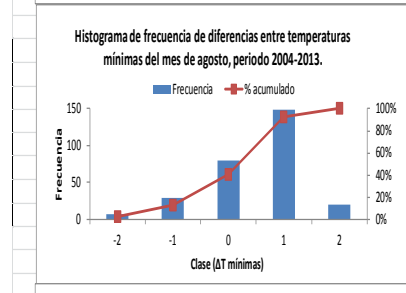
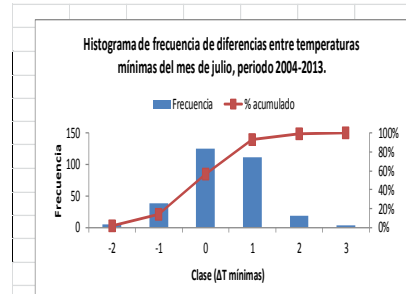
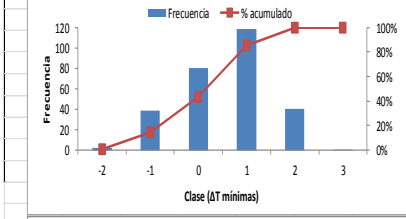
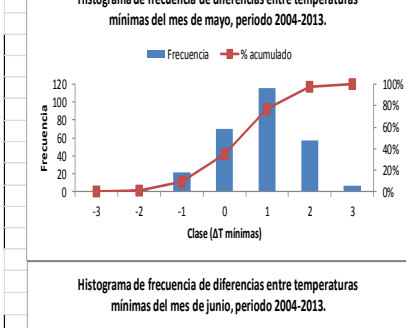
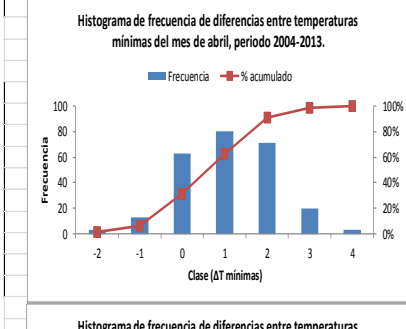
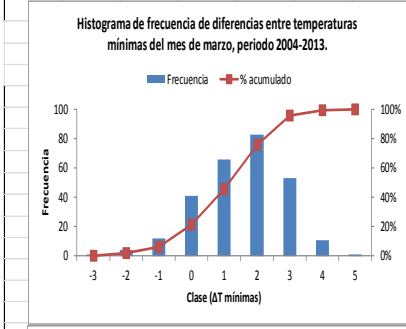
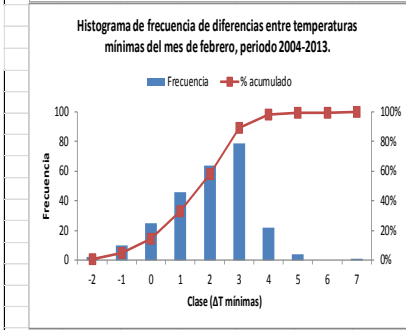
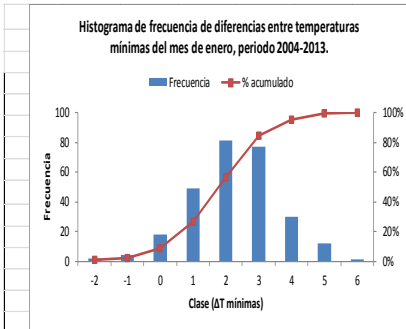
Tabla 1.21.
Noviembre

<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
-1,0	2	0,78%
0,0	10	4,71%
1,0	19	12,16%
2,0	52	32,55%
3,0	87	66,67%
4,0	52	87,06%
5,0	25	96,86%
6,0	7	99,61%
7,0	1	100,00%
y mayor...	0	100,00%
	255	

Tabla 1.22.
Diciembre

<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
-1,0	4	1,54%
0,0	6	3,86%
1,0	19	11,20%
2,0	24	20,46%
3,0	76	49,81%
4,0	76	79,15%
5,0	43	95,75%
6,0	11	100,00%
y mayor...	0	100,00%
	259	

Figuras 1.6 a 1.17: Histogramas de las diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de los observatorios fijos de Barcelona-Vila Olímpica y del aeropuerto de Barcelona de los meses del año, en °C.



Se aprecia que el porcentaje de noches con diferencias positivas a favor del aeropuerto de Barcelona disminuye de 14,64% en junio a 2,19% en enero, o, lo que es lo mismo, las islas de calor en Barcelona son más frecuentes en el mes central del invierno, y, en conjunto, en la mitad fría del año, que en verano, o la mitad cálida del año. Respecto a las mayores diferencias térmicas, de noviembre a marzo ha habido noches con diferencias entre Barcelona y su aeropuerto que han rebasado los 5°C. Uniendo frecuencia e intensidad, puede concluirse que es a partir de octubre cuando se inicia el período de las islas de calor más frecuentes e intensas, que llegaría hasta marzo.

Por otra parte, los histogramas muestran una notable regularidad en cuanto a su forma acampanada, aunque asimétrica, lo que avala el tamaño de la muestra analizada.

1.7. Valores de probabilidad de la intensidad de la isla de calor barcelonesa en el período de estudio.

Aun teniendo en cuenta la consideración final del apartado anterior, en estudios climatológicos es aconsejable completar el análisis de las frecuencias empíricas con el ajuste de las distribuciones muestrales a leyes o distribuciones de probabilidad, que representarían el comportamiento estadístico de poblaciones, es decir, el límite de muestras de tamaño muy grande, lo que atribuye significación climática a sus resultados. Así se ha hecho en el presente proyecto, tanto anual, como estacional y mensualmente.

En la tabla 1.23 se resume la distribución de probabilidad seleccionada en cada caso, que es una de las de mejor ajuste según el paquete estadístico EasyFit. La elección ha tenido en cuenta la bondad del ajuste, según Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling y Chi cuadrado, y las características de la distribución. Como se ve, hay leyes de probabilidad usuales (Gumbel, Gamma, Lognormal) y otras menos conocidas.

Tabla 1.23: Distribución de probabilidad seleccionada para el ajuste de las diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de los observatorios fijos de Barcelona-Vila Olímpica y del aeropuerto de Barcelona del período de análisis y de los meses y estaciones del año.

Periodo análisis (Completo/Mes/Estación)	Distribución de probabilidad seleccionada
Completo	Pearson 5 (3P)*
ENE	Johnson SU
FEB	Dagum (4P)
MAR	Kumaraswamy
ABR	Kumaraswamy
MAY	General Logístic
JUN	Gumbel Min

JUL	Gamma 3P
AGO	Dagum (4P)
SEP	Dagum (4P)
OCT	Johnson SU
NOV	General Logístic
DIC	General Logístic
Primavera	Lognormal (3P)
Verano	Dagum (4P)
Otoño	Hypersecant
Invierno	Dagum (4P)

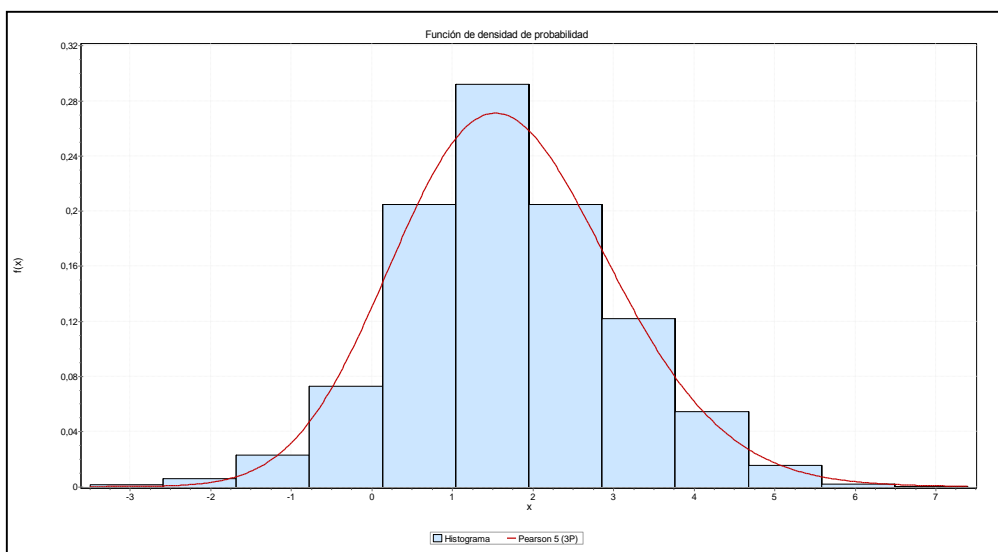
(*) P es el número de parámetros.

Tabla 1.24: Valores de probabilidad y porcentajes correspondientes de las diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de los observatorios fijos de Barcelona-Vila Olímpica y del aeropuerto de Barcelona para el período 2004-2013, a partir de la distribución de probabilidad de mejor ajuste.

Umbral Δt (°C)	Probab.	%
<0	0,09714	9,71
>0	0,90286	90,29
>1	0,68943	68,94
>2	0,39811	39,81
>3	0,16729	16,73
>4	0,05149	5,15
>5	0,01193	1,19
>6	0,00215	0,22
>7	3,14E-04	0,03
>8	3,80E-05	0,00
>9	3,94E-06	0,00

Si la muestra empírica mostraba un 8,10% de diferencias negativas entre las temperaturas mínimas de Barcelona-Vila Olímpica y el aeropuerto de Barcelona (tabla 1.1), es decir, un 91,90% de diferencias positivas, o sea, favorables a la ciudad, lo que podía interpretarse en que este último porcentaje era el de noches con isla de calor, el ajuste probabilístico estima un porcentaje ligeramente más elevado de diferencias negativas, un 9,71% (tabla 1.24), o, lo que es lo mismo, un 90,29% de noches con isla de calor. Más interés tiene analizar la cola de la derecha de la distribución, es decir, la probabilidad de ocurrencia de islas de calor intensas, por ejemplo, con diferencias superiores a 5°C en las temperaturas mínimas a favor de la ciudad. La probabilidad es de 1,19% (tabla 1.24), mientras que el valor empírico era de 1,16% (tabla 1.1). Nótese que las diferencias son muy escasas, como corresponde a un buen ajuste probabilístico de la distribución empírica mediante la distribución de probabilidad seleccionada.

Figura 1.18: Distribución de probabilidad de ajuste de las diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de los observatorios fijos de Barcelona-Vila Olímpica y del aeropuerto de Barcelona, para el período 2004-2013.



El ajuste a simple vista resulta plenamente satisfactorio, como confirman los correspondientes test estadísticos.

1.8. Valores de probabilidad de la intensidad de la isla de calor barcelonesa por estaciones del año.

Se han hallado los valores de probabilidad por estaciones del año, que se recogen en las tablas 1.25 a 1.28

Tablas 1.25 a 1.28: Valores de probabilidad (P) y porcentajes correspondientes de las diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de los observatorios fijos de Barcelona-Vila Olímpica y del aeropuerto de Barcelona por estaciones del año, a partir de distribuciones de probabilidad.

Tabla 1.25

OTOÑO

- ΔT Diferencias de temperatura (°C)
- P** Probabilidad de superar el umbral ΔT
- %** Porcentaje de casos estimados

Hypersecant

$\sigma=1,2977 \quad \mu=1,7194$

□

Umbral ΔT (°C)	P	%
< 0	0,0790	7,90
> 0	0,9210	92,10
> 1	0,7476	74,76
> 2	0,3939	39,39
> 3	0,1331	13,31
> 4	0,0402	4,02
> 5	0,0120	1,20
> 6	0,0036	0,36
> 7	0,0011	0,11
> 8	3,18E-04	0,03
> 9	9,47E-05	0,01

Tabla 1.26

INVIERNO

- ΔT Diferencias de temperatura ($^{\circ}C$)
- P** Probabilidad de superar el umbral ΔT
- %** Porcentaje de casos estimados

Dagum (4P)
$\kappa=0,25154 \quad \alpha=15,287$
$\beta=6,9253 \quad \gamma=-2,969$

Umbral ΔT ($^{\circ}C$)	P	%
< 0	0,0385	3,85
> 0	0,9615	96,15
> 1	0,8824	88,24
> 2	0,7214	72,14
> 3	0,4491	44,91
> 4	0,1500	15,00
> 5	0,0274	2,74
> 6	0,0048	0,48
> 7	9,57E-04	0,10
> 8	2,22E-04	0,02
> 9	5,86E-05	0,01

Tabla 1.27

PRIMAVERA

- ΔT Diferencias de temperatura ($^{\circ}C$)
- P** Probabilidad de superar el umbral ΔT
- %** Porcentaje de casos estimados

Lognormal (3P)
$\sigma=0,03185 \quad \mu=3,5989$
$\gamma=-34,986$

Umbral ΔT ($^{\circ}C$)	P	%
< 0	0,0836	8,36
> 0	0,9164	91,64
> 1	0,6898	68,98
> 2	0,3574	35,74
> 3	0,1145	11,45
> 4	0,0218	2,18
> 5	0,0025	0,25
> 6	0,0002	0,02
> 7	6,92E-06	0,001
> 8	1,83E-07	0,00002
> 9	3,17E-09	0,0000003

Tabla 1.28

VERANO

- ΔT Diferencias de temperatura ($^{\circ}C$)
- P** Probabilidad de superar el umbral ΔT
- %** Porcentaje de casos estimados

Dagum (4P)

$\kappa=0,21656 \quad \alpha=15,12$
 $\beta=4,0096 \quad \gamma=-2,2245$

Umbral ΔT ($^{\circ}C$)	P	%
< 0	0,1453	14,53
> 0	0,8547	85,47
> 1	0,5139	51,39
> 2	0,0779	7,79
> 3	0,0039	0,39
> 4	0,0003	0,03
> 5	2,95E-05	0,003
> 6	4,15E-06	0,0004
> 7	7,32E-07	0,00007
> 8	1,54E-07	0,00002
> 9	3,77E-08	0,000004

En las figuras 1.19 a 1.22 se muestran las distribuciones de probabilidad de ajuste.

Figuras 1.19 a 1.22: Distribuciones de probabilidad de ajuste de las diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de los observatorios fijos de Barcelona-Vila Olímpica y del aeropuerto de Barcelona de las cuatro estaciones del año.

Figura 1.19

Otoño

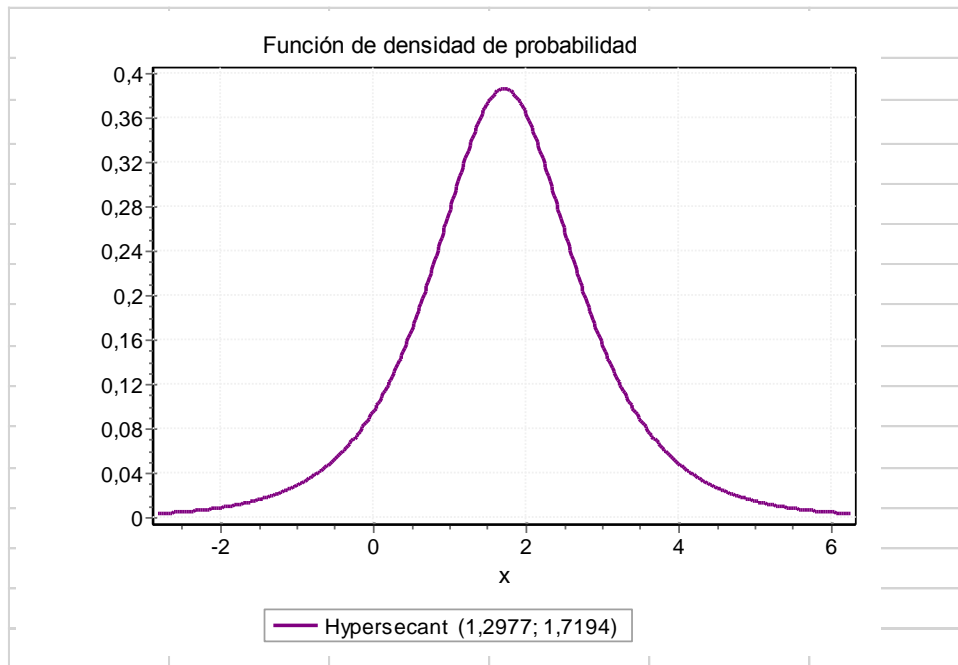


Figura 1.20

Invierno

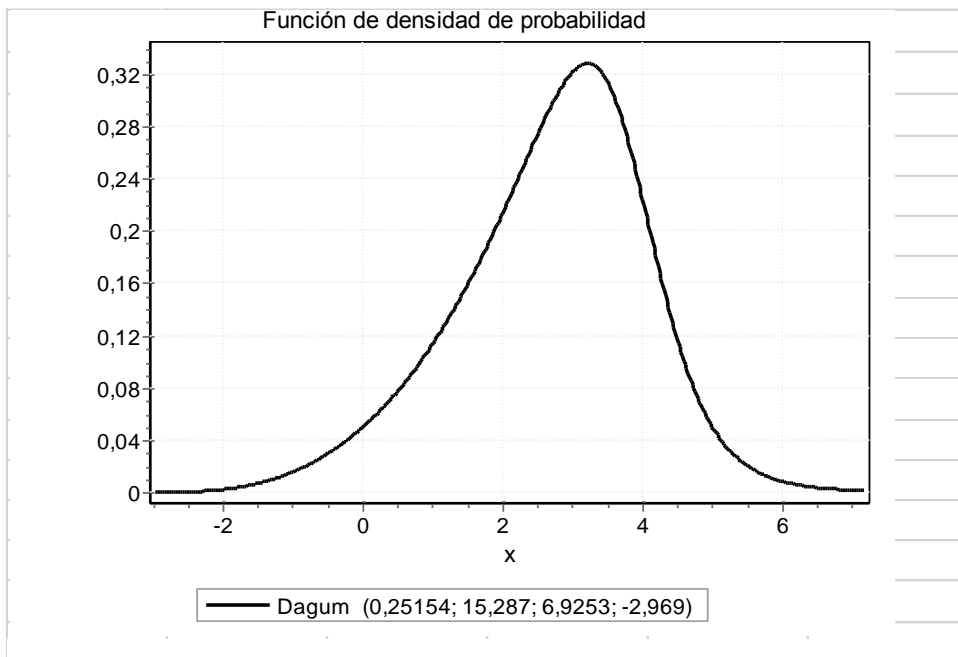


Figura 1.21

Primavera

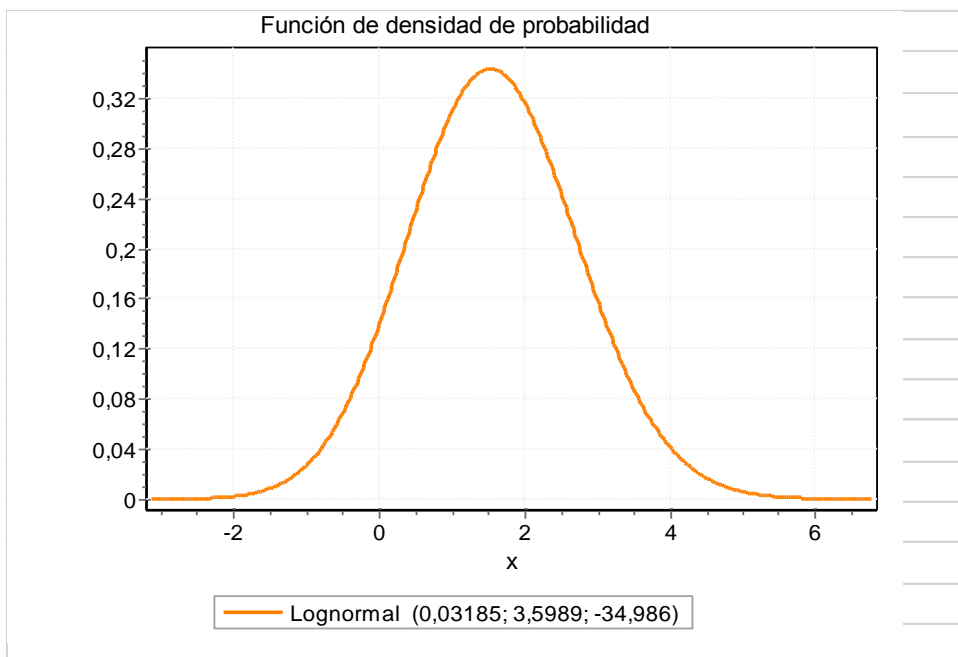
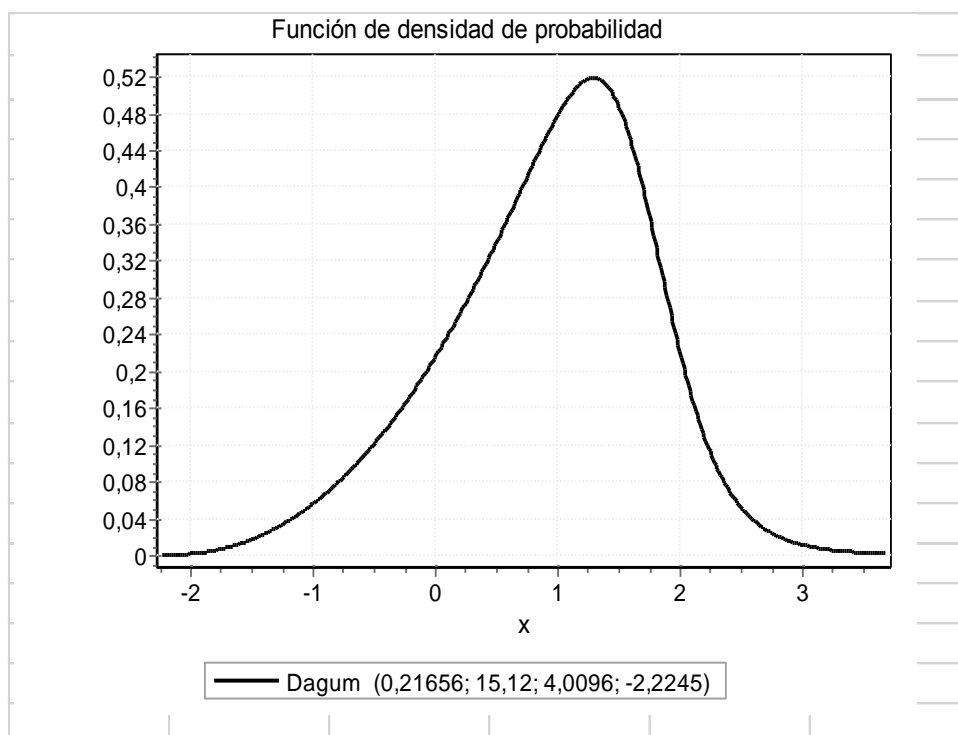


Figura 1.22

Verano



En líneas generales, las estimaciones probabilísticas no difieren sustancialmente de los porcentajes empíricos, por el buen ajuste de las distribuciones de probabilidad seleccionadas para cada estación del año. En otoño y en invierno la probabilidad de que la intensidad de la isla de calor barcelonesa sobrepase los 7,0°C es de 0,1%, es decir, en cada una de las dos estaciones, cada mil días, poco más de 10 años, habrá una noche con tan elevada intensidad del fenómeno.

1.9. Valores de probabilidad de la intensidad de la isla de calor barcelonesa por meses.

De igual modo, se han hallado los valores de probabilidad por meses, que se recogen en las tablas 1.29 a 1.40.

Tablas 1.29 a 1.40: Valores de probabilidad (P) y porcentajes correspondientes de las diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de los observatorios fijos de Barcelona-Vila Olímpica y del aeropuerto de Barcelona por meses, a partir de distribuciones de probabilidad.

Umbral ΔT (°C)	P	%
------------------------	---	---

Tabla 1.29

ENERO

- ΔT Diferencias de temperatura ($^{\circ}C$)
- P** Probabilidad de superar el umbral ΔT
- %** Porcentaje de casos estimados

Johnson SU
$\gamma=3,038 \quad \delta=6,265$
$\lambda=7,2165 \quad \xi=6,4348$

Umbral ΔT ($^{\circ}C$)	P	%
< 0	0,0233	2,33
> 0	0,9767	97,67
> 1	0,9066	90,66
> 2	0,7269	72,69
> 3	0,4370	43,70
> 4	0,1679	16,79
> 5	0,0036	3,59
> 6	0,0039	0,39
> 7	2,09E-04	0,02
> 8	5,76E-06	0,00
> 9	8,92E-08	0,00

Tabla 1.30

FEBRERO

- ΔT Diferencias de temperatura ($^{\circ}C$)
- P** Probabilidad de superar el umbral ΔT
- %** Porcentaje de casos estimados

Dagum (4P)
$\kappa= 0,19388 \quad \alpha= 14,164$
$\beta= 5,8689 \quad \gamma= -1,9552$

Umbral ΔT ($^{\circ}C$)	P	%
< 0	0,0489	4,89
> 0	0,9511	95,11
> 1	0,8480	84,80
> 2	0,6619	66,19
> 3	0,3822	38,22
> 4	0,1090	10,90
> 5	0,0166	1,66
> 6	0,0026	0,26
> 7	4,87E-04	0,05
> 8	1,09E-04	0,01
> 9	2,81E-05	0,003

Tabla 1.31

MARZO

- ΔT Diferencias de temperatura ($^{\circ}C$)
- P** Probabilidad de superar el umbral ΔT
- %** Porcentaje de casos estimados

Kumaraswamy
$\alpha_1=5,5302 \quad \alpha_2=79,941$
$\alpha= -4,219 \quad \beta=10,656$

Umbral ΔT ($^{\circ}C$)	P	%
< 0	0,0725	7,25
> 0	0,9275	92,75
> 1	0,7833	78,33
> 2	0,5243	52,43
> 3	0,2275	22,75
> 4	0,0467	4,67
> 5	0,0028	0,28
> 6	2,23E-05	0,002
> 7	6,45E-09	0,00
> 8	5,44E-15	0,00
> 9	0	0

Tabla 1.32

ABRIL

- ΔT Diferencias de temperatura ($^{\circ}C$)
- P** Probabilidad de superar el umbral ΔT
- %** Porcentaje de casos estimados

Kumaraswamy
 $\alpha_1=3,6189 \quad \alpha_2=91,183$
 $\alpha=-1,9997 \quad \beta=11,63$

Umbral ΔT ($^{\circ}C$)	P	%
< 0	0,0841	8,41
> 0	0,9159	91,59
> 1	0,6827	68,27
> 2	0,3378	33,78
> 3	0,0861	8,61
> 4	0,0082	0,82
> 5	1,90E-04	0,02
> 6	6,00E-07	0,0001
> 7	1,06E-10	0,00
> 8	2,22E-16	0,00
> 9	-	-

Tabla 1.33

MAYO

- ΔT Diferencias de temperatura ($^{\circ}C$)
- P** Probabilidad de superar el umbral ΔT
- %** Porcentaje de casos estimados

Gen. Logistic
 $\kappa=-0,08161 \quad \sigma=0,53605$
 $\mu=1,3$

Umbral ΔT ($^{\circ}C$)	P	%
< 0	0,0986	9,86
> 0	0,9014	90,14
> 1	0,6335	63,35
> 2	0,2009	20,09
> 3	0,0249	2,49
> 4	0,0015	0,15
> 5	3,90E-05	0,004
> 6	2,04E-07	0,000
> 7	1,71E-11	0,00
> 8	-	-
> 9	-	-

Tabla 1.34

JUNIO

- ΔT Diferencias de temperatura ($^{\circ}C$)
- P** Probabilidad de superar el umbral ΔT
- %** Porcentaje de casos estimados

Gumbel Min
 $\sigma=0,68396 \quad \mu=1,4269$
 \square

Umbral ΔT ($^{\circ}C$)	P	%
< 0	0,1168	11,68
> 0	0,8833	88,33
> 1	0,5853	58,53
> 2	0,0991	9,91
> 3	4,66E-05	0,005
> 4	0	0
> 5	-	-
> 6	-	-
> 7	-	-
> 8	-	-
> 9	-	-

Tabla 1.35

JULIO

- ΔT Diferencias de temperatura ($^{\circ}C$)
- P** Probabilidad de superar el umbral ΔT
- %** Porcentaje de casos estimados

<p>Gamma (3P)</p> <p>$\alpha=165,1$ $\beta=0,06628$</p> <p>$\gamma=-10,139$</p>

Umbral ΔT ($^{\circ}C$)	P	%
< 0	0,1729	17,29
> 0	0,8271	82,71
> 1	0,3994	39,94
> 2	0,0835	8,35
> 3	0,0072	0,72
> 4	0,0003	0,03
> 5	4,62E-06	0,00
> 6	4,09E-08	0,00
> 7	1,98E-10	0,00
> 8	5,61E-13	0,00
> 9	9,99E-16	0,00

Tabla 1.36

AGOSTO

- ΔT Diferencias de temperatura ($^{\circ}C$)
- P** Probabilidad de superar el umbral ΔT
- %** Porcentaje de casos estimados

<p>Dagum (4P)</p> <p>$\kappa=0,2544$ $\alpha=29,218$</p> <p>$\beta=6,6972$ $\gamma=-5,0147$</p>
--

Umbral ΔT ($^{\circ}C$)	P	%
< 0	0,1164	11,64
> 0	0,8836	88,36
> 1	0,5550	55,50
> 2	0,0568	5,68
> 3	0,0013	0,13
> 4	0,00004	0,004
> 5	1,99E-06	0,00
> 6	1,24E-07	0,00
> 7	9,76E-09	0,00
> 8	9,44E-10	0,00
> 9	1,09E-10	0,00

Tabla 1.37

SEPTIEMBRE

- ΔT Diferencias de temperatura ($^{\circ}C$)
- P** Probabilidad de superar el umbral ΔT
- %** Porcentaje de casos estimados

<p>Dagum (4P)</p> <p>$\kappa=0,3333$ $\alpha=750,61$</p> <p>$\beta=255,79$ $\gamma=-253,79$</p>
--

Umbral ΔT ($^{\circ}C$)	P	%
< 0	0,1413	14,13
> 0	0,8587	85,87
> 1	0,6311	63,11
> 2	0,2063	20,63
> 3	0,0172	1,72
> 4	0,0010	0,10
> 5	5,27E-05	0,01
> 6	2,91E-06	0,00
> 7	1,63E-07	0,00
> 8	9,22E-09	0,00
> 9	5,27E-10	0,00

Tabla 1.38

OCTUBRE

- ΔT Diferencias de temperatura ($^{\circ}C$)
- P** Probabilidad de superar el umbral ΔT
- %** Porcentaje de casos estimados

Johnson SU
$\gamma=0,73677 \quad \delta=3,3015$
$\lambda=3,0953 \quad \xi=2,404$

Umbral ΔT ($^{\circ}C$)	P	%
< 0	0,0525	5,25
> 0	0,9476	94,76
> 1	0,7623	76,23
> 2	0,3794	37,94
> 3	0,0856	8,56
> 4	0,0089	0,89
> 5	0,0006	0,06
> 6	3,04E-05	0,003
> 7	1,63E-06	0,000
> 8	9,55E-08	0,000
> 9	6,30E-09	0,000

Tabla 1.39

NOVIEMBRE

- ΔT Diferencias de temperatura ($^{\circ}C$)
- P** Probabilidad de superar el umbral ΔT
- %** Porcentaje de casos estimados

Gen. Logistic
$\kappa=-0,03197 \quad \sigma=0,75463$
$\mu= 2,4656$

Umbral ΔT ($^{\circ}C$)	P	%
< 0	0,0428	4,28
> 0	0,9572	95,72
> 1	0,8681	86,81
> 2	0,6482	64,82
> 3	0,3282	32,82
> 4	0,1089	10,89
> 5	0,0279	2,79
> 6	0,0062	0,62
> 7	0,0013	0,13
> 8	0,0002	0,02
> 9	3,95E-05	0,004

Tabla 1.40

DICIEMBRE

- ΔT Diferencias de temperatura ($^{\circ}C$)
- P** Probabilidad de superar el umbral ΔT
- %** Porcentaje de casos estimados

Gen. Logistic
$\kappa=-0,15336 \quad \sigma=0,7217$
$\mu= 3,0273$

Umbral ΔT ($^{\circ}C$)	P	%
< 0	0,0377	3,77
> 0	0,9623	96,23
> 1	0,9118	91,18
> 2	0,7837	78,37
> 3	0,5094	50,94
> 4	0,1810	18,10
> 5	0,0281	2,81
> 6	0,0015	0,15
> 7	5,44E-06	0,001
> 8	-	-
> 9	-	-

En las figuras 1.23 a 1.34 se muestran las distribuciones de probabilidad de ajuste.

Figuras 1.23 a 1.34: Distribuciones de probabilidad de ajuste de las diferencias entre las temperaturas mínimas diarias de los observatorios fijos de Barcelona-Vila Olímpica y del aeropuerto de Barcelona de los meses del año.

Figura 1.23
Enero

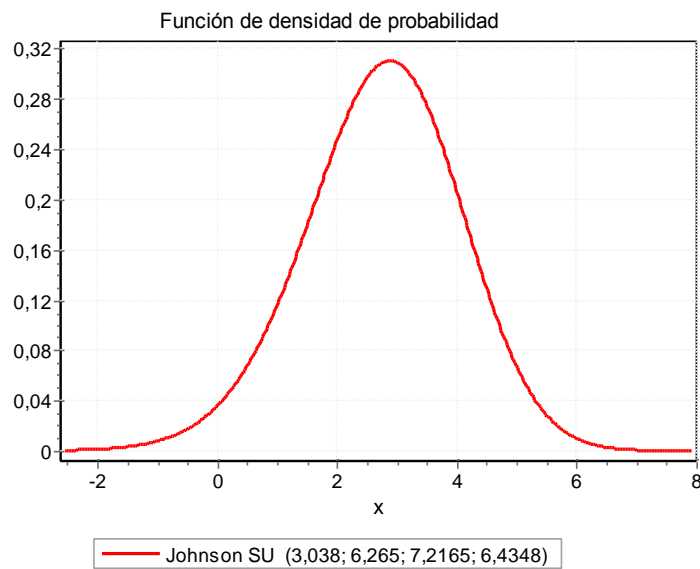


Figura 1.24
Febrero

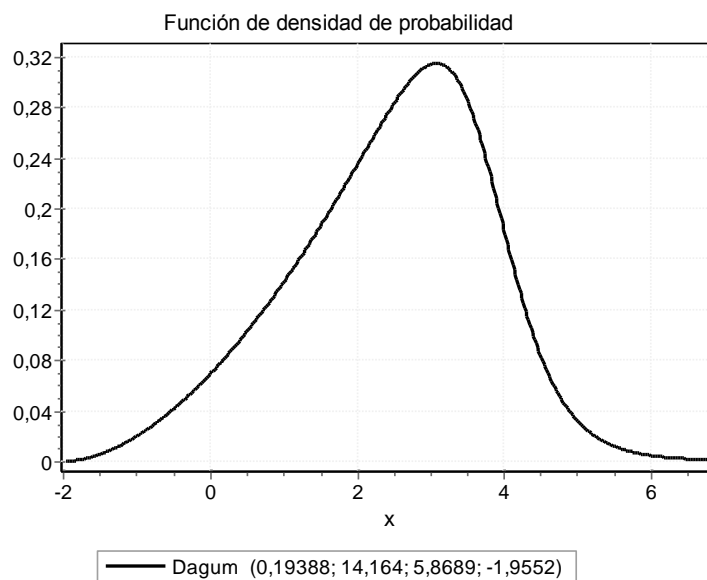


Figura 1.25
Marzo

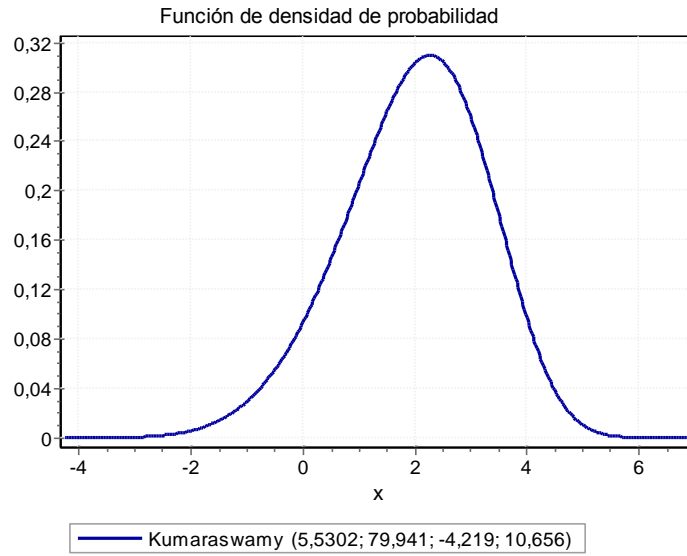


Figura 1.26
Abril

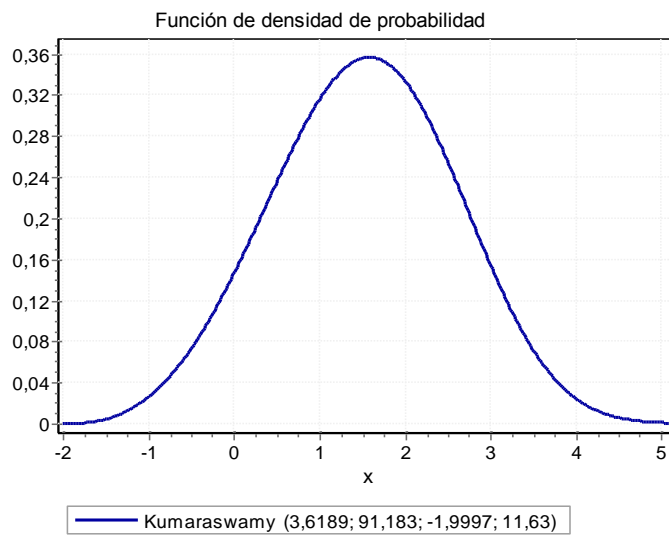


Figura 1.27
Mayo

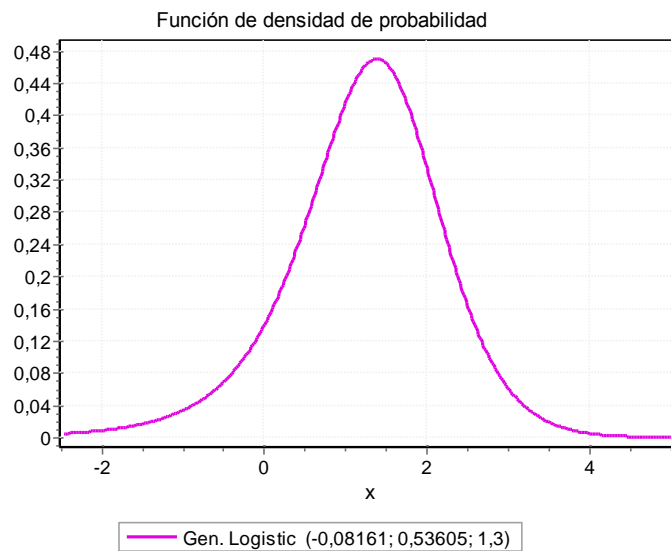


Figura 1.28
Junio

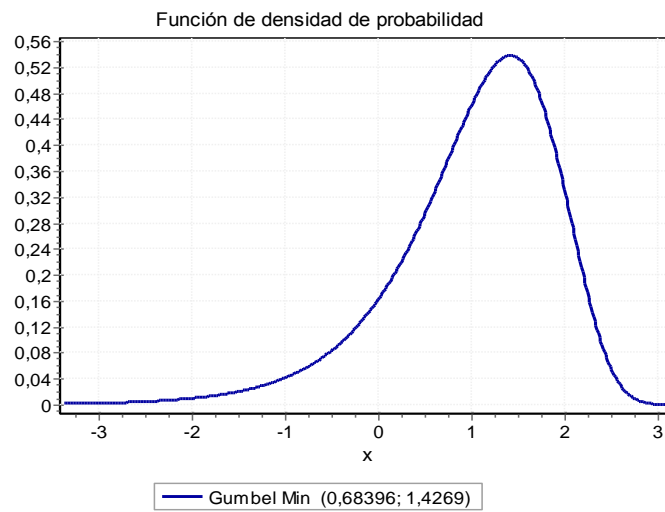


Figura 1.29
Julio

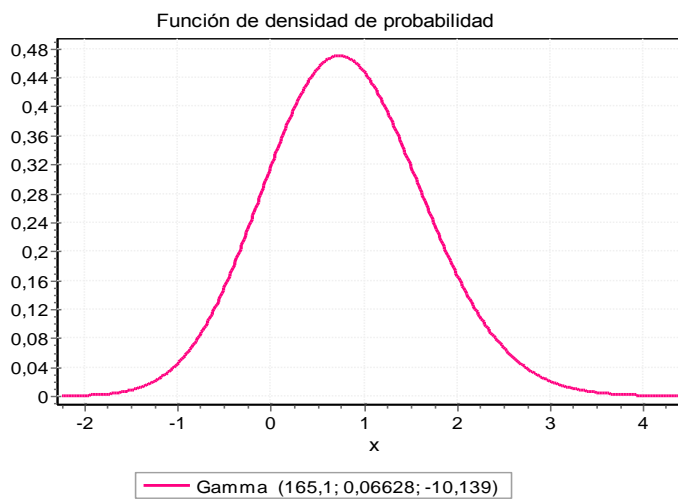


Figura 1.30
Agosto

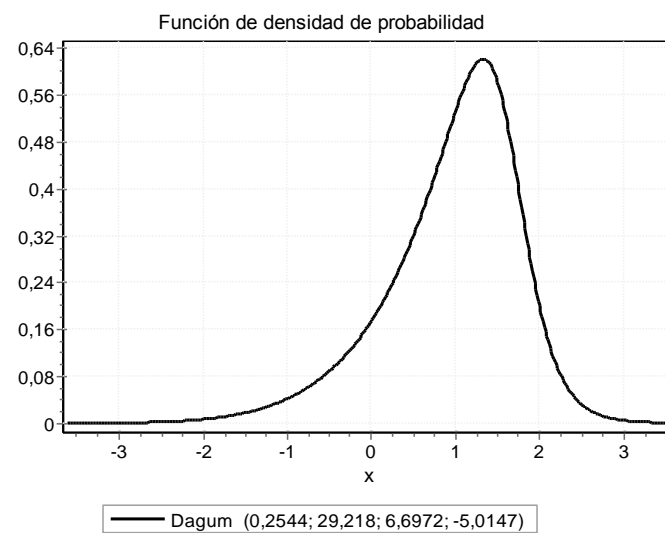


Figura 1.31
Septiembre

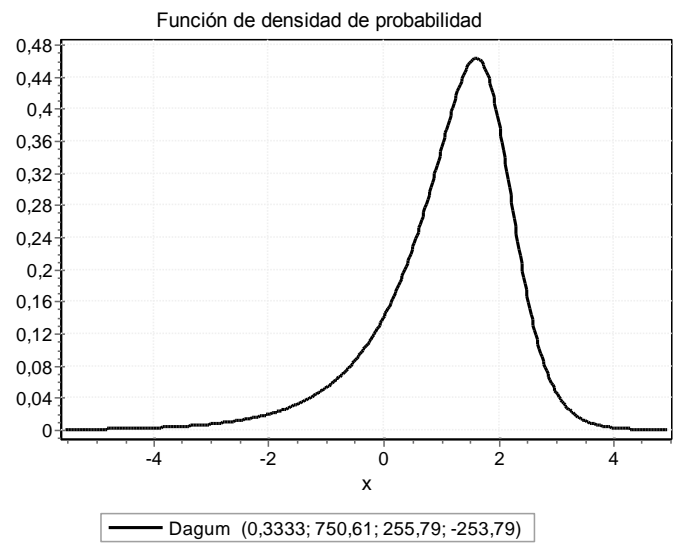


Figura 1.32
Octubre

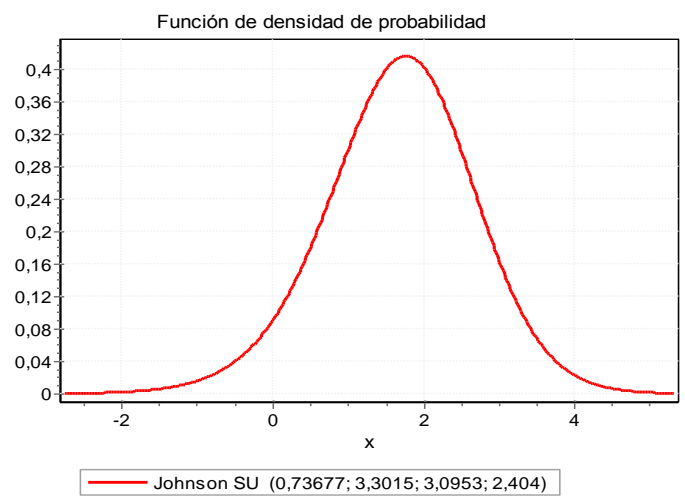


Figura 1.33
Noviembre

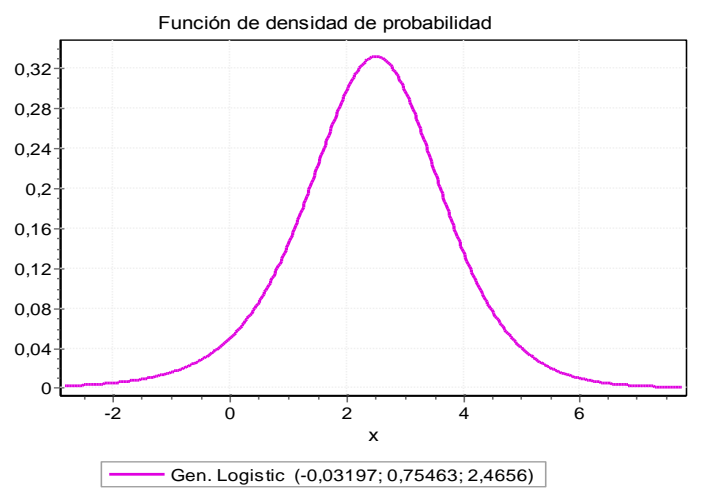
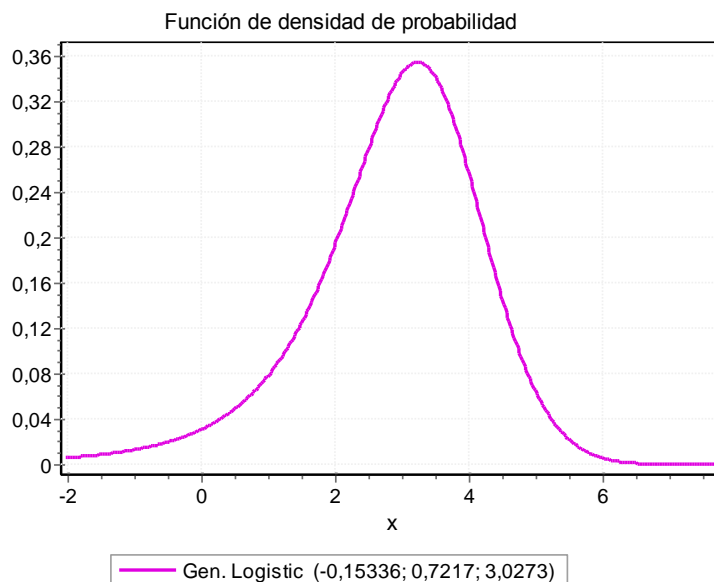


Figura 1.34
Diciembre



De noviembre a febrero, inclusive, la probabilidad de una diferencia entre las PARTE 2

De noviembre a febrero, inclusive, la probabilidad de una diferencia entre las temperaturas mínimas de los observatorios fijos analizados de más de 5°C sobrepasa el 1%, con el máximo en enero, con un 3,59%. Son los mismos meses los que presentaban frecuencias empíricas superiores al 1%, aunque ligeramente más elevadas que las estimaciones probabilísticas.

PARTE 2

LA CONFIGURACIÓN DE LAS ISLAS DE CALOR DEL ÁREA METROPOLITANA DE BARCELONA, A PARTIR DE TRANSECTOS URBANOS

2.1. Introducción.

Una de las características climático-geográficas más interesantes de las islas de calor es su configuración o forma en superficie. Esta se expresa mediante mapas de isotermas y perfiles térmicos. Ello requiere disponer de un amplio número de registros térmicos sobre el territorio urbano y su entorno, que habitualmente no cubren satisfactoriamente las redes de observación fijas. Se impone entonces recurrir a dos procedimientos o herramientas metodológicos: Los transectos urbanos y la teledetección. Los transectos urbanos son recorridos rápidos del área urbana y su periferia durante los cuales se mide la temperatura en determinados puntos representativos de los diferentes sectores y barrios de la urbe. Para ello normalmente se utilizan automóviles dotados de termómetros, o termohigrómetros, digitales de baja inercia, cuya sonda se sitúa en el exterior del vehículo. Un equipo para realizar transectos urbanos consta, por tanto, de un automóvil, con un termómetro (o termohigrómetro, que mide temperatura y humedad relativa del aire) digital cuya sonda se fija en la parte delantera derecha del automóvil, a una altura aproximada de 1,5 m o poco más, y cuyo cable entra en el vehículo, pinzado por la ventanilla, hacia la posición del copiloto. Este se encargará de realizar las lecturas y sus anotaciones, en estadillos previamente diseñados, donde figuran los puntos de medición, mientras que el conductor desempeñará la tarea que le es propia.

Una vez realizado un transecto, se analizan sus registros, destacándose los valores máximo y mínimo, y su amplitud o diferencia, y, en especial, se construye el denominado perfil térmico, gráfico similar a un perfil topográfico en el que la temperatura se representa en ordenadas y la distancia de los puntos de registro al origen en abscisas. El perfil térmico identifica visualmente la variación de la temperatura a lo largo del transecto. Si atraviesa la ciudad desde un punto de la periferia a otro punto de la periferia opuesto suele presentar dos formas características, ambas con los valores más bajos en los extremos y los más altos, delatando la isla de calor, en el centro del mismo: En forma de pico, con aumento continuado de la temperatura hasta el centro de la ciudad y posterior disminución; o en forma de meseta, con valores altos o relativamente altos, pero similares, en la parte central de la ciudad, a modo de meseta o altiplano.

Cuando se dispone de varios transectos de una misma noche y horario similar es posible construir un mapa de isotermas, que expresará cartográficamente la configuración o

forma de la isla de calor, mostrando el núcleo o sector más cálido de la misma y los valores de los diferentes barrios. Su forma es tan variada como diversas son las ciudades, aunque normalmente muestra su núcleo en algún sector central de la ciudad e isothermas concéntricas con valores decrecientes a medida que nos alejamos del mismo. Es esta forma característica la que justifica la denominación de isla de calor urbana, dado que el conjunto de isobaras recuerda la configuración topográfica de una isla. Aun así, las morfologías urbanas son tan diversas, en muchos casos con conjuntos yuxtapuestos de barrios de diferentes tipos, intercalación de parques y jardines, y, a veces, la presencia de un curso fluvial, que hay formas muy diversas de islas de calor, sin contar con las condiciones meteorológicas, en especial la dirección del viento, que puede desplazar o incluso barrer la isla de calor.

Para que los transectos térmicos provean valores de temperatura comparables, deben realizarse en el mínimo tiempo posible, respetando naturalmente las normas de circulación. Si no es así, los últimos registros serán más bajos que los primeros por el propio avance de la noche, si, como es habitual y para captar las mayores intensidades de la isla de calor, se inician unas pocas horas tras la puesta de Sol. Lo ideal sería que los registros fueran simultáneos. Como ello no es posible, al menos han de ser cuasi simultáneos, lo que significa que las posibles diferencias por causa del horario no sobrepasen un determinado valor, como pueden ser unas décimas de grado centígrado, a lo sumo 0,5°C. Para garantizar esto, se recomienda que los diferentes transectos se crucen y en estas intersecciones se realicen mediciones térmicas. Si las temperaturas medidas en el paso por las intersecciones, a diferentes horarios, no sobrepasan el umbral citado, puede admitirse la cuasi simultaneidad de las medidas. Más preciso es el método de la corrección de los registros térmicos de los transectos a partir del termograma de un observatorio urbano fijo. Si desde el momento del inicio del transecto hasta su finalización la temperatura en el observatorio fijo ha descendido en, por ejemplo, 1°C, los registros se corregirán de forma proporcional aumentando unas décimas sus valores a partir del primero hasta el último, que será un grado superior al registrado. Solo así podrán dibujarse mapas precisos de la isla de calor. Como el Área Metropolitana de Barcelona es fundamentalmente un territorio litoral o próximo al mar, las amplitudes térmicas diarias son relativamente reducidas, es decir, el contraste térmico día-noche es pequeño, por lo que en intervalos de media hora o incluso más la temperatura varía poco, lo que permite garantizar la cuasi simultaneidad de las mediciones en la mayoría de los transectos estudiados.

La herramienta de la teledetección suministra termografías detalladas para el momento del paso del satélite o de la plataforma que capta las imágenes. Hay que indicar que la temperatura que presenta es, tras las correcciones radiométricas correspondientes, la de la superficie, no la del aire. En el presente proyecto no se ha hecho uso de la teledetección para el estudio de la configuración de la isla de calor. En todo caso, los métodos de los transectos térmicos y de la teledetección también permiten establecer

el núcleo de la isla de calor en cada caso, o sector más cálido de la ciudad, y, si se han realizado suficientes recorridos o si se dispone de un número significativo de imágenes, el núcleo característico o medio de la isla de calor, así como estimar la intensidad máxima de la misma.

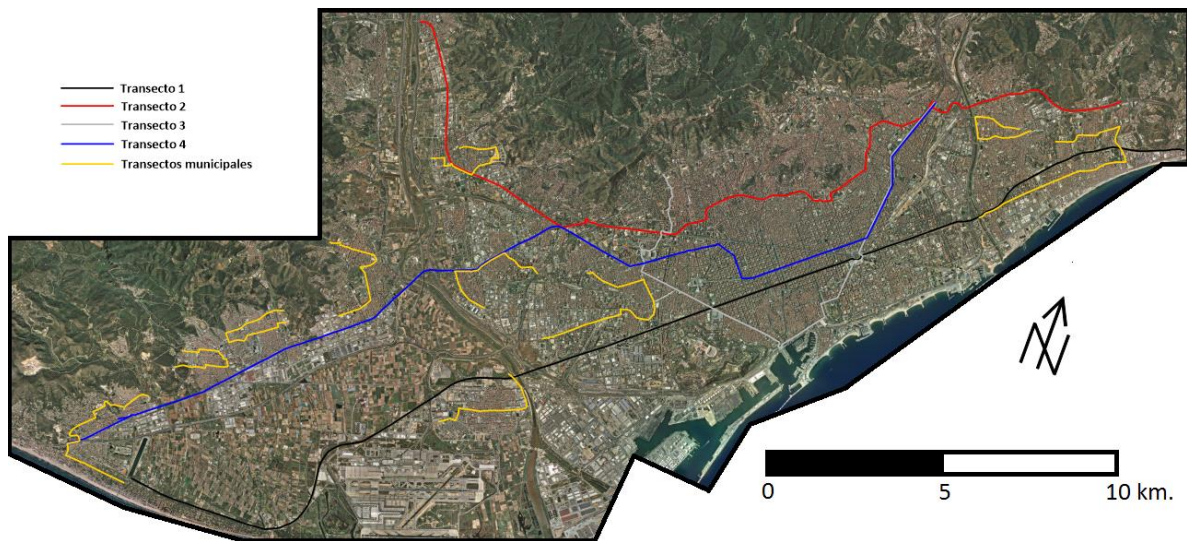
2.2. Trabajo de campo: Los transectos.

La primera etapa del trabajo de campo consistió en analizar el plano urbano de la ciudad de Barcelona, así como los de otras ciudades principales del Área Metropolitana de Barcelona, con el fin de trazar los recorridos que seguirían los diferentes transectos. Para ello, la principal consideración fue que dichos transectos debían atravesar la ciudad de Barcelona y su entorno metropolitano en varias direcciones, cruzándose en algunos casos, con el fin de cubrir ampliamente la citada área. Obviamente hubo que tener en cuenta las direcciones y sentidos de circulación de las diferentes calles y avenidas de la ciudad y el Área Metropolitana de Barcelona. Finalmente, se diseñaron un total de 4 transectos urbanos principales para la capital y su área metropolitana. Además, se decidió diseñar también transectos “exclusivos” en varios de los municipios que forman parte de la AMB: Badalona, Castelldefels, Cornellà de Llobregat, El Prat de Llobregat, Gavà, Hospitalet de Llobregat, Sant Boi de Llobregat, Sant Feliu de Llobregat, Santa Coloma de Gramenet y Viladecans. En la tabla 2.1 se resume las características básicas de los transectos elegidos y en la figura 2.1 se muestra su trazado.

Tabla 2.1: Características básicas de los transectos.

<i>TRANSECTOS</i>	<i>Nº PUNTOS OBSERVACIÓN</i>	<i>LONGITUD (KM)</i>
Nº 1	27	34,4
Nº 2	30	31,9
Nº 3	19	17,3
Nº 4	60	30,4
Badalona	23	7,71
Castelldefels	22	6,13
Cornellà de Llobregat	14	4,27
El Prat de Llobregat	13	3,85
Gavà	17	3,35
Hospitalet de Llobregat	22	6,67
Sant Boi de Llobregat	14	4,13
Sant Feliu de Llobregat	14	3,88
Santa Coloma de Gramenet	15	3,57
Viladecans	24	4

Figura 2.1: Trazado de los transectos.



En conjunto, los 4 transectos principales más los 10 municipales contienen 314 puntos de medida y una longitud total de 161,56 km, que han permitido construir, tras su recorrido en diferentes noches, un banco de datos de 1.283 valores térmicos.

Por otro parte, se ha querido también comprobar el efecto “refrescante” que introducen los parques urbanos en las ciudades. Con este objeto se realizaron algunas mediciones en dos de los parques más importantes de Barcelona: El Parc de la Ciutadella y el Turó Parc.

2.3. El transecto 1.

El transecto número 1, o transversal, es el principal por su trazado con una altitud y una distancia al mar parecidas a lo largo de su recorrido, su mayor longitud, cercana a los 35 km, y el hecho de que atraviesa la zona más poblada del Área Metropolitana de Barcelona, en particular la ciudad de Barcelona, de SW a NE, aproximadamente, aunque con tramos en su inicio que cabe calificar de periurbanos. En consecuencia, su recorrido provee valores térmicos contrastados y comparables entre sí de un amplio y densamente poblado frente litoral de la AMB. El transecto transversal tiene su inicio en el municipio de Castelldefels, en concreto en la autovía de Castelldefels a la altura del Canal Olímpic. El recorrido sigue dicha autovía hasta llegar a la Gran Via barcelonesa, pero hasta ello, durante los 10 primeros kilómetros, contiene puntos de observación en las tierras llanas del delta del Llobregat, que combina urbanizaciones turísticas, segundas residencias, vías de comunicación y sectores de aprovechamiento agrícola. Al cruzar el puente del río

Llobregat empiezan las construcciones urbanas con diversos servicios y equipamientos, donde usualmente aumenta la densidad de tráfico. No es hasta llegar a la plaza Cerdà, cuando se entra de lleno en la ciudad de Barcelona, donde el principal conjunto es el Eixample, desde la plaza Espanya hasta llegar a la plaza de les Glòries. Durante ese largo tramo se toman medidas en la Gran Via, una de las arterias más importantes de la ciudad, con edificios de entre 7 y 9 alturas a ambos lados. Se sigue la dirección SW-NE, más o menos paralela al mar, hasta llegar al límite del municipio barcelonés, donde se cruza el puente del río Besòs, continuando por la autovía C-31 entre los municipios de Badalona y Santa Coloma de Gramenet. En este tramo abundan los bloques de edificios de zonas urbanas y suburbanas a ambos lados de la autovía, haciéndose cada vez menos continuos hasta llegar al final del transecto, en la salida Tiana-Montgat sud.

2.4. El transecto 2.

El transecto número 2 es el que, en conjunto, discurre a mayor altitud y a mayor distancia del mar. Empieza no lejos del final del transecto transversal, en la incorporación a la B-20 desde el municipio de Tiana. Discurre por el eje B-20, en el extremo norte de Badalona y Santa Coloma de Gramenet, cruzando de nuevo el río Besòs. Se adentra entonces de pleno en la morfología urbana de Barcelona, en la incorporación de la avenida Meridiana desde la salida 1 de la ronda de Dalt. El transecto continúa por el distrito de Nou Barris, discurre por la avenida Rio de Janeiro, paseo de Valldaura y Via Júlia hasta llegar a la plaza Virrei Amat, ya en el barrio de la Vilapicina y la Torre Llobeta, uno de los que tiene una densidad de población más elevada del distrito. Desde el paseo Maragall y la avenida Montserrat se llega a la ronda del Guinardó, ya en el distrito de Horta-Guinardó. Sigue a través de la Travessera de Dalt y ronda del General Mitre hasta llegar a la avenida Diagonal. Desde allí toma dirección SW-NE, cruzando áreas ajardinadas y facultades universitarias, tramo donde destaca el tránsito elevado durante todo el día al ser una de las principales entradas/salidas de la ciudad de Barcelona. Luego toma la salida hacia Esplugues de Llobregat para coger la N-340, cruzando los municipios de Esplugues, Sant Just Desvern, Sant Feliu de Llobregat y finalmente Molins de Rei, donde finaliza el transecto.

2.5. El transecto 3.

El transecto número 3 dibuja un recorrido en forma de “U” empezando en la zona alta de la ciudad de Barcelona, concretamente en el inicio de la avenida Josep Vicenç Foix, un área verde con una baja densidad de edificios. A medida que se avanza por la avenida, en el lado izquierdo la urbanización es mucho más compacta y con más altura que en el lado derecho, formado principalmente por torres con amplias áreas ajardinadas del

barrio de Pedralbes. Posteriormente el transecto cruza la avenida Diagonal, para dirigirse hacia la calle de Sants pasando por el estadio Camp Nou y la Riera Blanca. Sigue por el citado eje del barrio de Sants, considerado publicitariamente la calle comercial más larga de Europa, con edificios de entre 5 y 7 alturas a ambos lados y habitualmente con un tráfico rodado considerable. Al llegar a plaza Espanya, continúa por la avenida del Paral·lel –popularmente el Paralelo-, que sigue con gran aproximación la dirección oeste-este-, hasta encontrarse de frente con el mar, en la plaza de les Drassanes. A continuación, toma el paseo de Colom, rodea el mayor pulmón de Barcelona, el parque de la Ciutadella, y enlaza con la avenida Meridiana, para finalizar en su cruce con la Ronda de Dalt.

2.6. El transecto 4.

El transecto número 4, el que cuenta con más puntos de observación (60), comienza cruzando Barcelona de NE-SW, por la avenida Meridiana, continuando por una de las principales arterias de la ciudad, la calle Aragó. Seguidamente abandona la ciudad de Barcelona por el barrio de les Corts circulando por la N-340; cruza los municipios de Esplugues de Llobregat, Cornellà de Llobregat, Sant Boi de Llobregat, Viladecans, Gavà y llega, finalmente, a Castelldefels. Además de su interés intrínseco para el estudio de las islas de calor de las citadas ciudades, los espacios periurbanos y rururbanos que se intercalan en algún caso entre ellas o cerca de ellas, o, por lo menos, los sectores periféricos con un menor grado de urbanización, en el caso de conurbaciones, permite medir los contrastes térmicos entre los núcleos urbanos y sus entornos.

2.7. Otros transectos.

Con el objeto de avanzar en el estudio de las islas de calor de algunas de las principales ciudades del Área Metropolitana de Barcelona, se han diseñado transectos específicos para las ciudades de Badalona, Castelldefels, Cornellà de Llobregat, El Prat de Llobregat, Gavà, Hospitalet de Llobregat, Sant Boi de Llobregat, Sant Feliu de Llobregat, Santa Coloma de Gramanet y Viladecans, que suman unos 48 km y contienen 178 puntos de observación.

Por otra parte, se realizaron transectos, también nocturnos, a pie por el interior de los parques de la Ciutadella y del Turo Parc.

2.8. Instrumental meteorológico.

Las mediciones a lo largo de los transectos urbanos descritos se realizaron con una estación termohigrométrica digital con sonda de ambiente HANNA HI 9564 (figura 2.2). Este instrumento presenta una baja inercia, con lo que las mediciones pudieron llevarse a cabo con el vehículo en marcha a una velocidad media cercana a los 60 km/h. La sonda fue instalada en el exterior del vehículo, concretamente en la parte lateral derecha, a una altura aproximada de 1,70 m del suelo, mediante un soporte fijado entre las ventanillas (figura 2.3). La lectura de los datos, suministrada por el *display* de la estación, se realizó en el interior del vehículo.

Figura 2.2: Termohigrómetro digital HANNA usado en las mediciones de los transectos térmicos.



Figura 2.3: Instalación del termohigrómetro digital en el vehículo.



2.9. Resultados a partir de los recorridos del transecto 1. Perfiles térmicos e intensidades.

Se han realizado 20 recorridos nocturnos del transecto 1 o transversal (tabla 2.2). En la tabla 2.3 se presentan las temperaturas registradas en sus 27 puntos de observación. Con ellas se han podido construir los correspondientes perfiles térmicos, así como el perfil térmico medio del transecto. Como se ha dicho, las características geográficas (altitud y distancia al mar comparables en sus puntos) y urbanas (corte central de la ciudad de Barcelona) de este transecto son óptimas para establecer las singularidades de la isla de calor barcelonesa, entendida como fenómeno que trasciende los límites municipales de la capital catalana. En la figura 2.4 se representa el perfil térmico medio del transecto transversal, que, por su regularidad y coherencia geográfica y urbana, puede considerarse significativo desde un punto de vista estadístico.

Tabla 2.2: Transecto 1, o transversal.

PUNTO	UBICACIÓN	KM
1	Canal Olímpic (Castelldefels)	0
2	Riera de Canyars (Gavà)	1,49
3	Salida Platges - Gavà Mar (Gavà)	3,47
4	Nauticaravan (Viladecans)	5,17
5	Riera de St. Climent (Viladecans)	5,98
6	Incorporación Europcar (St. Boi)	8,79
7	Cruce con B22 (El Prat)	10,8
8	Río Llobregat (El Prat)	13,5
9	Hospital de Bellvitge (L'H)	14,4
10	Rotonda Ikea (L'H)	16,1
11	Pl. Ildefons Cerdà	17,8
12	Campo de fútbol-Magòria	18,5
13	Plaza Espanya	19,5
14	Gran Via – Rocafort	20,1
15	Gran Via – Urgell	20,6
16	Gran Via – Universitat	21,3
17	Gran Via - Passeig de Gràcia	21,7
18	Gran Via – Tetuan	22,6
19	Gran Via – Monumental	23,3
20	Gran Via – Glòries	23,9
21	Gran Via - Puente Espronceda	25,3
22	Gran Via - Puente Cantàbria	26
23	Final Gran Via (St. Adrià)	27
24	Autov.Maresme-Río Besòs (St.Adrià)	27,7
25	Màgic Badalona (Bdn)	29,9
26	Salida 213 (Bdn)	31,5
27	Salida 216 (Tiana - Montgat sud)	34,4

Tabla 2.3: Registros térmicos obtenidos en 20 noches en el transecto transversal. (Se señalan con fondo rojo los valores máximos en cada recorrido y con fondo azul los mínimos).

PUNTO	UBICACIÓN	23/10/2014	26/10/2014	07/11/2014	21/11/2014	02/12/2014	07/12/2014	19/12/2014	30/12/2014	11/01/2015	17/01/2015
1	Canal Olímpic (Castelldefels)	15,1	18,9	15,3	16,8	11,5	8,3	10,6	6,1	8,2	5,3
2	Riera de Canyars (Gavà)	14,5	18,1	14,9	16,4	11	8,1	10,1	5	8,5	4,3
3	Salida Platges - Gavà Mar (Gavà)	13,8	18,3	14,8	16,4	11	6,8	10	5	8,6	4,2
4	Nauticaravan (Viladecans)	15,8	18,8	16,4	16,6	11,2	6,9	10,2	5,9	9,7	3,5
5	Riera de St. Climent (Viladecans)	15,7	18,9	16,5	16,4	11,4	6,9	10,5	6,4	9,8	5
6	Incorporación Europcar (St. Boi)	14,6	19,7	17	16,1	11,3	7,7	10,5	6,5	9,7	5,1
7	Cruce con B22 (El Prat)	15,8	19,9	17,5	16,6	12,1	7,4	10,8	5,9	9,9	5,1
8	Río Llobregat (El Prat)	16,3	20,2	17,5	17,3	11,4	8,9	10,9	6,9	9,9	5,5
9	Hospital de Bellvitge (L'H)	17	20,3	17,2	17,5	11,7	8,8	11,4	7,7	10,5	6,7
10	Rotonda Ikea (L'H)	17,4	20,2	17,5	17,7	13,5	9,7	11,7	7,4	11,2	7,4
11	Pl. Ildefons Cerdà	19,9	19,7	17,3	18,8	15	9,8	12,1	7,7	11,3	8,8
12	Campo de fútbol	18	19,7	17,4	18	14,5	10,4	12,7	7,5	11,2	8,6
13	Plaza Espanya	18,3	20,1	18,3	18,7	15	9,9	13,3	7,8	12,6	9
14	Gran Via - Rocafort	19,9	20,1	18,3	18,8	15,2	11,2	13,6	8	13,1	10,1
15	Gran Via - Urgell	19,8	20,7	17,9	18,9	15,1	11,1	13,6	8,5	13,5	11
16	Gran Via - Universitat	20,5	20,9	18,5	19,2	15,6	11,9	14,4	8,7	14	10,6
17	Gran Via - Passeig de Gràcia	19,9	19,9	18	18,9	14,8	12	15,1	8,3	13,8	10,8
18	Gran Via - Tetuan	19,4	20,1	17,9	18,7	14,7	11,2	14,3	8,5	13,1	9,6
19	Gran Via - Monumental	19,2	20,8	17,6	18,2	14,9	11,2	14,1	8,4	12,7	9
20	Gran Via - Glòries	17,6	20,2	17	17,4	14,4	10,5	12,8	7,9	11,6	7,8
21	Gran Via - Puente Espronceda	18,5	20,8	17,5	18	15,5	10,5	13,1	8,2	12,4	8,6
22	Gran Via - Puente Cantàbria	18,1	21	17,5	17,7	15,3	9,9	13	8,5	11,8	7,8
23	Final Gran Via (St. Adrià)	17,9	20,6	17	17,5	14,8	9,1	12,4	8,5	11,1	6,4
24	Autov.Maresme-Río Besòs (St.Adrià)	16,1	20,2	16	16,7	13,5	8,6	10,9	7,5	10,4	5,7
25	Màgic Badalona (Bdn)	17,4	20,6	17	17,7	13,8	10,3	11,5	7,6	12,4	8,1
26	Salida 213 (Bdn)	17	20,4	16,6	17,9	13,3	9	11,1	6,8	12,2	7,4
27	Salida 216 (Tiana - Montgat sud)	16,4	20,2	16,6	17,9	13,2	9,6	12	7,5	11,6	7,3
I	Intensidad de la isla de calor (°C)	6,7	2,9	3,7	3,1	4,6	5,2	5,1	3,7	5,8	7,5

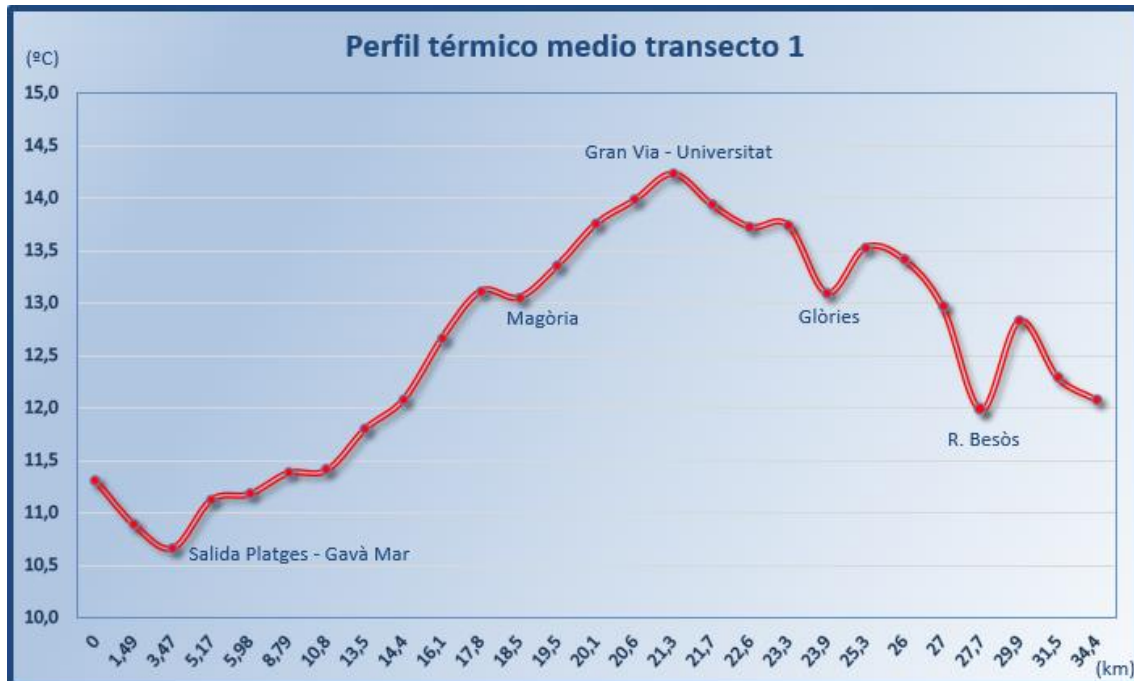
PUNTO	UBICACIÓN	21/01/2015	29/01/2015	09/02/2015	13/02/2015	17/02/2015	20/02/2015	03/03/2015	04/03/2015	25/03/2015	26/03/2015
1	Canal Olímpic (Castelldefels)	7,4	15,3	9,5	11,8	10,9	10,5	12,1	7,5	11,2	13,9
2	Riera de Canyars (Gavà)	5,6	15,3	9,3	11,6	11,1	10,3	11,5	7	11,2	14
3	Salida Platges - Gavà Mar (Gavà)	4,6	15,1	10	11,5	11,2	9,9	11,5	5,8	11,3	13,6
4	Nauticaravan (Viladecans)	7,1	15,3	10,6	11,9	11,7	8,8	11,6	5,3	11,3	14
5	Riera de St. Climent (Viladecans)	7,5	14,9	8,4	11,5	12	9,3	13	4,8	11,6	13,2
6	Incorporación Europcar (St. Boi)	6,9	14,8	8	11,8	12,3	9,4	13,5	7,8	11,2	13,8
7	Cruce con B22 (El Prat)	6,5	14,3	8	11,5	11,7	9,1	13,6	7,3	11,9	13,3
8	Río Llobregat (El Prat)	7,1	14,6	8,3	12,1	13,5	9,1	14,5	7	11,6	13,5
9	Hospital de Bellvitge (L'H)	6,6	14,7	8,9	12,2	13,7	9,8	14,4	7,4	11,5	13,7
10	Rotonda Ikea (L'H)	8,3	14,7	9,7	12,2	13,8	10,8	14,7	9,3	11,6	14,6
11	Pl. Ildefons Cerdà	9,1	15,3	9,5	12	13,9	10,7	14,3	10,1	12,4	14,6
12	Campo de fútbol	9,2	14,5	9,9	12,6	13,9	11,1	14,5	10,2	12,4	14,8
13	Plaza Espanya	9,5	14,9	10,2	12,5	14,2	10,9	14,9	10,5	12,2	14,4
14	Gran Via - Rocafort	10,4	14,9	10,5	13	14,7	11,3	14,6	10,6	12,2	14,9
15	Gran Via - Urgell	9,9	15,1	10,7	13,2	14,8	11,9	15,4	11	12,8	14,7
16	Gran Via - Universitat	10	15,2	10,6	13,4	15	12,1	15,5	10,7	12,2	15,6
17	Gran Via - Passeig de Gràcia	9,4	15,5	10,9	13,2	14,3	11,8	14,8	10,2	12,7	14,5
18	Gran Via - Tetuan	9,7	15	10,8	13	14,5	11,5	14,8	10,4	12,5	14,8
19	Gran Via - Monumental	9,2	15,6	10,8	13,9	14,5	11,6	14,7	10,3	12,7	15,4
20	Gran Via - Glòries	8,5	15	10,8	13,3	14	11,5	15,1	9,8	12,3	14,4
21	Gran Via - Puente Espronceda	8,6	15,3	11,1	13,6	14,1	11,7	15,1	10	12,6	15,4
22	Gran Via - Puente Cantàbria	8,4	15,2	11	13,8	14,2	11,6	15,2	9,9	12,6	15,8
23	Final Gran Via (St. Adrià)	8	15,3	10,9	13,8	13,9	10,5	15	9,2	12,1	15,3
24	Autov.Maresme-Río Besòs (St.Adrià)	6,3	14,1	10,1	12,9	13	9,3	14,2	7,8	11,7	14,6
25	Màgic Badalona (Bdn)	7,7	14,7	9,9	13,3	13,6	10,7	14,5	9,2	12,1	14,5
26	Salida 213 (Bdn)	7,6	14,3	8,1	13	13,3	9,6	14	8,9	11,3	14
27	Salida 216 (Tiana - Montgat sud)	7,7	14,3	7,2	12	13	9,2	13	8,5	10,3	14,1
I	Intensidad de la isla de calor (°C)	5,5	1,5	3,9	2,4	4,1	3,3	4	6,2	2,5	2,6

El perfil térmico medio del transecto transversal (figura 2.4) muestra una característica forma de pico, con el máximo en el tramo central del mismo, localizado en el Eixample, en concreto, en la Esquerra de l'Eixample en el límite con la Dreta de l'Eixample y con el Raval. En casi la mitad de las noches, un 45%, la temperatura máxima se registró en el punto Gran Via-Plaza Universitat, ubicado en la citada posición. En el resto de las noches se registró entre los puntos Gran Via-Urgell y Gran Via-Puente C/Cantabria. De ellas solo en tres noches quedó fuera del Eixample, en el distrito de Sant Marti.

Por otra parte, en un 45% de las noches la temperatura mínima registrada se dio en la

salida Platges-Gavà Mar de la autovía de Castelldefels, y cabe destacar que en el 85% de los casos la mínima se registró en uno de los 7 primeros puntos del transecto, en el área deltaica del Llobregat.

Figura 2.4: Perfil térmico medio del transecto transversal.



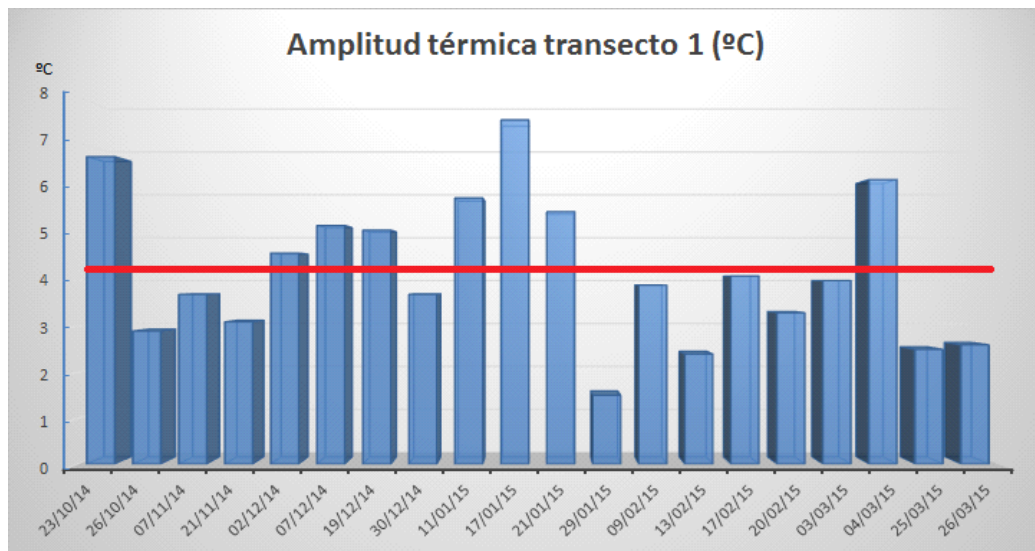
Un análisis más detallado confirma que en el tramo inicial del transecto transversal siempre se registran las temperaturas más bajas del recorrido, especialmente en el punto de la salida Platges-Gavà Mar de la autovía de Castelldefels. Se trata del tramo con suelo más parecido al natural, amplio *sky view factor* y menor número de edificaciones. Las temperaturas disminuyen desde el principio hasta el citado punto, para seguidamente empezar un aumento progresivo de la temperatura, solamente interrumpido en el punto de la Gran Via a la altura del campo de fútbol-Magòria, debido a la disminución de las edificaciones en el lado izquierdo de la marcha. Después de este punto, la temperatura sigue su aumento hasta llegar al máximo del transecto, en la Gran Via a la altura de la plaza Universitat. Este máximo en algunos casos no se produce en forma de pico, sino en forma de meseta térmica, debido a la extensión y homogeneidad física del Eixample barcelonés. A partir de ahí, la temperatura empieza su descenso, siendo notable al llegar a la plaza de les Glòries, sector muy abierto, con un repunte en el barrio de Sant Martí de Provençals, por la mayor densidad poblacional y de edificios. Luego vuelve a presentar una muesca, la más profunda del recorrido, que corresponde al paso por el río Besòs. Este actúa como un canal frío, drenando por la noche el aire frío del Vallès hacia el mar, así como marcando la frontera entre las islas de calor de Barcelona y Badalona. Finalmente, antes de acabar el transecto, en la salida 216 de la

autovía del Maresme, la influencia de la isla de calor de Badalona es notable a su paso por el centro comercial Màgic Badalona.

La intensidad media de la isla de calor, considerada como promedio de las diferencias entre los puntos más cálido y más frío de los 20 recorridos nocturnos, ha sido de 4,2°C (figura 2.5), lo que muestra a las claras la importancia del fenómeno en el área barcelonesa. La mayor intensidad se produjo la noche del 17 de enero de 2015, de 7,5°C, que permite calificar la isla de calor de la citada noche como muy intensa. Las intensidades registradas en este transecto a lo largo de los seis meses de estudio, de octubre de 2014 a marzo de 2015, son más notables en la primera parte, es decir, de octubre a enero, correspondiente a la estación otoñal y principios de invierno.

La magnitud poblacional del Área Metropolitana de Barcelona y en especial de su capital, así como los resultados hallados en Moreno (1993) y los del presente proyecto (Partes 1 y 2), permiten proponer la siguiente clasificación sobre la intensidad de la isla de calor de Barcelona: Isla de calor débil (intensidad menor de 2,5°C); isla de calor moderada (intensidad mayor o igual que 2,5°C y menor de 5,0°C); isla de calor intensa (intensidad mayor o igual que 5°C y menor de 7,5°C); isla de calor muy intensa (intensidad mayor o igual que 7,5°C). De este modo, de las 20 noches estudiadas a partir del transecto transversal, 2 tuvieron una isla de calor débil, 11, moderada, 6, intensa y una, muy intensa.

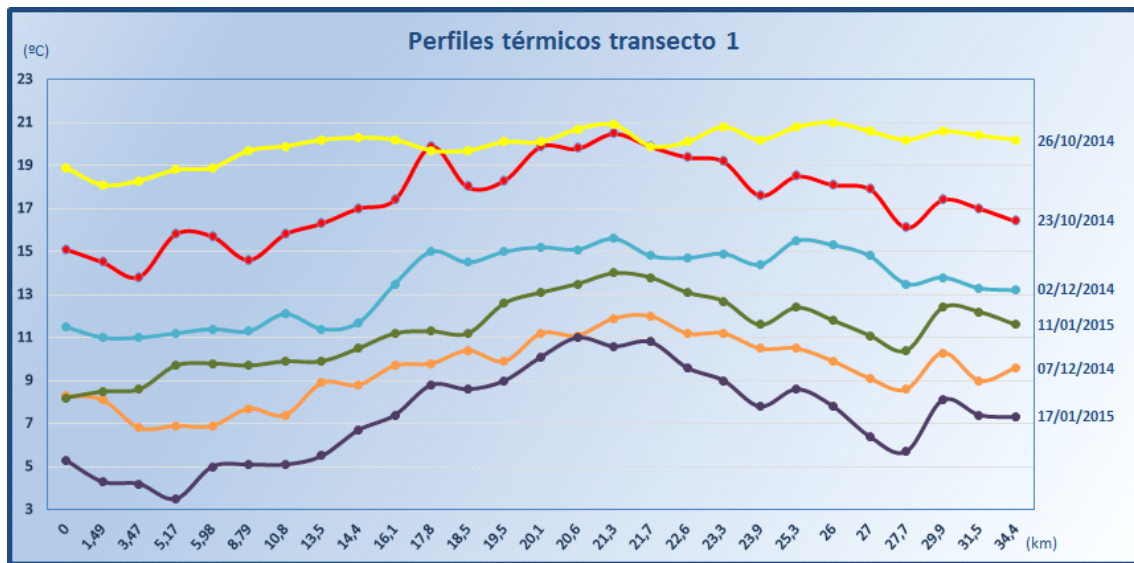
Figura 2.5: Intensidades, o amplitud térmica en °C, de la isla de calor de las 20 noches estudiadas a partir del transecto 1. (La barra roja indica el valor medio).



En la figura 2.6 se presenta una selección de los 20 perfiles térmicos, en concreto seis con registros de temperatura muy variados, entre 3,5°C y 21,0°C, e intensidades de la isla de calor asimismo muy contrastadas, entre 2,9°C y 7,5°C. El perfil térmico del 2 de diciembre de 2014 muestra una clara meseta térmica, con temperaturas parecidas, entre

14,4°C y 15,6°C a lo largo de 10,8 km, desde la plaza Cerdà hasta el final de la Gran Via. La importancia de las mesetas térmicas en Barcelona, cuya frecuencia en Moreno (1994) se establece en cerca del 75% de las noches con isla de calor, se atribuye a la homogeneidad física y urbana del Eixample de la ciudad. En el presente estudio la frecuencia de las mesetas térmicas, a partir de las 20 noches analizadas, se reduciría a algo más de la mitad de la del citado trabajo, un 40%, aproximadamente. Aun así, este porcentaje es notable. Los perfiles térmicos en pico típicos han sido relativamente frecuentes, como muestran los casos del 7 de diciembre de 2014, el 11 de enero de 2015 y el 17 de enero de 2015 (figura 2.6).

Figura 2.6: Perfiles térmicos seleccionados del transecto 1.



Sabiendo que los factores meteorológicos que más influyen en la intensidad de la isla de calor son la nubosidad y el viento, se ha analizado la correlación entre cada uno de ellos y la intensidad de la isla de calor, a partir de los 20 casos con recorrido del transecto transversal. El coeficiente de correlación de Pearson entre la nubosidad, expresada en octas de cielo cubierto (cuya escala va de 0, cielo despejado, a 8, cielo cubierto) y la intensidad de la isla de calor ha sido de -0,33 (p-valor 0.078), por lo que no es estadísticamente significativa al nivel de confianza del 95%. De todos modos, en la figura 2.7, puede apreciarse que las noches con mayor intensidad de la isla de calor, de más de 5°C, registraron cielos despejados o casi despejados (0 o 1 octas). Es decir, se entrevé una cierta correlación negativa entre las dos variables, a menor nubosidad mayor intensidad, lo que sería normal.

Con respecto a la correlación entre la velocidad del viento, expresada en km/h, y la intensidad de la isla de calor (figura 2.8), el coeficiente de correlación de Pearson entre ambas variables ha sido de -0,45 (p-valor 0.023), por lo que es negativa y estadísticamente significativa al 95%. Es decir, a mayor velocidad del viento, menor

intensidad de la isla de calor barcelonesa, lo que es normal.

Figura 2.7: Correlación entre la nubosidad y la intensidad de la isla de calor de Barcelona, a partir de los recorridos del transecto transversal.

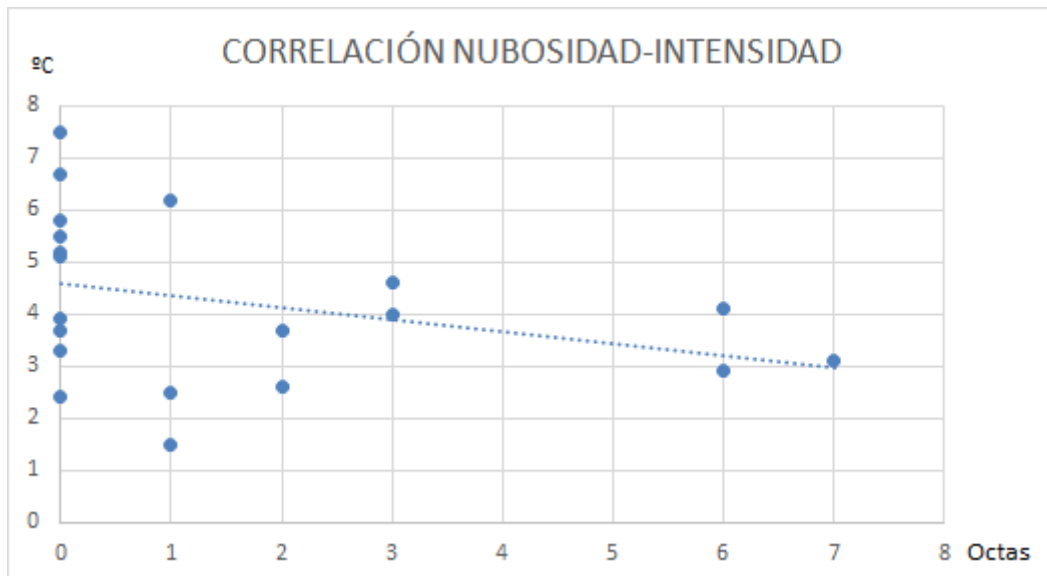
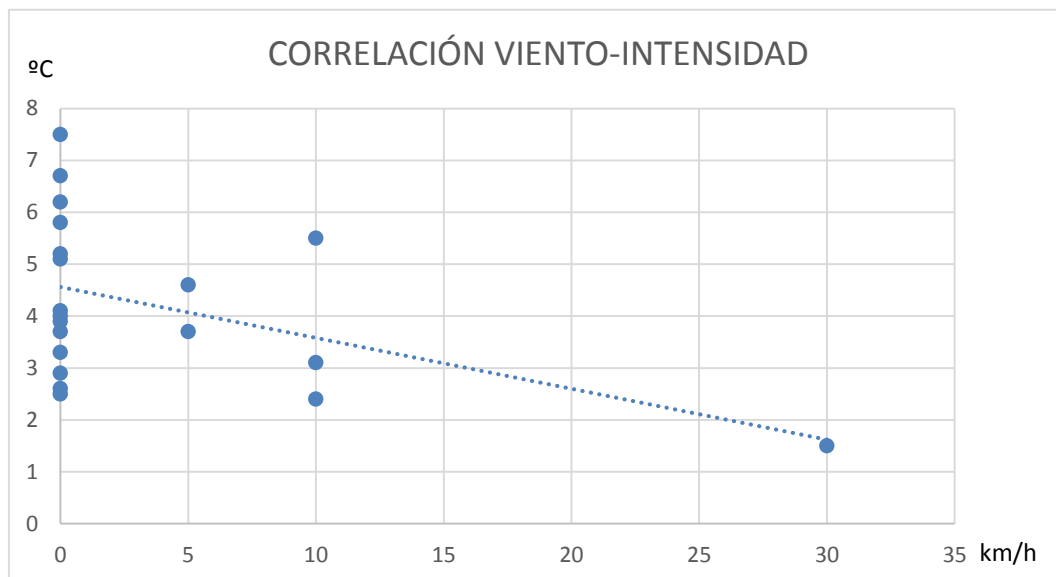


Figura 2.8: Correlación entre la velocidad del viento y la intensidad de la isla de calor de Barcelona, a partir de los recorridos del transecto transversal.



2.9. Resultados a partir de los recorridos de los transectos 2, 3 y 4. Perfiles térmicos.

Los transectos números 2, 3 y 4 (tablas 2.4, 2.5 y 2.6) fueron recorridos en 3, 3 y 4 noches, respectivamente.

Tabla 2.4: Transecto 2.

PUNTO	UBICACIÓN	KM
1	Incorporación B-20 (Montgat)	0
2	Makro Badalona (Bdn)	3,13
3	Salida 20 – Ikea (Bdn)	5,67
4	Salida 19 (Sta. Coloma)	7,1
5	Río Besòs (Sta. Coloma)	8,47
6	Ronda de Dalt - Salida 1	9,66
7	Incorporación Av. Meridiana	10,2
8	Av. Río de Janeiro - Paseo de Valldaura	11,3
9	Paseo de Valldaura - Via Júlia	12
10	C/ Dr. Pi i Molist - Paseo de Fabra i Puig (Pl. Virrei Amat)	13
11	Paseo de Maragall - Av. Montserrat	13,6
12	Pl/ del Nen de la Rutlla	14,4
13	Cartagena - Ronda del Guinardó	15
14	Club Esportiu Europa	15,8
15	Lesseps	17
16	General Mitre – Muntaner	18,2
17	General Mitre - Via Augusta	18,9
18	María Cristina	20,2
19	Facultad de Física	21,1
20	Esports UB	22,1
21	Galp Esplugues (Espl.)	23,6
22	N-340 - Rambla de St. Just (St. Just)	24,9
23	Rotonda Repsol (St. Just)	25,8
24	Rotonda Parc de la Torreblanca (St. Just)	26,8
25	Ctra. Laureà Miró - Hotel Centro (St. Feliu)	27,6
26	Ctra. Laureà Miró - C/ Reverend Martí Duran (S.F)	28,3
27	Ctra. Laurèa Miró – C/ Agricultura (S.F)	29,2
28	Av. Barcelona - Ramon i Cajal (Molins)	30,3
29	Av. Barcelona - Parc de la Mariona (Molins)	31
30	Av. Barcelona Final (Molins)	31,9

Tabla 2.5: Transecto 3.

PUNTO	UBICACIÓN	KM
1	Inicio Av. Josep Vicenç Foix	0
2	C/ Eduardo Conde (Colegio Sagrado Corazón)	1,17
3	Av. Joan XXIII - Cementerio de les Corts	2,53
4	Riera blanca – C/ de Sants	3,69
5	C/ de Sants - Rambla Badal	4,42
6	Pl. de Sants	4,84

7	Pl. Espanya	5,94
8	Paral·lel - Poble Sec	6,92
9	Metro Paral·lel	7,56
10	Pl. de les Drassanes	8,3
11	Paseo de Colom - Via Laietana	9,32
12	Paseo de Picasso	9,87
13	Av. Meridiana	10,8
14	Av. Meridiana - Joan d'Àustria	11,4
15	Glòries	12,2
16	Meridiana – València	12,9
17	Meridiana - Jardines de Maria Soteras	13,8
18	Meridiana – Hipercor	14,9
19	Incorporación Av. Meridiana	17,3

Tabla 2.6: Transecto 4.

PUNTO	UBICACIÓN	KM
1	Incorporación Meridiana	0
2	Parque de Can Dragó	1,52
3	Hipercor	2,26
4	Jardines de Maria Soteras	3,41
5	Meridiana – Aragón	4,44
6	Aragón – Cartagena	4,99
7	Aragón – Diagonal	5,7
8	Aragón - Paseo St. Joan	6,19
9	Aragón – Bruc	6,59
10	Aragón - Paseo de Gràcia	7
11	Aragón - Enric Granados	7,5
12	Aragón - Av. Roma	7,93
13	Av. Roma - Comte Urgell	8,2
14	UPC	8,79
15	Av. Sarrià - Av. Josep Tarradellas	9,32
16	Travessera de les Corts	9,59
17	Travessera – Ecuador	9,95
18	Jardines de les Infantes	10,4
19	Travessera - Gran Via Carles III	11
20	Jardines de Bacardí	11,3
21	Travessera - Riera blanca	11,7
22	Carretera de Collblanc (L'H)	12,1
23	Ctra. Collblanc - Cardenal Reig (L'H)	12,5
24	Tranvía Can Rigal (L'H)	13,1
25	Tranvía Can Oliveres (Espl.)	13,7
26	Tranvía Can Clota (Espl.)	14,1
27	Puente Esplugues (Espl.)	14,5
28	Tranvía La Sardana (Espl.)	15,2
29	Tranvía Montesa (Espl.)	15,6

30	Tranvía El Pedró (Cornellà)	16,2
31	Tranvía Ignasi Iglésias (Cornellà)	16,8
32	Ctra. Esplugues (Metro Cornellà Centre) (Cornellà)	17,4
33	Ctra. Sant Boi (Parque de les Aigües) (Cornellà)	17,8
34	Cruce C245 - A2 (Cornellà)	18,5
35	Ctra. Cornellà - Ríu Llobregat (St. Boi)	19,2
36	Rotonda campo de fútbol (St. Boi)	19,9
37	Pl. d'Europa (St. Boi)	20,7
38	Pl. del Llobregat (St. Boi)	21
39	Ctra. Santa Creu - C/ Malaga (St. Boi)	21,4
40	Rotonda Peugeot (St. Boi)	21,7
41	Rotonda NH Sant Boi (St. Boi)	22,3
42	Ctra. Barcelona - Frutas Andres (Viladecans)	23
43	Ctra. Barcelona - Paseo de la Marina (Viladecans)	23,5
44	Av. Generalitat - C/ Pi i margall (Viladecans)	24
45	Av. Generalitat - C/ Agricultura (Viladecans)	24,3
46	Rotonda Roca (Viladecans)	24,8
47	Rotonda Tecnogeca (Viladecans)	25
48	Ctra. Santa Creu - Rambla de Joaquim Vayreda (Gavà)	25,3
49	Rotonda Prink (Gavà)	25,6
50	Ctra. Santa Creu - C/ Joan Carles I (Gavà)	26,1
51	Rotonda Parque del Calamot (Gavà)	26,5
52	C245 - Riera dels Canyars (Gavà)	27
53	Rotonda Telepizza (Castelldefels)	27,8
54	Rotonda Smith (Castelldefels)	28
55	Av. Constitució - Pl. Colom (Castelldefels)	28,4
56	Rotonda Cepsa (Castelldefels)	28,9
57	Av. Constitució - Av. Pineda (Castelldefels)	29,2
58	Av. Constitució 240 (Castelldefels)	29,7
59	Av. Constitució 276 (Castelldefels)	30
60	Av. Constitució - Pasaje Ferrocarril (Castelldefels)	30,4

Los registros térmicos obtenidos se presentan en las tablas 2.7, 2.8 y 2.9. Al tratarse de transectos cuyos puntos no mantienen una altitud y una distancia al mar parecidas a lo largo de cada uno de ellos, no puede calcularse propiamente una intensidad, aunque sí que se han señalado los valores máximo y mínimo en cada recorrido efectuado. Sin embargo, estos transectos complementan el transecto transversal de cara a la determinación de la configuración de la isla de calor barcelonesa junto con las islas de calor de otros municipios de la AMB.

Tabla 2.7: Registros térmicos obtenidos en 3 noches en el transecto 2. (Se señalan con fondo rojo los valores máximos en cada recorrido y con fondo azul los mínimos).

PUNTO	UBICACIÓN	26/10/2014	07/12/2014	11/01/2015
1	Incorporación B-20 (Montgat)	18,4	5,7	11,1
2	Makro Badalona (Bdn)	18	9,5	10,7
3	Salida 20 – Ikea (Bdn)	18,1	7,6	10
4	Salida 19 (Sta. Coloma)	18,6	8,6	10,9
5	Río Besòs (Sta. Coloma)	19,4	8,5	9,3
6	Ronda de Dalt - Salida 1	19,6	7,9	9,7
7	Incorporación Av. Meridiana	19,5	7,2	9,3
8	Av. Río de Janeiro - Paseo de Valldaura	20	7,9	10,9
9	Paseo de Valldaura - Via Júlia	19,5	9,8	10,1
10	C/ Dr. Pi i Molist - Paseo de Fabra i Puig (Pl. Virrei Amat)	19,7	10,2	11,8
11	Paseo de Maragall - Av. Montserrat	19,4	10,3	11,6
12	PI/ del Nen de la Rutlla	18,3	9,8	9,9
13	Cartagena - Ronda del Guinardó	18,6	10	11
14	Club Esportiu Europa	19	10,1	10
15	Lesseps	20,3	10,3	12,5
16	General Mitre - Muntaner	19,8	11,2	12,6
17	General Mitre - Via Augusta	19,3	10,6	11,9
18	María Cristina	19,4	10,1	11,4
19	Facultad de Física	18,6	10,3	10,4
20	Esports UB	19,8	10,8	11,2
21	Galp Esplugues (Espl.)	19,3	9,3	9,6
22	N-340 - Rambla de St. Just (St. Just)	18,1	8,7	9,4
23	Rotonda Repsol (St. Just)	18,1	8,9	9,3
24	Rotonda Parc de la Torreblanca (St. Just)	18	9,3	10,1
25	Ctra. Laureà Miró - Hotel Centro (St. Feliu)	18	8,3	9
26	Ctra. Laureà Miró - C/ Reverend Martí Duran (S.F)	17,5	7,9	8,3
27	Ctra. Laurèa Miró – C/ Agricultura (S.F)	16,8	8,7	9,5
28	Av. Barcelona - Ramon i Cajal (Molins)	17,3	8,3	9,3
29	Av. Barcelona - Parc de la Mariona (Molins)	18	7,9	9,4
30	Av. Barcelona Final (Molins)	17,5	7,4	8,7
I	Intensidad de la isla de calor (°C)	3,5	5,5	4,3

Tabla 2.8: Registros térmicos obtenidos en 3 noches en el transecto 3. (Se señalan con fondo rojo los valores máximos en cada recorrido y con fondo azul los mínimos).

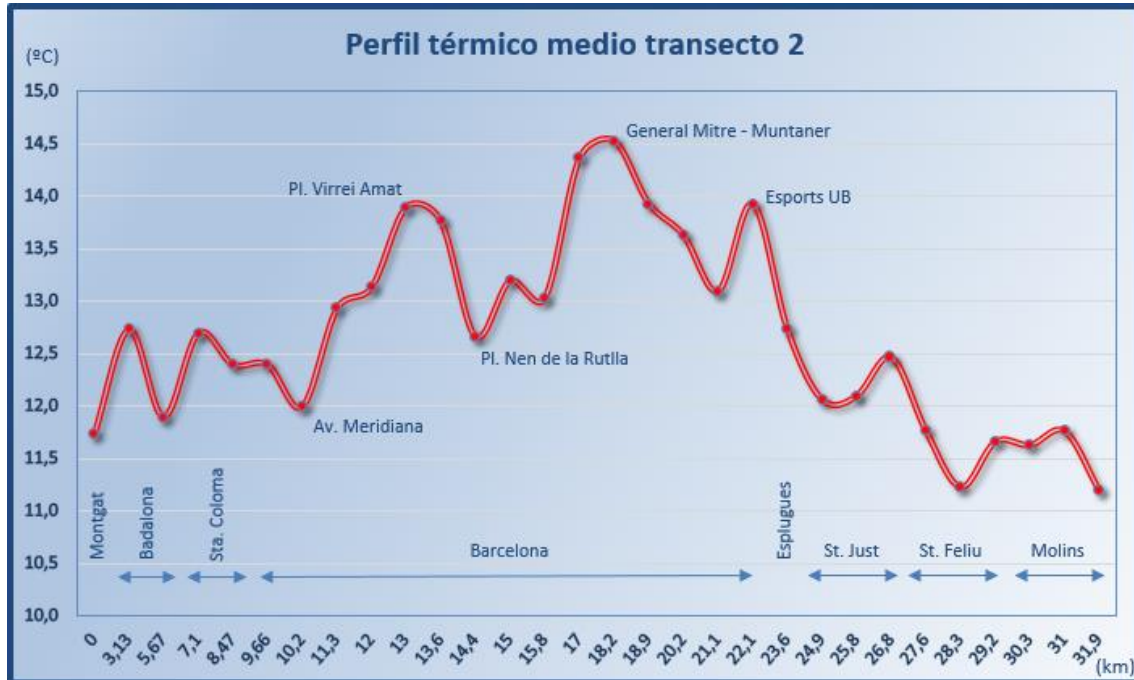
PUNTO	UBICACIÓN	26/10/2014	07/11/2014	17/01/2015
1	Inicio Av. Josep Vicenç Foix	17,2	15,1	6,8
2	C/ Eduardo Conde (Colegio Sagrado Corazón)	18,4	15,3	7,1
3	Av. Joan XXIII - Cementerio de les Corts	19,2	16,2	8,9
4	Riera blanca – C/ de Sants	19,6	16,8	8,6
5	C/ de Sants - Rambla Badal	19,8	17	9,2
6	Pl. de Sants	19,4	17,1	9,3
7	Pl. Espanya	20,4	17,5	8,3
8	Paral·lel - Poble Sec	19,6	17,8	9,3
9	Metro Paral·lel	20	18	9,5
10	Pl. de les Drassanes	20,2	17,7	8,5
11	Paseo de Colom - Via Laietana	19,6	17,5	9,3
12	Paseo de Picasso	18,9	15,7	6,7
13	Av. Meridiana	19	16,3	7,9
14	Av. Meridiana - Joan d'Àustria	19,2	16,2	7,4
15	Glòries	19,1	16,4	7,3
16	Meridiana - València	19,3	16	7,6
17	Meridiana - Jardines de Maria Soteras	19,3	16,3	7,9
18	Meridiana - Hipercor	19,3	16,3	7,2
19	Incorporación Av. Meridiana	17,7	15,3	5,1
I	Intensidad de la isla de calor (°C)	3,2	2,9	4,4

Tabla 2.9: Registros térmicos obtenidos en 4 noches en el transecto 4. (Se señalan con fondo rojo los valores máximos en cada recorrido y con fondo azul los mínimos).

PUNTO	UBICACIÓN	17/01/2015	22/01/2015	05/02/2015	27/02/2015
1	Incorporación Meridiana	7,7	7,9	5,3	11,7
2	Parque de Can Dragó	8,6	8,8	6,9	11,7
3	Hipercor	10,4	9,2	7,1	12,5
4	Jardines de Maria Soteras	10,4	9	7,1	12,5
5	Meridiana - Aragó	10,8	9	7,6	12,9
6	Aragó - Cartagena	11,6	9,1	7,5	12,7
7	Aragó - Diagonal	11	9,6	7,6	12,9
8	Aragó - Paseo St. Joan	11,4	10,1	8	12,4
9	Aragó - Bruc	11,9	9,5	7,9	12,8
10	Aragó - Paseo de Gràcia	12,5	10	8,2	13,1
11	Aragó - Enric Granados	12,1	10,2	8,8	12,7
12	Aragó - Av. Roma	11,9	10,1	8,5	12,1
13	Av. Roma - Comte Urgell	10,6	9,5	8	11,9
14	UPC	10,6	9,9	8,6	12,9
15	Av. Sarrià - Av. Josep Tarradellas	10,7	9,7	7,7	12,7
16	Travessera de les Corts	10,2	9,3	7,5	12,2
17	Travessera - Ecuador	9,9	9,1	8,2	12,3
18	Jardines de les Infantes	10	8,6	7,6	12,2
19	Travessera - Gran Via Carles III	10,3	8,6	8,5	12,7
20	Jardines de Bacardí	9	8,8	6,7	12,5
21	Travessera - Riera blanca	9,3	9,1	7,3	11,7
22	Carretera de Collblanc (L'H)	9,1	9,2	7,6	12,3
23	Ctra. Collblanc - Cardenal Reig (L'H)	8,9	9	7,1	11,8
24	Tranvia Can Rigal (L'H)	7,6	8,3	6,9	11,3
25	Tranvia Can Oliveres (Espl.)	7,6	7,7	6,4	11
26	Tranvia Can Clota (Espl.)	8,8	7,9	5,7	10,7
27	Puente Esplugues (Espl.)	8,1	7,5	5,1	11
28	Tranvia La Sardana (Espl.)	7,6	8	5,6	11
29	Tranvia Montesa (Espl.)	7,3	8	5,2	11
30	Tranvia El Pedró (Cornellà)	7,6	7,5	5	11,3
31	Tranvia Ignasi Iglésias (Cornellà)	6,9	7,6	5,2	11,3
32	Ctra. Esplugues (Metro Cornellà Centre) (Cornellà)	6,2	7,6	5,5	11,8
33	Ctra. Sant Boi (Parque de les Aigües) (Cornellà)	6,2	7,2	5,4	11,7
34	Cruce C245 - A2 (Cornellà)	4,8	5,9	4,1	11,7
35	Ctra. Cornellà - Río Llobregat (St. Boi)	4,7	6,3	4	11,9
36	Rotonda campo de fútbol (St. Boi)	6,3	6,4	5,2	11,9
37	Pl. d'Europa (St. Boi)	7,1	7,6	5,9	11,8
38	Pl. del Llobregat (St. Boi)	6,7	7,4	5,9	11,6
39	Ctra. Santa Creu - C/ Malaga (St. Boi)	6,6	7,5	6	11,5
40	Rotonda Peugeot (St. Boi)	6,5	7,4	5,9	11,7
41	Rotonda NH Sant Boi (St. Boi)	6,2	7,6	6	11,8
42	Ctra. Barcelona - Frutas Andres (Viladecans)	6,1	7,9	6,2	12,1
43	Ctra. Barcelona - Paseo de la Marina (Viladecans)	5,2	8,6	5,7	12
44	Av. Generalitat - C/ Pi i margall (Viladecans)	6,2	7,7	5,8	12,1
45	Av. Generalitat - C/ Agricultura (Viladecans)	6,7	7,8	6,4	12
46	Rotonda Roca (Viladecans)	6,6	7,7	5,7	11,9
47	Rotonda Tecnogeca (Viladecans)	6,6	7,7	6,2	11,8
48	Ctra. Santa Creu - Rambla de Joaquim Vayreda (Gavà)	7,9	8,4	6,7	12,2
49	Rotonda Prink (Gavà)	7,9	8,2	6,7	12
50	Ctra. Santa Creu - C/ Joan Carles I (Gavà)	6,5	6,6	6,1	11,5
51	Rotonda Parque del Calamot (Gavà)	3,2	6,3	5,7	11,6
52	C245 - Riera dels Canyars (Gavà)	4,7	6,3	5,6	11,7
53	Rotonda Telepizza (Castelldefels)	5,3	7,7	5,8	12
54	Rotonda Smith (Castelldefels)	6	7,9	6	12,1
55	Av. Constitució - Pl. Colom (Castelldefels)	6,5	8,1	6,7	12,2
56	Rotonda Cepsa (Castelldefels)	6,9	8,7	6,7	12,4
57	Av. Constitució - Av. Pineda (Castelldefels)	7,1	8,4	6,8	12,6
58	Av. Constitució 240 (Castelldefels)	6,7	7,4	6,3	12,4
59	Av. Constitució 276 (Castelldefels)	6,6	6,2	6,6	12,2
60	Av. Constitució - Pasaje Ferrocarril (Castelldefels)	4,4	4,8	6,4	12,1
I	Intensidad de la isla de calor (°C)	9,3	5,4	4,8	2,4

El perfil medio del transecto 2 (figura 2.9) muestra variaciones acusadas de las temperaturas, con un máximo en la plaza Lesseps y un mínimo hacia el final del recorrido, ya dentro del municipio de Molins de Rei.

Figura 2.9: Perfil térmico medio del transecto 2.



El perfil térmico medio del transecto 3 (figura 2.10) muestra un aumento progresivo de la temperatura a medida que se aproxima al centro de Barcelona desde la zona alta, en forma de meseta térmica desde el cementerio de les Corts hasta llegar al paseo de Colom, con un máximo en la parada de metro Paral·lel. Seguidamente la influencia del parque de la Ciutadella es muy notable, con un descenso de casi 2°C. A continuación la temperatura se recupera ligeramente para mantenerse hasta llegar al final de la avenida Meridiana, donde la temperatura vuelve a descender acusadamente, formando un escarpe térmico, típico de los bordes de los continuos urbanos.

Figura 2.10: Perfil térmico medio del transecto 3.



Al principio del transecto 4 (figura 2.11) destaca el acusado aumento de la temperatura, en forma de escarpe térmico, a medida que se entra en Barcelona por la avenida Meridiana. A continuación, siguiendo la calle Aragó, para cruzar parte de la ciudad, se dan las temperaturas más altas, con un máximo en la intersección con paseo de Gràcia. Luego la temperatura empieza a disminuir con pequeños altibajos. Dicho descenso se hace más acusado cuando se toma la carretera de Collblanc para dejar atrás Barcelona y cruzar l'Hospitalet de Llobregat, Esplugues de Llobregat y Cornellà de Llobregat por sectores no centrales de estos núcleos urbanos. Uno de los puntos más fríos del recorrido se corresponde con el paso sobre el río Llobregat, con un descenso de algo más de 1°C respecto al punto anterior. Seguidamente la temperatura vuelve a aumentar debido a la influencia de las islas de calor de Sant Boi de Llobregat, al principio, Viladecans y, especialmente, Gavà, donde la temperatura sube para seguidamente bajar en el Parc del Calamot, siendo este otro de los puntos más fríos del transecto. Finalmente, la influencia, en el tramo final, de la isla de calor de Castelldefels es notable con un aumento de aproximadamente 2°C.

Este transecto se caracteriza por cruzar los núcleos urbanos de varios municipios, quedando reflejado en su perfil térmico las islas de calor de cada uno de estos municipios, así como el efecto de canal frío del río Llobregat y de algún parque urbano. También permite intuir la magnitud relativa de las islas de calor de los municipios citados del Baix Llobregat respecto a la de Barcelona, cuya temperatura más alta queda al menos 2°C por encima de las de aquellos.

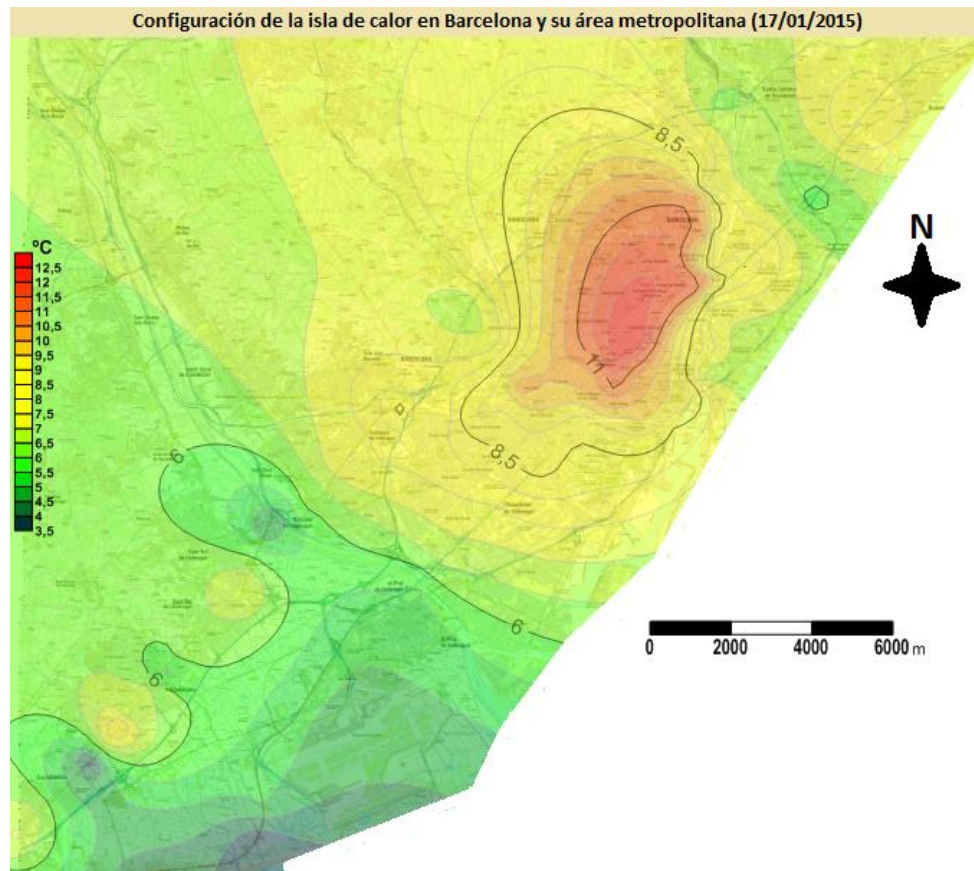
Figura 2.11: Perfil térmico medio del transecto 4.



2.10. Configuración de la isla de calor barcelonesa.

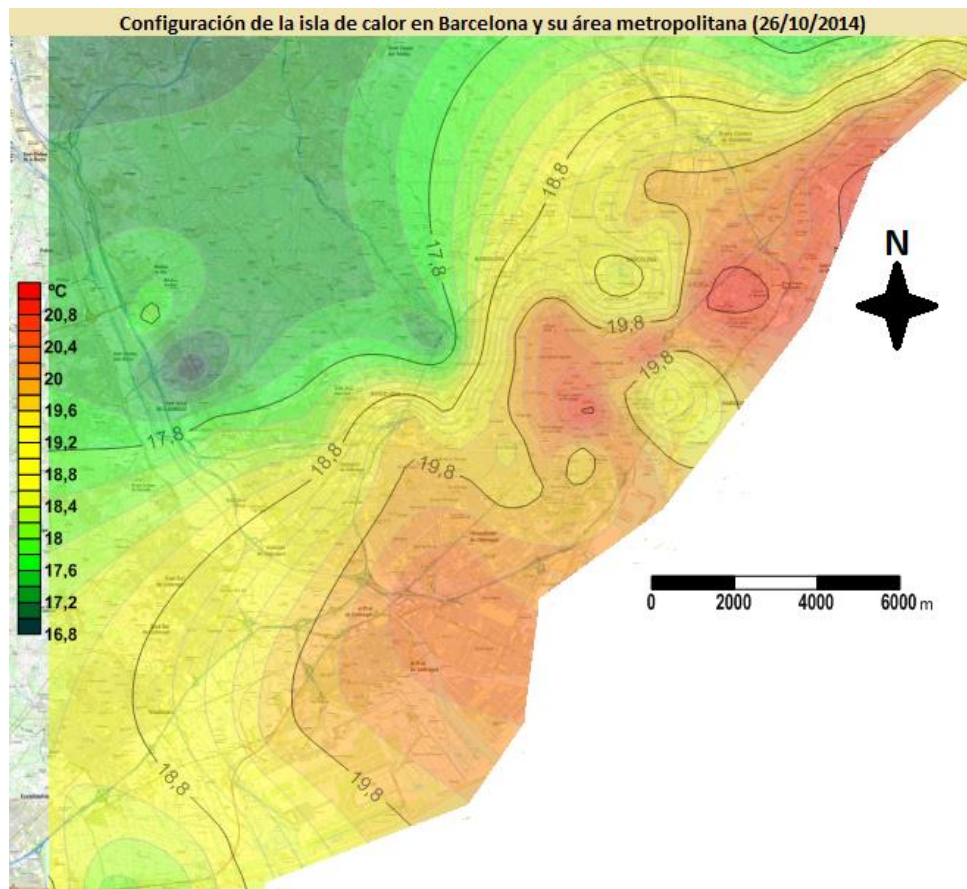
Los estudios previos (Moreno, 1994) han mostrado una isla de calor barcelonesa con una configuración aproximadamente concéntrica, a veces ajustada a la costa, al no darse grandes discontinuidades en el continuo urbano, como podría ser un río que atravesara la ciudad o la existencia de un gran parque central, excepto el límite de la línea litoral. En el presente proyecto, se han construido algunos mapas de isotermas. El mapa correspondiente al 17 de enero de 2015 (figura 2.12), la fecha con la mayor intensidad de la isla de calor (7,5°C), muestra a las claras la forma concéntrica, con núcleo en el Eixample, abrazando los municipios colindantes, en especial l'Hospitalet de Llobregat, de la margen izquierda del río Llobregat y Sant Adrià del Besòs. La isla de calor de Badalona, junto con la de Santa Coloma de Gramenet, queda individualizada y delimitada por el canal frío del río Besòs. Se aprecian los islotes de calor de Sant Boi, Viladecans-Gavà y Castelldefels.

Figura 2.12: Mapa de isotermas de Barcelona y su entorno metropolitano del 17 de enero de 2015, a las 22:15 (UTC).



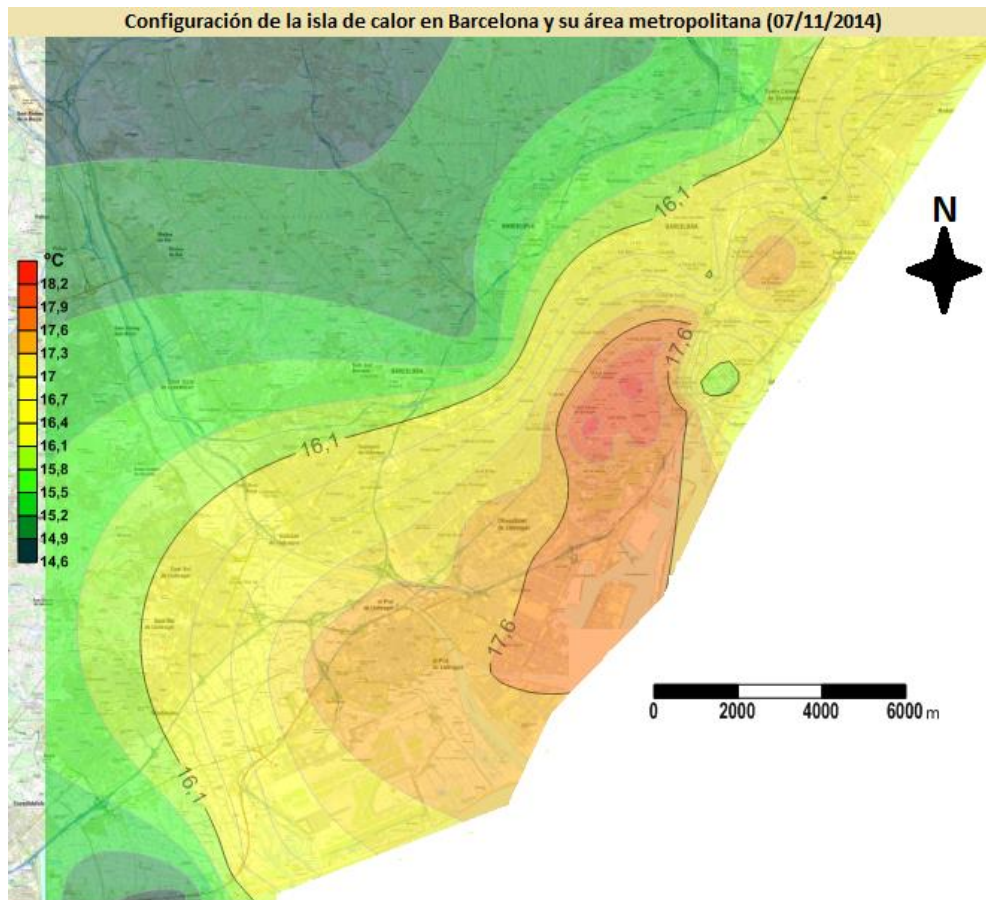
La configuración de la isla de calor del 26 de octubre de 2014 (figura 2.13), con una intensidad moderada a débil (2,8°C), es alargada, amesetada y ajustada a la costa, sin influencia apreciable de los ríos Llobregat y Besòs. La equidistancia de las isotermas es pequeña para realzar las diferencias térmicas.

Figura 2.13: Mapa de isotermas de Barcelona y su entorno metropolitano del 26 de octubre de 2014, a las 21:29 (UTC).



La isla de calor del 7 de noviembre de 2014 (figura 2.14), de intensidad moderada (3,7°C), tiene rasgos intermedios entre las dos anteriormente descritas, aunque puede considerarse concéntrica, con su núcleo en el Eixample.

Figura 2.14: Mapa de isotermas de Barcelona y su entorno metropolitano del 7 de octubre de 2014, a las 22:59 (UTC).



En conjunto, se confirma que el núcleo de la isla de calor barcelonesa se localiza en la mayor parte de las noches en el Eixample.

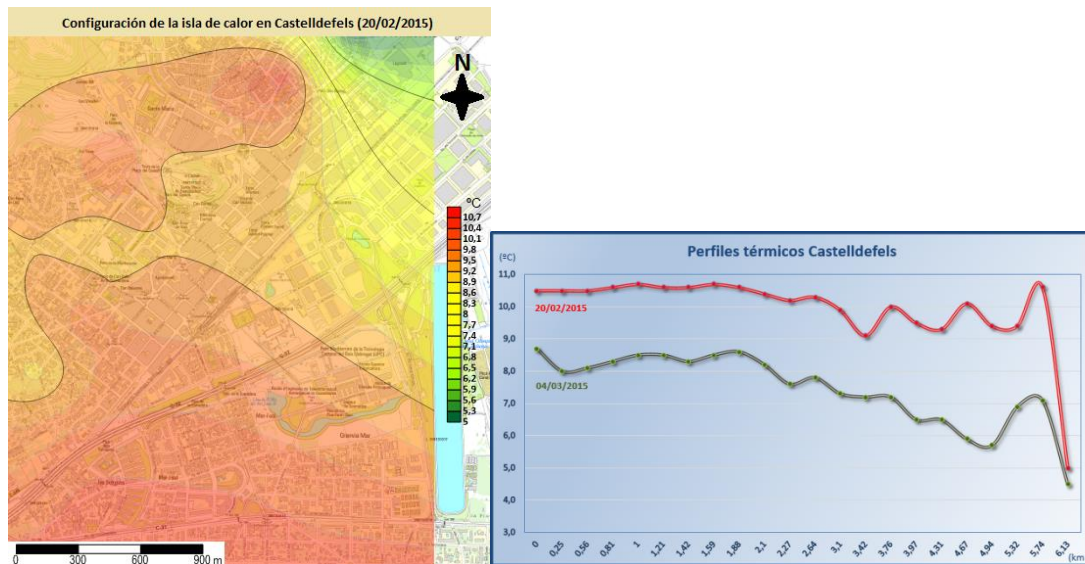
2.11. Las islas de calor de otros municipios del Área Metropolitana de Barcelona.

Los recorridos realizados, dos en cada caso, de los transectos específicos de los municipios de Badalona, Castelldefels, Cornellà de Llobregat, El Prat de Llobregat, Gavà, Hospitalet de Llobregat, Sant Boi de Llobregat, Sant Feliu de Llobregat, Santa Coloma de Gramanet y Viladecans han permitido construir mapas de isotermas y perfiles térmicos, que evidencian las características básicas de la configuración de las respectivas islas de calor.

De la misma manera que ocurre a mayor escala en los transectos explicados anteriormente, cada municipio del área metropolitana barcelonesa tiene su propia isla de calor, a veces prácticamente indistinguible de la barcelonesa por tratarse de una apófisis de la misma. En algunos casos las intensidades son muy notables, como es el

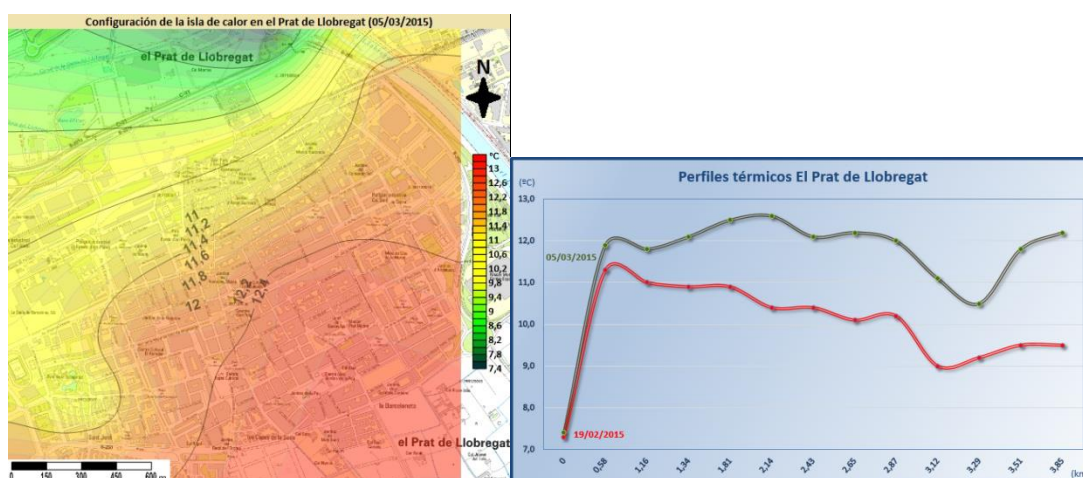
caso de la ciudad de Castelldefels, donde en apenas pocos centenares de metros la temperatura baja bruscamente (escarpe térmico) al final de la calle Antonio Machado, coincidiendo con el paso de la Riera dels Canyars.

Figuras 2.15, 2.16 y 2.17: Transecto térmico de Castelldefels (sobre imagen de Google Earth), mapa de isotermas del 20 de febrero de 2015 y perfiles térmicos del 20 de febrero y el 4 de marzo de 2015.



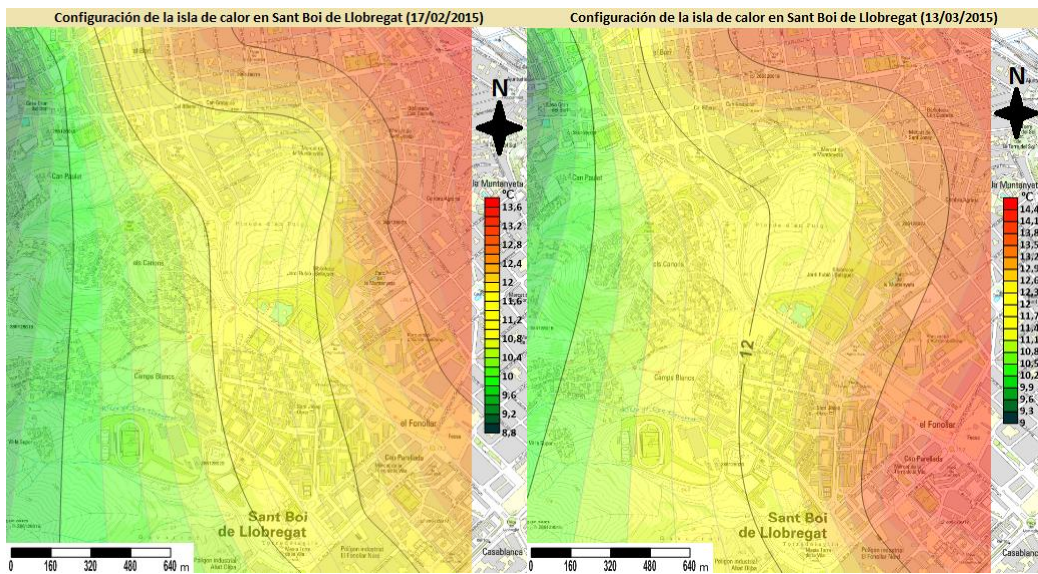
En el caso del Prat de Llobregat el contraste térmico entre los campos de cultivo de los alrededores de la ciudad y, a veces, el cauce del río Llobregat, y el núcleo urbanizado es muy nítido, con una diferencia de hasta 5°C en uno de los recorridos realizados.

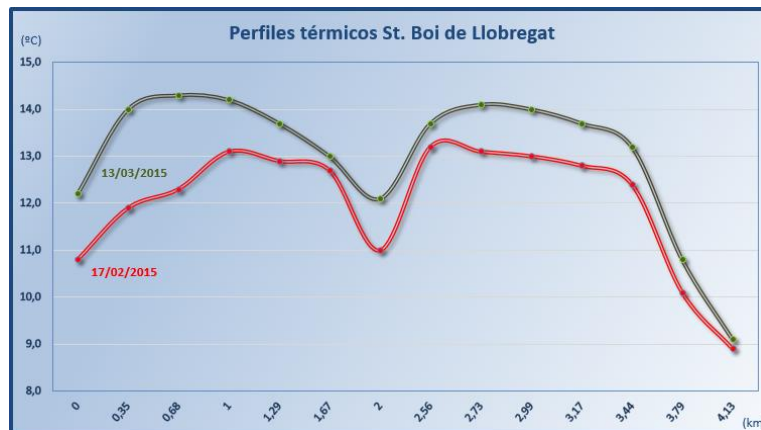
Figuras 2.18, 2.19 y 2.20: Transecto térmico de El Prat de Llobregat (sobre imagen de Google Earth), mapa de isotermas del 5 de marzo de 2015 y perfiles térmicos de El Prat de Llobregat del 19 de febrero y el 5 de marzo de 2015.



Otro claro ejemplo de la influencia que tienen los cursos fluviales ocurre en Sant Boi de Llobregat, donde la temperatura mínima se da al final del transecto recorrido, coincidente con una zona residencial de baja densidad cerca del curso de la riera de Can Pinyol, donde en apenas unos centenares de metros la temperatura disminuye varios grados centígrados. También cabe destacar en este municipio, el efecto refrescante del parque de la Muntanyeta.

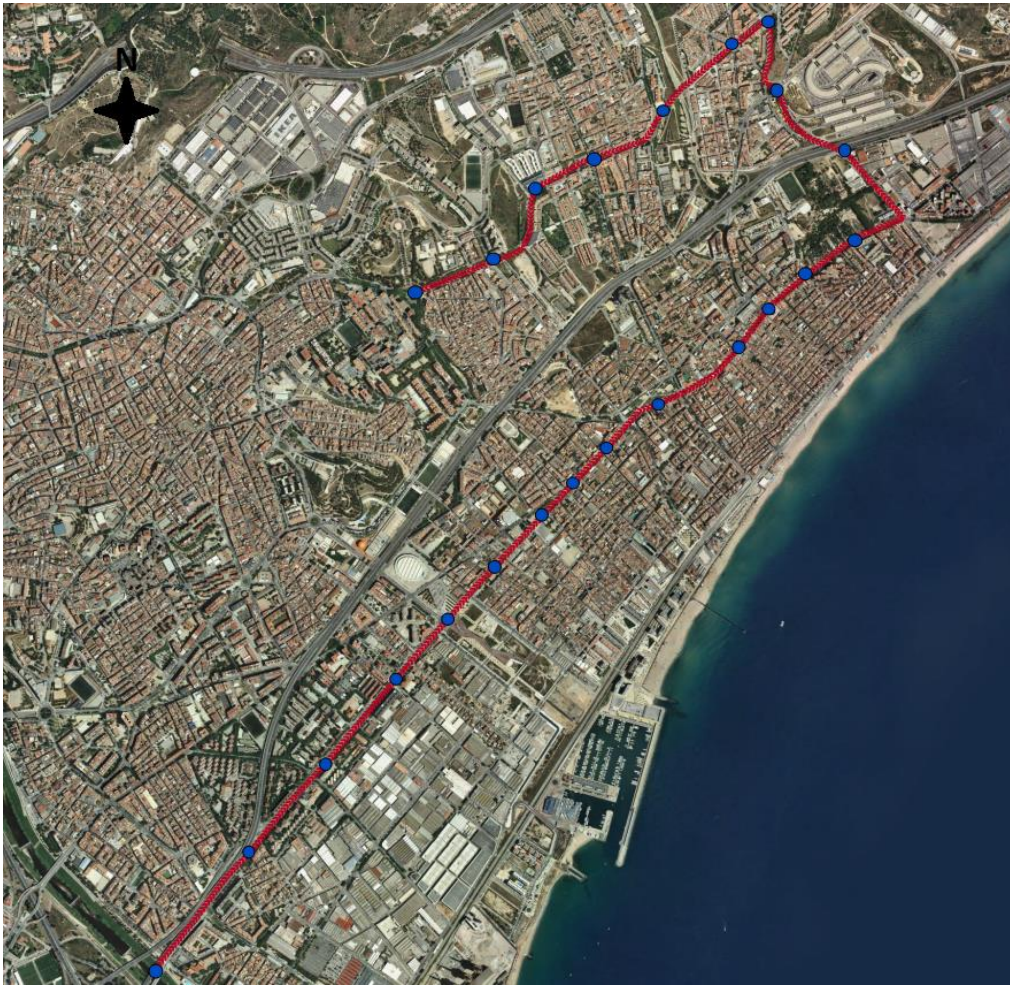
Figuras 2.21, 2.22, 2.23 y 2.24: Transecto térmico de Sant Boi de Llobregat (sobre imagen de Google Earth), mapas de isotermas y perfiles térmicos del 17 de febrero y el 13 de marzo de 2015.

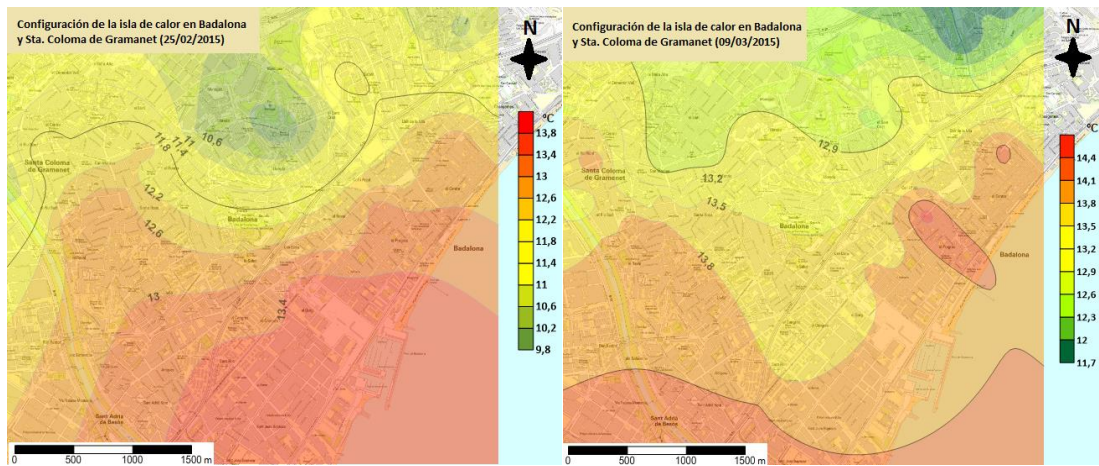




En núcleos urbanos muy cercanos, conurbados, las respectivas islas de calor pueden entrar en coalescencia y unirse para crear una meseta extensa de temperaturas relativamente elevadas, tal como ocurre en el caso de las ciudades de Badalona y Santa Coloma de Gramenet. Tan solo los distintos parques urbanos de Badalona, especialmente el de Montigalà, reducen los valores térmicos, así como el parque fluvial del río Besòs y el propio cauce.

Figuras 2.25, 2.26, 2.27 y 2.28: Transectos térmicos de Badalona y Santa Coloma de Gramenet (sobre imágenes de Google Earth) y mapas de isotermas de Badalona y Santa Coloma de Gramenet del 25 de febrero y el 9 de marzo de 2015.

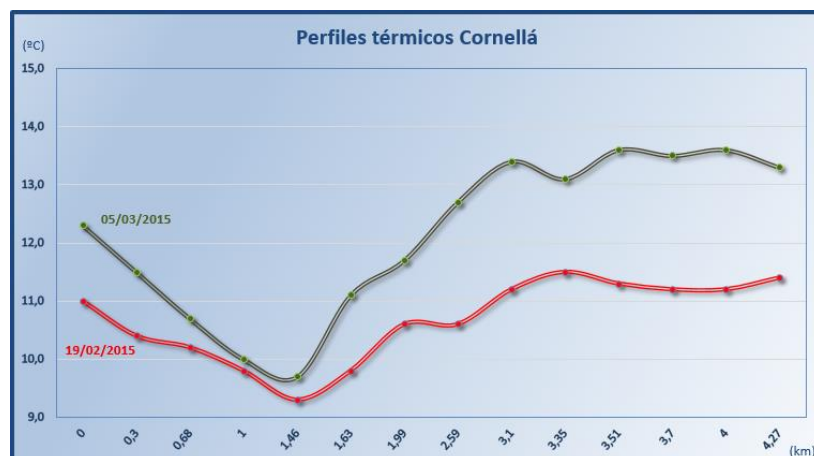
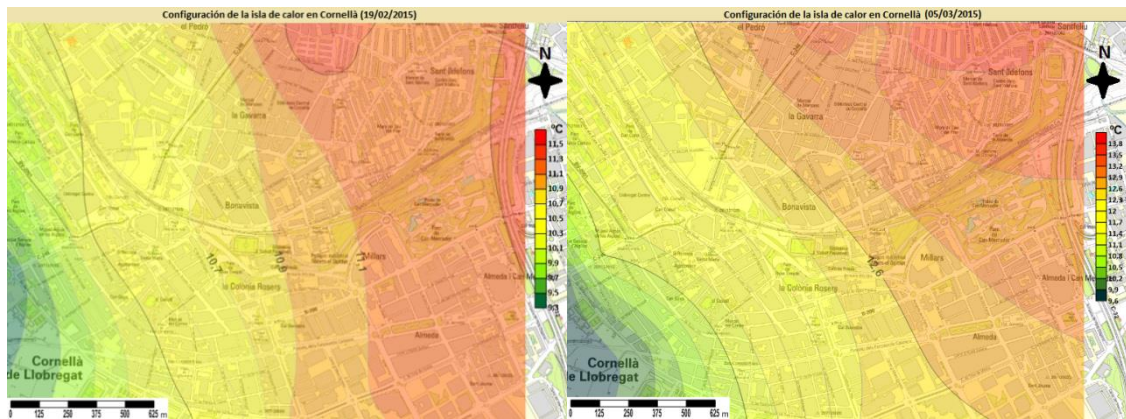




En otros casos, interaccionan dos elementos distintos, el curso fluvial de un río como el Llobregat con un parque urbano como el del Parc de les Aigües, en Cornellà de Llobregat, lo que produce un claro efecto de temperaturas bajas en esa parte de la ciudad.

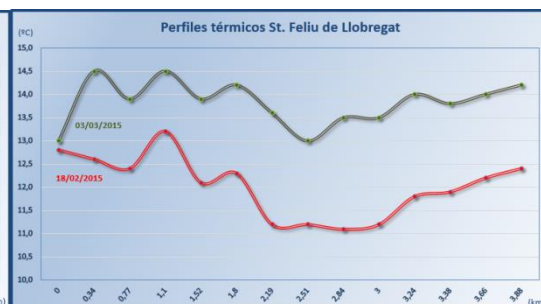
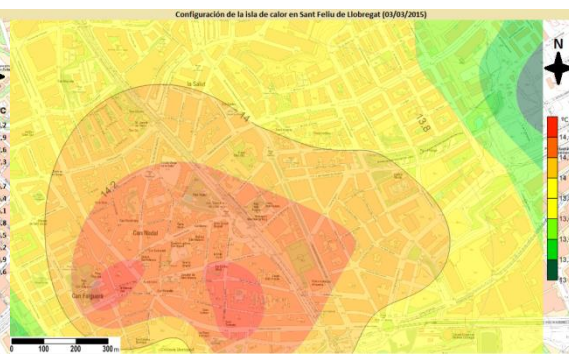
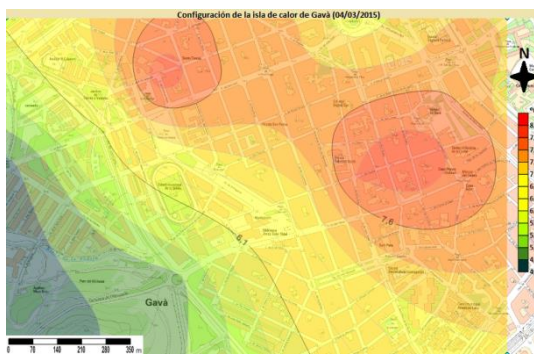
Figuras 2.29, 2.30, 2.31 y 2.32: Transecto térmico de Cornellà de Llobregat (sobre imagen de Google Earth), mapas de isotermas y perfiles térmicos del 19 de febrero y el 5 de marzo de 2015.





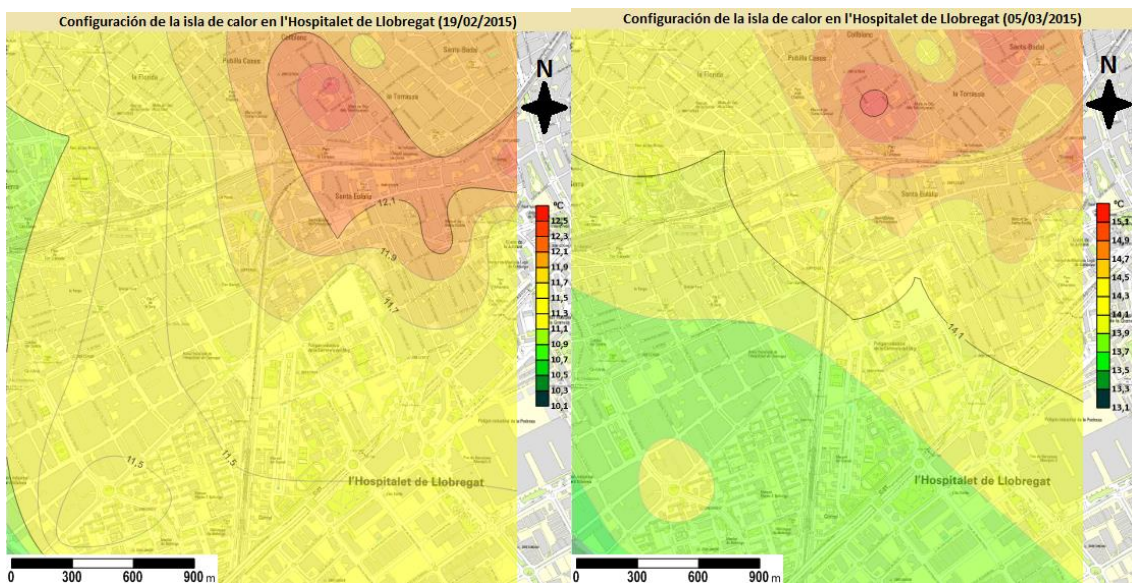
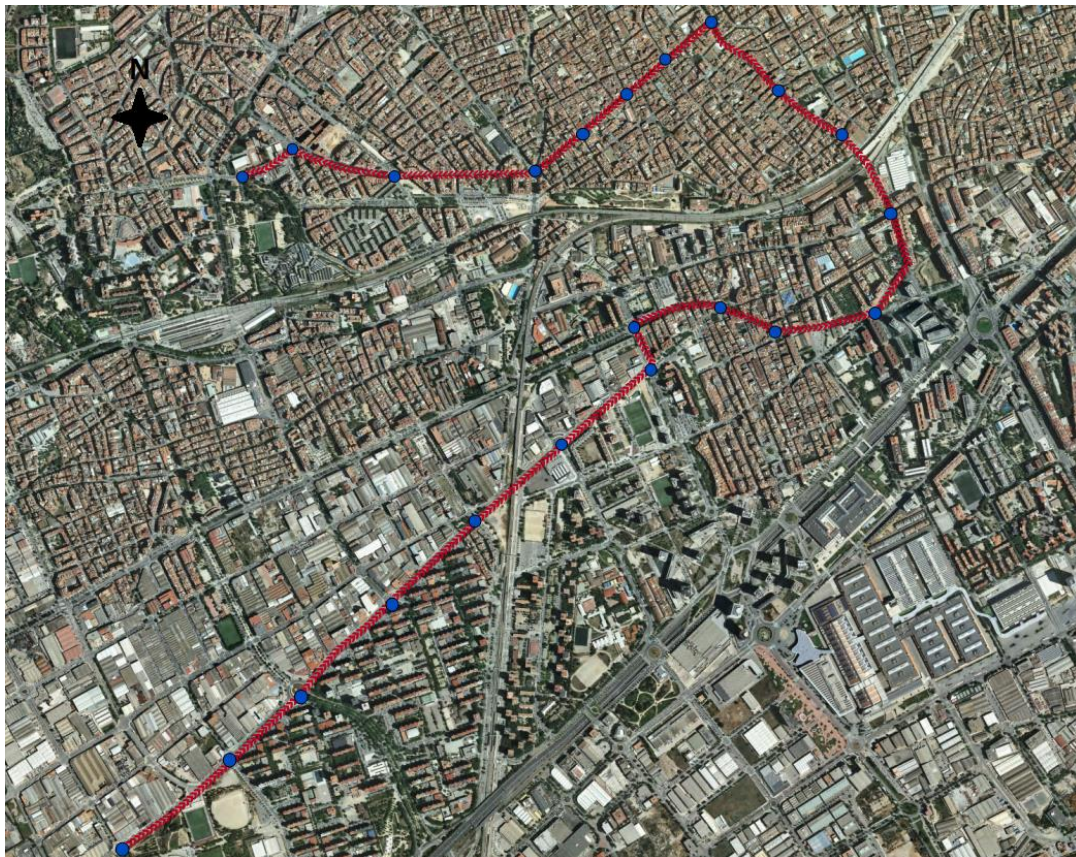
La configuración de las islas de calor de las ciudades del Área Metropolitana de Barcelona ofrece muchas variantes, dependiendo de la morfología, el plano urbano y las condiciones meteorológicas de cada noche, aunque la mayoría tienen un núcleo central con temperaturas más elevadas. Sin embargo, a veces, presentan una meseta o dos núcleos, como en los casos analizados de Gavà y Sant Feliu de Llobregat.

Figuras 2.33, 2.34, 2.35, 2.36, 2.37 y 2.38: Transectos de Gavà y Sant Feliu de Llobregat (sobre imágenes de Google Earth), mapas de isotermas de Gavà del 4 de marzo de 2015 y de Sant Feliu de Llobregat del 3 de marzo de 2015, y perfiles térmicos de Gavà del 17 de febrero y el 4 de marzo y de Sant Feliu de Llobregat del 18 de febrero y el 3 de marzo de 2015.



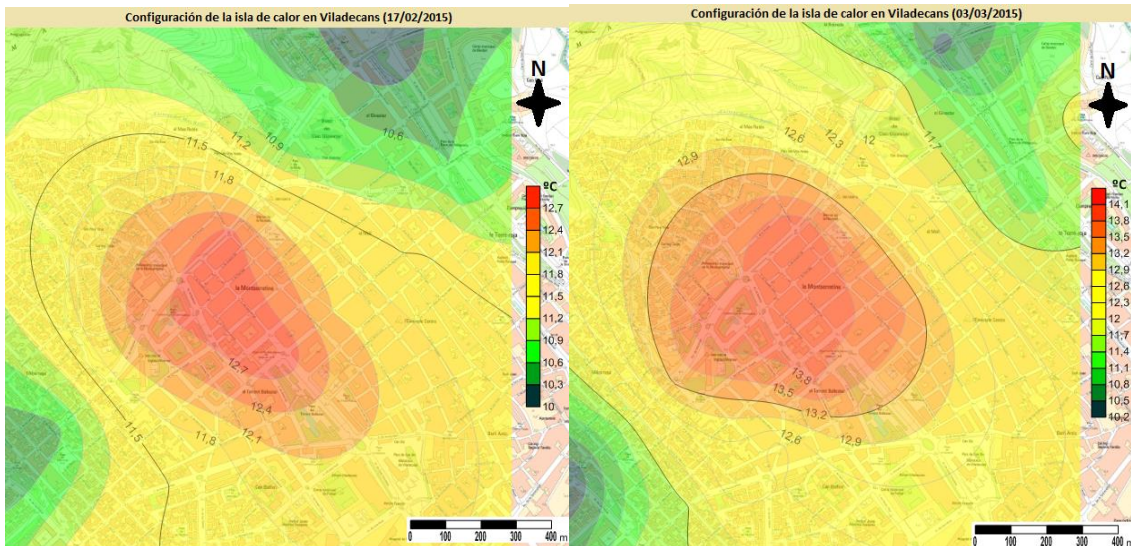
Una variable a tener muy en cuenta en la localización del núcleo o sector más cálido de la ciudad es la densidad de población. Un claro ejemplo lo ofrece l'Hospitalet de Llobregat, donde la máxima temperatura se da en los barrios con mayor densidad de población, en la Torrassa (58.489 hab/km²), y la mínima en zonas cercanas al barrio del Gornal (16.396 hab/km²).

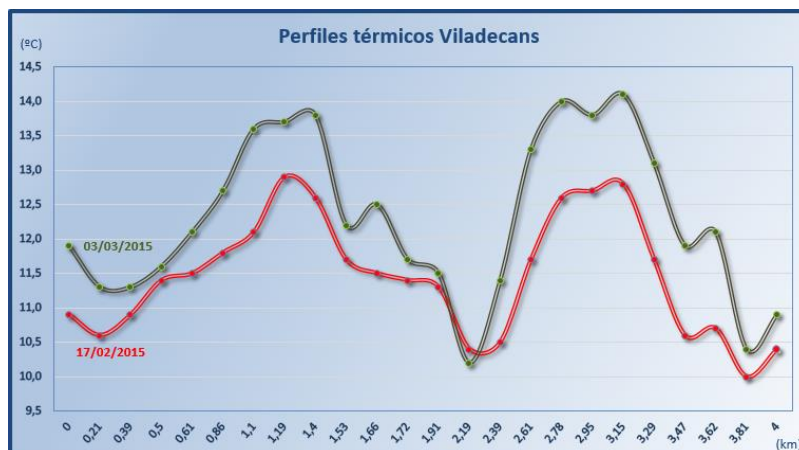
Figuras 2.39, 2.40 y 2.41: Mapas de isotermas de l'Hospitalet de Llobregat del 19 de febrero y el 5 de marzo de 2015.



Finalmente, la isla de calor de Viladecans es modélica en cuanto a su configuración concéntrica y con un perfil térmico en pico, y la influencia refrescante de la riera de Salom. El doble pico del perfil se debe al doble paso por la parte central de la población.

Figuras 2.42, 2.43, 2.44 y 2.45: Transecto térmico de Viladecans (sobre imagen de Google Earth) y mapas de isotermas y perfiles térmicos del 17 de febrero y el 3 de marzo de 2015.

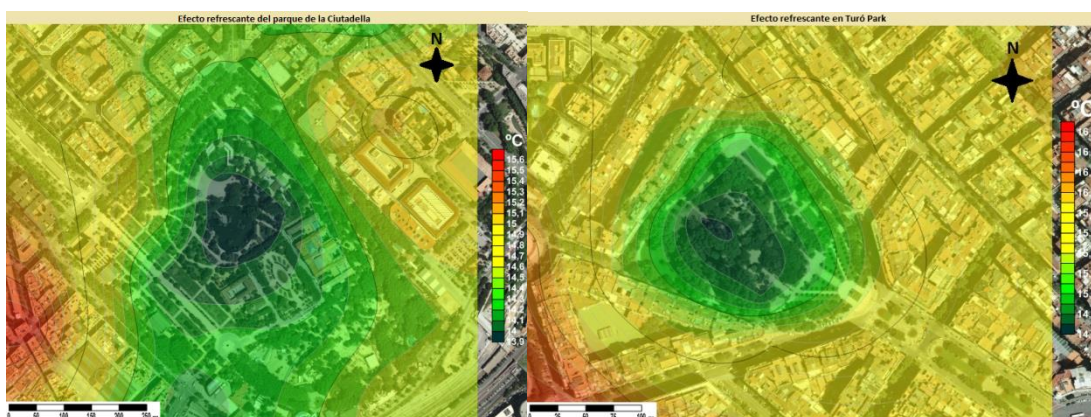




2.12. El efecto de los parques urbanos de Barcelona.

Los parques urbanos ofrecen un efecto refrescante dentro del dominio de la isla de calor de las grandes ciudades. Para el presente proyecto, en Barcelona se han tomado a pie medidas de temperatura en dos parques, El Turó Park y el Parc de la Ciutadella, en dos noches con condiciones meteorológicas favorables para la existencia de isla de calor. En los dos casos se observa claramente dicho efecto. En el caso de Turó Park, la tarde del 10 de marzo de 2015, a las 19:35 (UTC), en apenas poco más de 100 metros la temperatura disminuyó aproximadamente 2°C. En el Parc de la Ciutadella, la noche del 18 de marzo de 2015, a las 21:05 (UTC), la disminución de la temperatura fue también próxima a los 2°C en apenas unos centenares de metros. En ambos casos el punto más frío se encontró en el sector central del parque, en las proximidades del estanque. En las figuras 2.46 y 2.47 se aprecia que la configuración de estas islas de frescor es concéntrica en los dos casos, con disminución de la temperatura desde la parte exterior urbanizada a los puntos más interiores de los parques.

Figuras 2.46 y 2.47: Mapas de isotermas del Parc de la Ciutadella (izquierda) y del Turó Park (derecha), y sus proximidades.



PARTE 3

LA INTENSIDAD DE LA ISLA DE CALOR DEL ÁREA METROPOLITANA DE BARCELONA SEGÚN LA SITUACIÓN SINÓPTICA

La importancia del estudio de la relación entre la intensidad de la isla de calor en el Área Metropolitana de Barcelona y la situación sinóptica es doble. Por una parte, se indaga científicamente en la causa atmosférica de las diferencias térmicas entre el núcleo del conjunto urbano y su espacio periférico y, por otra, desde un punto de vista aplicado, ha de permitir establecer predicciones sobre la intensidad de la isla de calor en la AMB a partir de la predicción meteorológica diaria. Ha de indicarse que por situación sinóptica con respecto a un espacio amplio, como puede ser la Península Ibérica, se entiende un patrón típico de isobaras, es decir, un mapa del tiempo característico, que causa determinados estados del tiempo meteorológico. Las isobaras son las líneas básicas de los mapas del tiempo, que unen puntos con la misma presión atmosférica una vez transformada al nivel del mar.

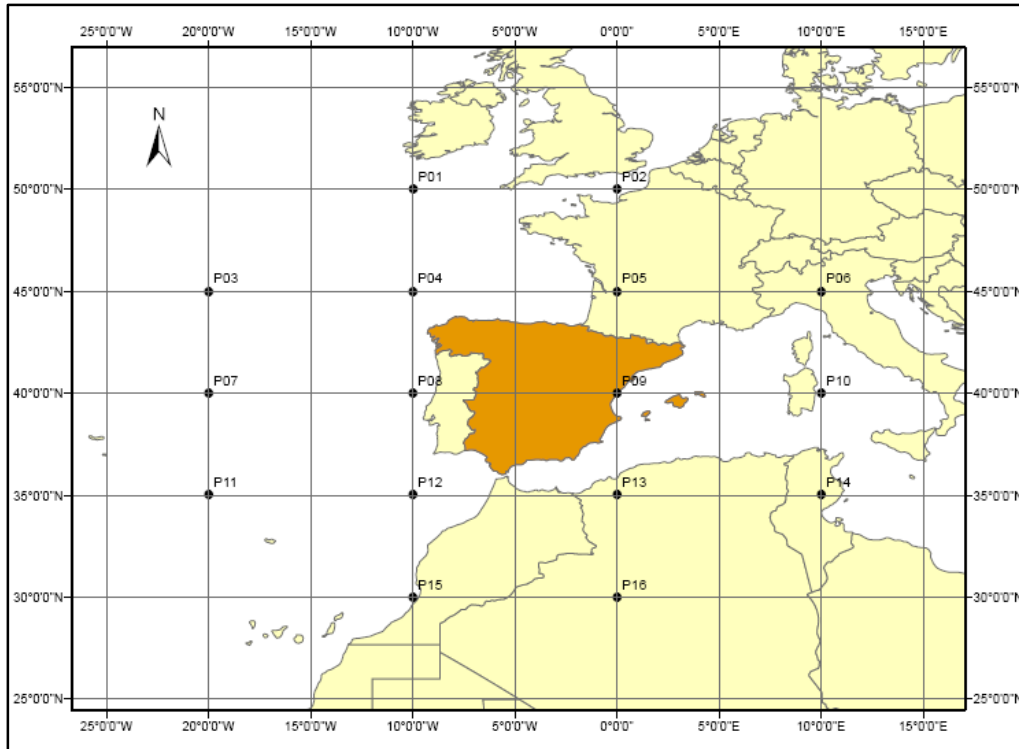
Los pasos metodológicos seguidos para este estudio han sido los siguientes:

- 1) Elección de la clasificación objetiva de Jenkinson y Collison (1977)(ver Anexo) y aplicación de la misma para clasificar sinópticamente los días del período 2004-2010, en total 2.286 fechas con datos térmicos disponibles y validados en las estaciones meteorológicas automáticas de AEMet de Barcelona (Vila Olímpica) y del aeropuerto de Barcelona.
- 2) Cálculo de las diferencias entre las temperaturas mínimas de las 2.286 fechas de las dos estaciones meteorológicas citadas.
- 3) Cálculo de la diferencia media entre las temperaturas mínimas de las dos estaciones citadas para las fechas con cada uno de los 27 tipos sinópticos de Jenkinson y Collison.
- 4) Establecimiento de umbrales para la definición de los tipos sinópticos de Jenkinson y Collison que mitigan y potencian, respectivamente, la intensidad de la isla de calor en la AMB.

La clasificación de Jenkinson y Collison es una clasificación de situaciones sinópticas (*weather types*) objetiva o automática, cuyos tipos se obtienen siguiendo un algoritmo compuesto por unas reglas definidas, de modo que no interviene la subjetividad del operador, siendo así sus resultados reproducibles y transferibles. La clasificación de Jenkinson y Collison contiene 27 tipos obtenidos a partir de la presión atmosférica en

superficie en un retículo de 9, 16 o más puntos que englobe el área objeto de estudio. En nuestro caso, se ha usado el retículo octogonal de 16 puntos con puntos extremos en los paralelos 30ºN y 50ºN y en los meridianos 20ºW y 10ºE utilizado en Meseguer (2015)(figura 3.1).

Figura 3.1: Retículo octogonal de 16 puntos usado para la clasificación sinóptica de Jenkinson y Collison (Meseguer, 2015).



La descripción básica de los 27 tipos de Jenkinson y Collison se resume en la tabla 3.1. Los correspondientes modelos isobáricos se representan en la figura 3.2

Tabla 3.1: Descripción básica de los tipos de Jenkinson y Collison.

N, NE, E, SE, S, SW, W y NW: Advecciones puras del N, NE, E, SE, S, SW, W y NW, respectivamente, constituidas por un haz de isobaras dispuestas rectilíneamente sobre la Península Ibérica marcando flujos de viento de las citadas direcciones.

AN, ANE, AE, ASE, AS, ASW, AW y ANW: Advecciones mixtas de carácter anticiclónico del N, NE, E, SE, S, SW, W y NW, respectivamente, constituidas por isobaras con curvatura anticiclónica sobre la Península Ibérica marcando flujos de viento de las citadas direcciones.

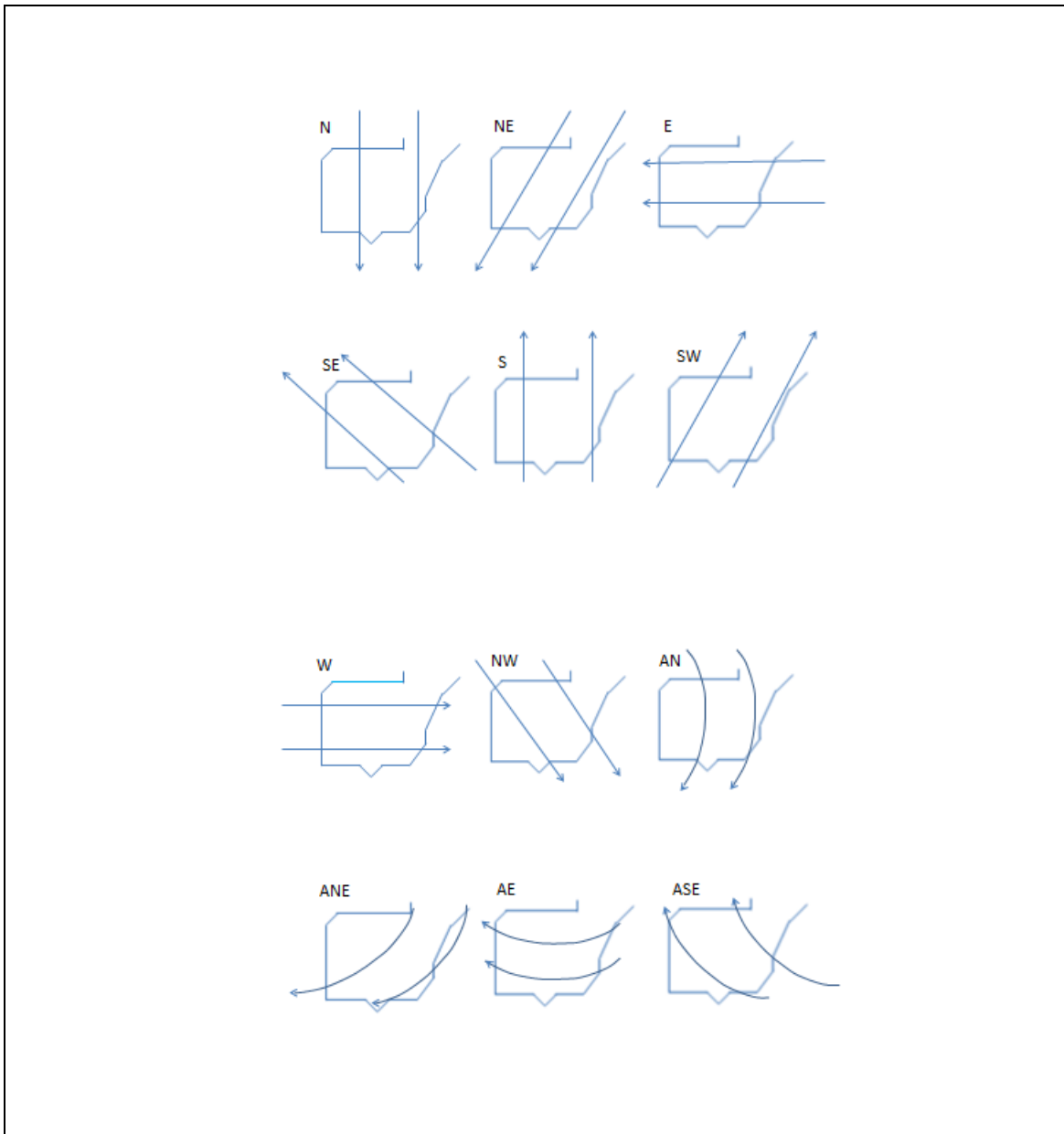
CN, CNE, CE, CSE, CS, CSW, CW y CNW: Advecciones mixtas de carácter ciclónico del N, NE, E, SE, S, SW, W y NW, respectivamente, constituidas por isobaras con curvatura ciclónica sobre la Península Ibérica marcando flujos de viento de las citadas direcciones.

A: Anticiclón centrado sobre la Península Ibérica.

C: Depresión o borrasca centrada sobre la Península Ibérica.

U: Campo de presión en superficie poco definido, sin apenas gradiente bórico, caracterizado por la ausencia de isobaras o la presencia de algunas laxas.

Figura 3.2: Configuración isobárica básica de los 27 tipos sinópticos de Jenkinson y Collison sobre la Península Ibérica. (Las flechas representan isobaras).



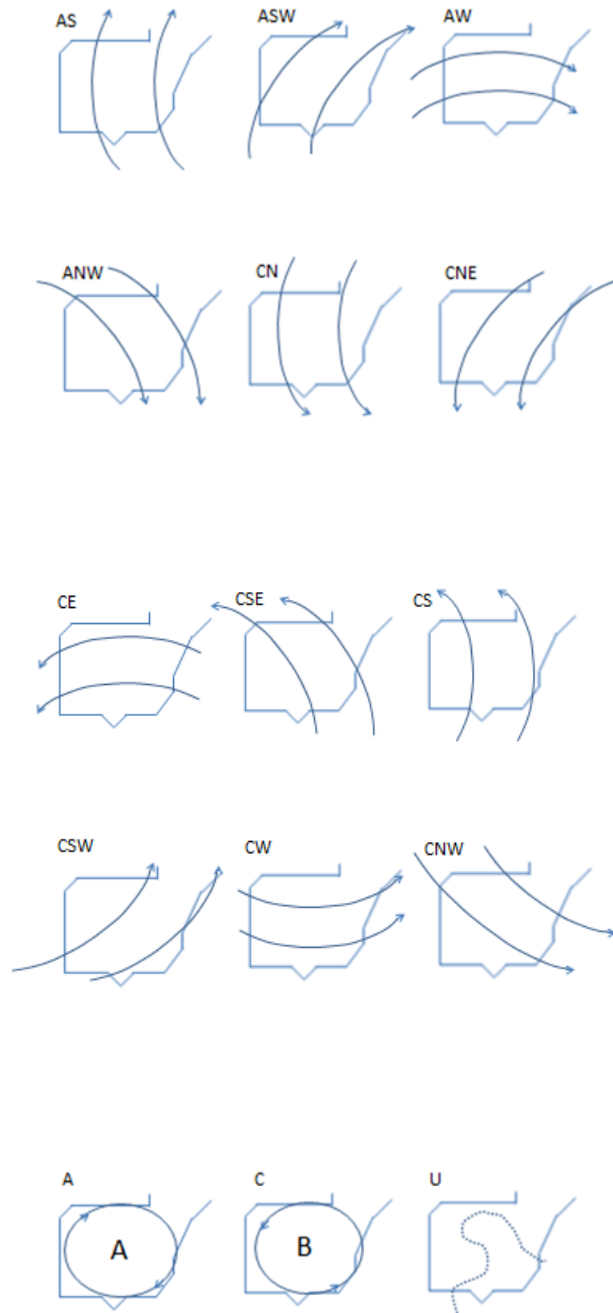


Tabla 3.2: Diferencia media entre las temperaturas mínimas de Barcelona-Vila Olímpica y el aeropuerto de Barcelona según los tipos sinópticos de Jenkinson y Collison, en el período 2004-2010.

<i>J&C</i>	<i>Nº</i>	<i>%</i>	<i>Dif. Media Mínimas BCN-V.Olímp. y el aeropuerto</i>
N (Adveectivo del N)	84	3,7	1,6
NE (Adveectivo del NE)	97	4,2	1,4
E (Adveectivo del E)	249	10,9	1,5
SE (Adveectivo del SE)	120	5,2	2,0
S (Adveectivo del S)	45	2,0	1,9
SW (Adveectivo del SW)	81	3,5	2,1
W (Adveectivo del W)	98	4,3	2,2
NW (Adveectivo del NW)	95	4,2	1,7
AN (Anticiclónico de N)	23	1,0	1,7
ANE (Anticiclónico de NE)	28	1,2	2,1
AE (Anticiclónico de E)	61	2,7	2,2
ASE (Anticiclónico de SE)	37	1,6	2,2
AS (Anticiclónico de S)	23	1,0	2,2
ASW (Anticiclónico de SW)	21	0,9	2,7
AW (Anticiclónico de W)	29	1,3	2,0
ANW (Anticiclónico de NW)	35	1,5	2,2
CN (Ciclónico del N)	28	1,2	1,1
CNE (Ciclónico del NE)	42	1,8	1,0
CE (Ciclónico del E)	57	2,5	1,3
CSE (Ciclónico del SE)	27	1,2	1,5
CS (Ciclónico del S)	9	0,4	2,3
CSW (Ciclónico del SW)	20	0,9	1,9
CW (Ciclónico del W)	38	1,7	2,5
CNW (Ciclónico del NW)	38	1,7	1,5
A (Anticiclón)	444	19,4	1,9
C (Depresión)	282	12,3	1,3
U (Indeterminado)	175	7,7	1,3
Total	2286	100	

Los principales resultados obtenidos son (tabla 3.2):

- 1) La intensidad de la isla de calor de la AMB es sensible a la situación sinóptica, de manera que la predicción meteorológica ayuda en la previsión de la intensidad de la misma en una noche particular.
- 2) Todos los tipos sinópticos dan diferencias térmicas medias positivas entre las temperaturas mínimas de la ciudad y su periferia, lo que refleja la alta frecuencia y la notable intensidad de la isla de calor barcelonesa.
- 3) Los valores extremos de las diferencias térmicas medias van desde 1,0°C para el tipo ciclónico del nordeste (CNE) hasta 2,7°C para el anticiclónico del suroeste (ASW), lo que supone un rango apreciable teniendo en cuenta que se trata de promedios. Este resultado recalca el interés del análisis sinóptico efectuado, al estar la intensidad de la isla de calor barcelonesa nítidamente influida por el tipo sinóptico, o, más sencillamente, por el mapa del tiempo.
- 4) En general, los tipos sinópticos que potencian la isla de calor son los advectivos del tercer cuadrante y los anticiclónicos mixtos, estos últimos asociados, a menudo, a condiciones de estabilidad atmosférica.
- 5) En general, los tipos sinópticos que producen islas de calor débiles o impiden el fenómeno son el tipo ciclónico puro, el indeterminado, el advectivo del nordeste y los ciclónicos del primer cuadrante, la mayoría de ellos asociados a condiciones de inestabilidad atmosférica o atmósferas neutras.

Anexo: La clasificación objetiva de Jenkinson y Collison

La clasificación de Jenkinson y Collison se basa en 7 variables deducidas exclusivamente a partir de la presión atmosférica en superficie. Estas variables son:

W, componente zonal del viento (superficial) geostrófico, calculada como gradiente de presión, por ejemplo, entre 35° y 45°N para la Península Ibérica;

S, componente meridiana del viento (superficial) geostrófico, calculada como gradiente de presión, por ejemplo, entre 0° y 10°W para la Península Ibérica;

D, dirección del viento (° azimut);

F, velocidad del viento (m/s);

ZW, componente zonal de la vorticidad;

ZS, componente meridiana de la vorticidad;

Z, vorticidad total.

Para la cuenca del Mediterráneo occidental, donde se encuadra la AMB, puede usarse el retículo octogonal de 16 puntos, P01, P02, P03,...,P16 de la figura 1, cuyos puntos son intersecciones de los paralelos 30°, 35°, 40°, 45° y 50°N con los meridianos 10°E, 0°, 10°W y 20°W, exceptuando los vértices del retículo. Conociendo la presión atmosférica en superficie en los 16 puntos, sean, usando la misma notación, P01, P02, P03,...,P16, se hallan los valores de las 7 variables. Las expresiones empleadas para su cálculo son las de la tabla 3.3.

Tabla 3.3: Expresiones analíticas para la Península Ibérica de las variables del método de Jenkinson y Collison con el retículo de 16 puntos de la figura 3.1 (Meseguer, 2015).

$$W = 0,5(P_{12}+P_{13})-0,5(P_4+P_5)$$

$$S = 1,3052[0,25(P_5+2P_9+P_{13})-0,25(P_4+2P_8+P_{12})]$$

$$D = \arctg (W/S)$$

$$F = (W^2+S^2)^{1/2}$$

$$ZW = 1,1207[0,5(P_{15}+P_{16})-0,5(P_8+P_9)]-0,909[0,5(P_8+P_9)-0,5(P_1+P_2)]$$

$$ZS = 0,852[0,25(P_6+2P_{10}+P_{14})-0,25(P_5+2P_9+P_{13})-0,25(P_4+2P_8+P_{12})+0,25(P_3+2P_7+P_{11})]$$

$$Z = ZW + ZS$$

A partir de los valores de estas 7 variables se aplican las 5 reglas del método de Jenkinson y Collison siguientes:

- 1) La dirección del flujo viene dada por D (se usa una rosa de vientos de 8 rumbos y se tiene en cuenta el signo de W y de S).
- 2) Si $|Z| < F$, existe un tipo advectivo o direccional puro, definido según la regla 1 (N, NE, E, SE, S, SW, W y NW).
- 3) Si $|Z| > 2F$, existe un tipo ciclónico (C), si $Z > 0$, o anticiclónico (A), si $Z < 0$.

- 4) Si $F < |Z| < 2F$, existe un tipo híbrido, según el signo de Z (regla 3) y la dirección del flujo (regla 1) (CN, CNE, CE, CSE, CS, CSW, CW, CNW, AN, ANE, AE, ASE, AS, ASW, AW y ANW).
- 5) Si $F < 4,8$ y $|Z| < 4,2$, existe un tipo indeterminado (U).

De este modo se obtienen 27 tipos diferentes.

PARTE 4

EL FACTOR DE VISIÓN DEL CIELO (SVF, *SKY VIEW FACTOR*) EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BARCELONA

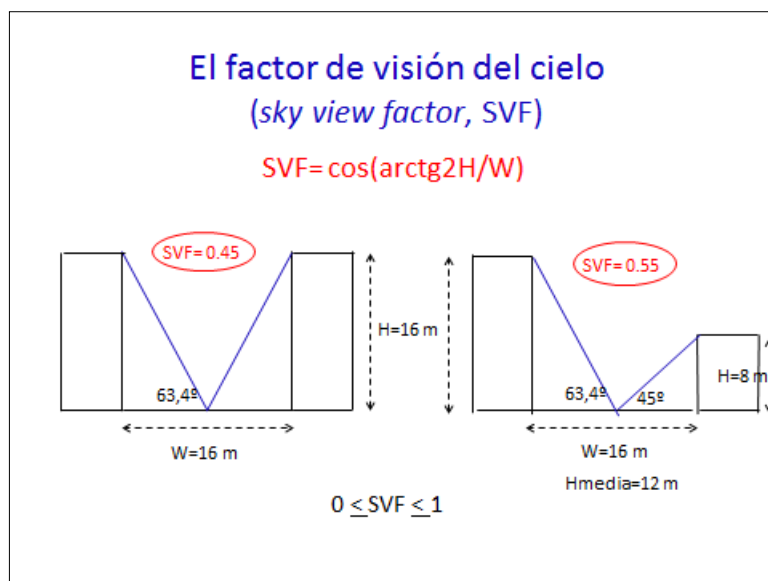
Entre las 7 causas que generan las islas de calor, la reducción del factor de visión del cielo, o SVF (*sky view factor*), en las áreas urbanas es una de ellas. El SVF se define básicamente como el porcentaje de cielo visible desde una determinada superficie, como son las calzadas de las calles, los tejados de los edificios, el campo o cualquier otro espacio natural o artificial, respecto al máximo posible en condiciones de terreno totalmente plano y sin obstáculos naturales o artificiales sobre el plano del horizonte. Es evidente que los cañones urbanos y, en general, la topografía urbana reduce el SVF de las calles y las vías urbanas, medido desde las calzadas y las aceras. De este modo, la emisión de radiación de onda larga desde ellas hacia la atmósfera y el cielo se ve obstaculizada por las fachadas y los tejados de los edificios, con lo que se reduce el enfriamiento nocturno de las calles y avenidas.

Los valores del SVF, que varían entre 0 (cielo no visible por causa de obstáculos que impiden su visión) y 100% (cielo visible en toda su extensión, por no haber obstáculos sobre el horizonte), o, en tantos por uno, entre 0 y 1, pueden hallarse, aproximadamente, mediante relaciones trigonométricas. Así, la expresión:

$$SVF = \cos(\arctg 2H/W)$$

siendo H la altura media de los edificios del cañón urbano y W la anchura de la calle que conforman (figura 4.1), permite un cálculo sencillo del factor de visión del cielo.

Figura 4.1: Cálculo trigonométrico del SVF en función de la altura media de los edificios y de la anchura de la calle.



Existen otras expresiones trigonométricas suponiendo que el cielo visible en su máxima extensión es una semiesfera sobre el lugar de estudio.

Un procedimiento diferente, en un principio más preciso, para el cálculo del SVF es el que usa imágenes contracentrales tomadas con cámara dotada con un objetivo de ojo de pez, sobre las cuales se realiza una planimetría que provee la superficie de cielo visible y la total del círculo completo de la imagen. El cociente entre ambas superficies es el valor del SVF.

Para el presente proyecto, y en colaboración con Barcelona Regional, se realizó una campaña de captación de imágenes con cámara con ojo de pez en lugares seleccionados de la ciudad de Barcelona, sobre las cuales se realizaron las correspondientes planimetrías. En la tabla 4.1 se detallan las imágenes captadas al efecto.

Tabla 4.1: Localización en Barcelona de las imágenes captadas con cámara de ojo de pez para el cálculo y el calibrado del SVF.

- Imagen 1: Gran Vía (lado mar, entre Muntaner y Casanovas, bajo árboles, con poco follaje).
- Imagen 2: Plaza del MACBA (en el sector central próximo a Montalegre).
- Imagen 3: Calle Tallers (centro calle, cerca de Valldonzella)
- Imagen 4: Calle Pelai (lado montaña, cerca de Balmes)
- Imagen 5: Plaza dentro del CCCB (centro plaza).
- Imagen 6: Plaza de la Catedral (en la parte entrante a la puerta de la catedral, muy cerca del límite con la avenida de la Catedral).
- Imagen 7: Calle Petritxol (en el centro, a un 40% de su longitud contando desde Portaferrissa).

Imagen 8: Plaza Sant Josep Oriol (en el centro, junto a la estatua).

Imagen 9: Plaza Catalunya (en el vértice central que apunta a la Rambla).

Imagen 10: Portal de l'Àngel (en el centro, en línea con el límite mar de El Corte Inglés).

Imagen 11: Paseo de Gràcia (en el centro de la acera del lado Besòs, entre Casp y Gran Via, a un 40% del tramo contando desde Gran Via).

En las figuras 4.2 a 4.12 se presentan las 11 imágenes con cámara con ojo de pez captadas en los puntos seleccionados.

Figura 4.2: Imagen 1.



Figura 4.3: Imagen 2.



Figura 4.4: Imagen 3.



Figura 4.5: Imagen 4.



Figura 4.6: Imagen 5.



Figura 4.7: Imagen 6.



Figura 4.8: Imagen 7.



Figura 4.9: Imagen 8.



Figura 4.10: Imagen 9.



Figura 4.11: Imagen 10



Figura 4.12: Imagen 11.



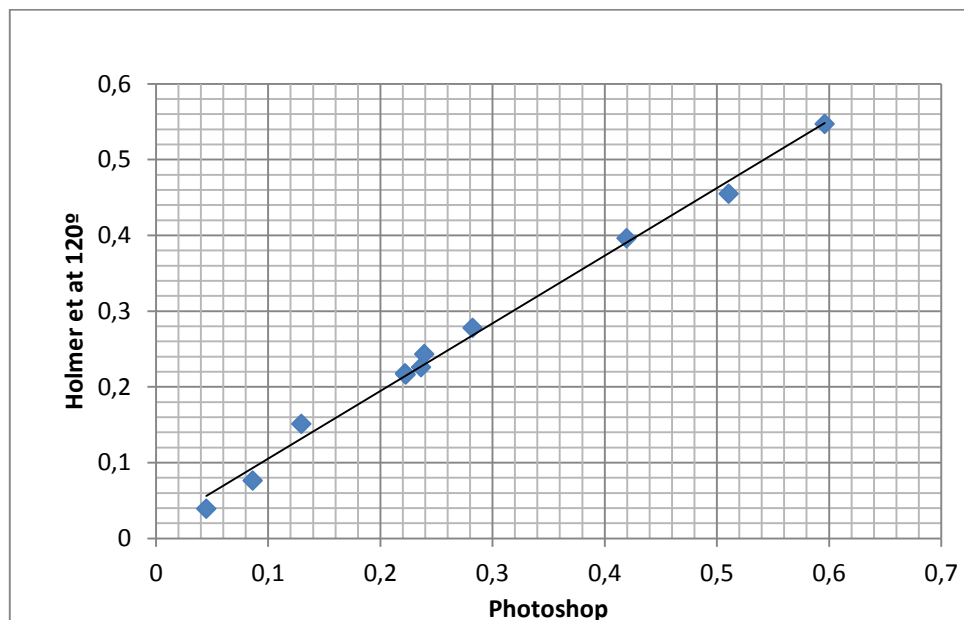
Las planimetrías de las imágenes anteriores se han realizado manualmente y mediante una opción de Photoshop, con resultados similares. Los valores obtenidos se presentan en la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Valores del SVF mediante planimetría de las imágenes seleccionadas.

Imagen	Localización	SVF
1	Gran Via	28,22%
2	pl. MACBA	51,05%
3	c. Tallers	8,61%
4	c. Pelai	23,62%
5	pl. CCCB	22,20%
6	pl. Catedral	41,95%
7	c. Petritxol	4,49%
8	pl. St.Josep Oriol	12,96%
9	pl. Catalunya	59,61%
10	Portal de l'Àngel	22,26%
11	Paseo de Gràcia	23,90%

Estos valores son muy parecidos a los hallados aplicando el método de Holmer *et al.* (2001) para un ángulo de 120°. El coeficiente de correlación de Pearson entre los valores de la planimetría y los del método de Holmer es de 0,997, significativo estadísticamente (p -valor<0,000)(figura 4.13).

Figura 4.13: Correlación entre los valores del SVF obtenidos mediante planimetría y según el método de Holmer *et al* (2001).



Un tercer procedimiento disponible para el cálculo del SVF es el uso y tratamiento de los datos LiDAR de España descargables desde el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), con las siguientes especificaciones técnicas: Resolución 1 m, Malla LiDAR 2kmx2km, Leyenda básica, blanco, SVF 1 (100%), negro SVF 0 (0%).

Finalmente, el procedimiento empleado para cubrir toda el Área Metropolitana de Barcelona ha sido el que permite ArcGIS, una vez calibrados parcialmente los valores del SVF que suministra con los hallados mediante planimetría. De forma resumida, se utilizaron las herramientas y se realizaron las operaciones que se describen a continuación, llevadas a cabo por Barcelona Regional.

Para el cálculo de SVF se han utilizado distintas herramientas de tres SIGs: SAGA GIS, QGIS y ArcGIS. La parte principal del cálculo se efectuó en QGIS usando los plugins de SAGA GIS. La herramienta SVF de SAGA usa los algoritmos propuestos por Boehner y Antonic (2009) en *Land-Surface Parameters Specific to Topo-Climatology*.

Figura 4.14: Extracto del algoritmo de Boehner y Antonic (2009) de la herramienta SVF de SAGA.

$$\psi_S = \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_0^{2\pi} [\cos \beta \cdot \cos^2 \varphi + \sin \beta \cdot \cos(\Phi - \alpha) \cdot (90 - \varphi - \sin \varphi \cdot \cos \varphi)] d\Phi$$

In practice, some azimuthal step (i.e. each 30°) is usually used:

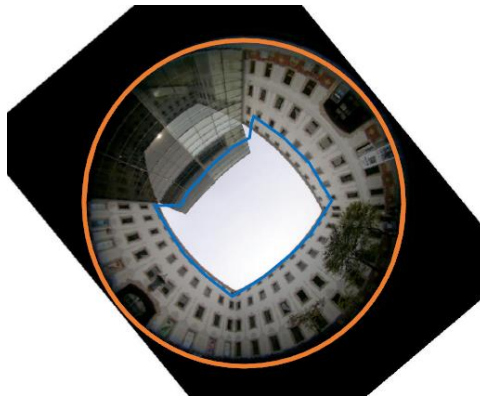
$$\psi_S = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N [\cos \beta \cdot \cos^2 \varphi_i + \sin \beta \cdot \cos(\Phi_i - \alpha) \cdot (90 - \varphi_i - \sin \varphi_i \cdot \cos \varphi_i)]$$

Como indican algunas publicaciones, las diferencias entre los resultados de distintos métodos de cálculo de SVF pueden variar mucho (Hämmerle et al. 2011), aunque suelen mostrar una buena correlación entre sí.

Por lo tanto, una vez efectuada esta primera aproximación, se procede a encontrar un modelo de calibración. Para ello y después de comparar otros métodos con los resultados de ojo de pez, se equiparan los resultados de las imágenes in situ a los resultados de los procesos de *Skyline* y *Skyline Graph* de ArcGIS.

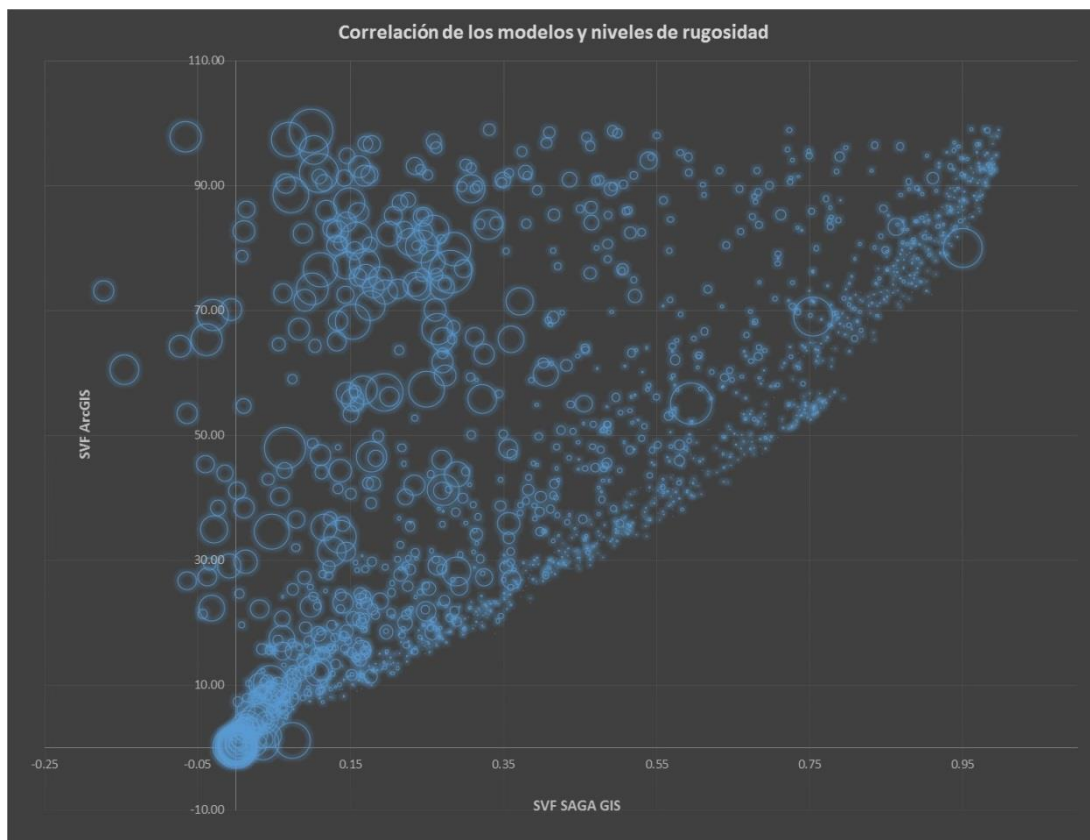
Como se ve en la figura 4.15, a modo de ejemplo, la salida grafica del *Skyline Graph* en azul es prácticamente igual a la imagen de ojo de pez. Los resultados numéricos también son muy parecidos (22,2% vs 24,0% de ArcGIS). A la vista de esto, se construye un *script* que muestrea 2.000 puntos aleatorios y hace el cálculo *Skyline* + *Skyline Graph* escribiendo los resultados en un CSV.

Figura 4.15: Ejemplo de la salida gráfica del *Skyline Graph* para el cálculo del SVF.



Sin embargo, al proceder con la correlación entre los métodos de SAGA y ArcGIS se vio que una parte de la muestra no presentaba una correlación clara. Analizando los puntos que salían del modelo predictivo, se vio que la no-correlación se producía en puntos limítrofes entre superficies, por lo que el siguiente paso fue realizar un cálculo de rugosidad con la herramienta *Curvature* de ArcGIS, para eliminar del modelo estos puntos. El proceso no presentaba inconvenientes ya que las zonas donde interesa calcular el SVF son justamente superficies llanas. En la figura 4.16 se puede observar el efecto de la curvatura en la correlación de los valores del SVF de SAGA y de ArcGIS.

Figura 4.16: Correlación entre los valores del SVF obtenidos mediante SAGA y ArcGIS.



Una vez filtrados los puntos por su grado de rugosidad, se propusieron dos modelos de regresión segregando entre valores de SVF > 0,75 y SVF ≤ 0,75, ya que presentaban comportamientos distintos.

El resultado final de la calibración se reclasificó y redimensionó para poderlo servir en un visor *web*, ya que el original era demasiado pesado (unos 40Gb), por su tamaño de píxel (0,5 m) y su precisión decimal. Así pues, el que se encuentra en el visor *web* tiene un tamaño de píxel de 1 m y 10 clases en porcentaje de SVF, lo que supuso una reducción de 20 veces en espacio y un gran aumento en dinamismo.

El visor para poder consultar en detalle los valores del SVF del Área Metropolitana de Barcelona está disponible en: <http://www.amb.cat/web/medi-ambient/sostenibilitat/mapes-del-psamb>

CONCLUSIONES GENERALES

- 1) Los observatorios de Barcelona-Vila Olímpica y del aeropuerto de Barcelona, pertenecientes a la red principal de la Agencia Estatal de Meteorología, constituyen un par de puntos urbano-no urbano que permite calcular con notable precisión la intensidad de la isla de calor de Barcelona. La intensidad media de la isla de calor estimada a partir del observatorio de Barcelona-Raval, más céntrico que el de Barcelona-Vila Olímpica, perteneciente al Servei Meteorològic de Catalunya, y del aeropuerto de Barcelona superaría en 0,2°C la hallada para el primer par de puntos.
- 2) El análisis estadístico de las 3.285 diferencias entre las temperaturas mínimas de Barcelona-Vila Olímpica y el aeropuerto de Barcelona disponibles del período 2004-2013 –muestra estadísticamente grande- da un promedio a favor de la ciudad de 1,7°C, cerca de 2°C si se hubiera utilizado el observatorio de Barcelona-Raval. En tres casos se han superado los 6,0°C, siendo la diferencia máxima 7,4°C. En más del 90% de las noches, suponiendo que las temperaturas mínimas casi siempre se registran en horario nocturno, el centro de Barcelona es más cálido que su aeropuerto. Estos valores muestran a las claras la importancia del fenómeno de la isla de calor en Barcelona y los municipios circundantes, en términos de calentamiento nocturno en el centro de la ciudad, por contraste con el espacio periurbano.
- 3) El invierno, seguido por el otoño, es la estación en que la isla de calor en Barcelona se manifiesta de forma más intensa y frecuente. Considerando frecuencia e intensidad, puede concluirse que es octubre el mes que inicia el período de las islas de calor más frecuentes e intensas, que llegaría hasta marzo. En particular, el análisis probabilístico destaca a los meses de noviembre a febrero, inclusive, como los de mayor probabilidad de ocurrencia de islas de calor intensas o muy intensas. De noviembre a febrero la probabilidad de una diferencia entre las temperaturas mínimas de los observatorios fijos analizados de más de 5°C sobrepasa el 1%, con el máximo en enero, con un 3,59%.
- 4) Los ajustes de las distribuciones empíricas de las diferencias de temperatura mínima entre los observatorios fijos de referencia mediante las distribuciones de probabilidad seleccionadas han sido satisfactorios en todos los casos, del conjunto del período, estacionales y mensuales. Para todo el período de análisis la probabilidad de ocurrencia de islas de calor intensas, con diferencias superiores a 5°C en las temperaturas mínimas a favor de la ciudad es de 1,19% (el valor empírico es 1,16%).

- 5) El método de los transectos térmicos urbanos, realizados con automóvil dotado con un termohigrómetro digital de baja inercia, unido a los perfiles térmicos, constituye un procedimiento metodológico de gran valor para la determinación de la configuración de las islas de calor del Área Metropolitana de Barcelona, así como de sus núcleos o sectores con una temperatura más elevada. Igualmente, ha posibilitado distinguir los escarpes térmicos, o franjas estrechas con elevado gradiente térmico, generalmente situados en el borde del continuo urbano.
- 6) Se diseñaron 4 transectos térmicos principales y otros 10 específicos para los municipios de Badalona, Castelldefels, Cornellà de Llobregat, El Prat de Llobregat, Gavà, Hospitalet de Llobregat, Sant Boi de Llobregat, Sant Feliu de Llobregat, Santa Coloma de Gramenet y Viladecans, con un total de 314 puntos de observación y 161,6 km. El número total de recorridos del transecto más importante, el transversal, fue de 20, realizados entre octubre de 2014 y marzo de 2015. En total, durante los recorridos se anotaron 1.283 valores de temperatura.
- 7) En el transecto transversal, establecido de Castelldefels a Montgat, con una altitud y una distancia al mar similares a lo largo de todo su recorrido, el punto más cálido es Gran Via-Plaza Universitat, lo que cabe considerar como uno de los lugares del núcleo de la isla de calor barcelonesa. La intensidad media de la isla de calor, considerada como promedio de las diferencias entre los puntos más cálido y más frío de los 20 recorridos nocturnos del transecto transversal, ha sido de 4,2°C. La mayor registrada fue 7,5°C. El perfil térmico medio muestra forma de pico, aunque en un 40% de los recorridos se observó una meseta térmica, dada la homogeneidad física del Eixample. Se verificó una correlación negativa entre la velocidad del viento y la intensidad de la isla de calor, o, lo que es lo mismo, el viento tiende a barrer la isla de calor.
- 8) A partir de los 4 transectos principales se concluye que la isla de calor barcelonesa muestra forma concéntrica o alargada y ajustada a la línea litoral, con un claro canal frío coincidente con el curso del río Besòs. Las configuraciones de las islas de calor de las otras ciudades estudiadas muestran formas variadas, acordes con la trama urbana, las características geográficas y los efectos de las ciudades limítrofes.
- 9) Se ha constatado instrumentalmente, con mediciones en dos casos, que los parques de Barcelona atenúan apreciablemente la isla de calor, creando islotes de frescor en su seno.

- 10) La intensidad de la isla de calor de la AMB es sensible a la situación sinóptica, de manera que la predicción meteorológica ayuda a la previsión de la intensidad de la misma en una noche particular. La clasificación de Jenkinson y Collison ofrece diferencias apreciables de la intensidad media de la isla de calor según sus tipos sinópticos, de modo que los valores medios van desde 1,0°C para el tipo ciclónico del nordeste (CNE), hasta 2,7°C para el anticiclónico del suroeste (ASW). Los tipos sinópticos que potencian la isla de calor son los advectivos del tercer cuadrante y los anticiclónicos mixtos, mientras que los que producen islas de calor débiles o ausencia del fenómeno son el tipo ciclónico puro, el indeterminado, el advectivo del nordeste y los ciclónicos del primer cuadrante.
- 11) La aplicación de diferentes metodologías, como las planimetrías a partir de fotografías con cámara de ojo de pez, el uso de sistemas de información geográfica, como ArcGIS, y determinados algoritmos, ha permitido hallar los valores del *sky view factor* (SVF, factor de visión del cielo) a una resolución espacial muy fina del Área Metropolitana de Barcelona. Los resultados cartográficos son consultables mediante un visor, diseñado al efecto, en la web de la AMB.

RECOMENDACIONES

- 1) La importancia climática, y en cuanto a las necesidades energéticas derivadas, de las islas de calor del Área Metropolitana de Barcelona, en especial la del municipio de Barcelona, merecen de un seguimiento técnico continuado, máxime teniendo en cuenta que sus efectos pueden incrementarse en el contexto del creciente calentamiento que define el actual cambio climático.
- 2) La notable intensidad y la elevada frecuencia de las islas de calor del Área Metropolitana de Barcelona, especialmente la de Barcelona y su entorno, obligan a considerar sus efectos ambientales y en la salud humana y animal en cualquier plan metropolitano de adaptación al cambio climático.
- 3) Es conveniente crear un banco de datos meteorológicos, especialmente de temperatura, del Área Metropolitana de Barcelona, gestionado por la Direcció de Medi Ambient de esta, con el apoyo de los entes con competencia en Meteorología en Catalunya, la Agencia Estatal de Meteorología y el Servei Meteorològic de Catalunya, así como de otras administraciones y servicios, en especial las redes de control ambiental municipales, con el objeto de profundizar en el conocimiento de las diferencias térmicas horarias y diarias en el territorio metropolitano. Tal banco de datos estaría especialmente a disposición del METROBS, para sus evaluaciones y seguimiento del cambio climático en la AMB.
- 4) En relación con el banco de datos mencionado, sería de utilidad disponer de calendarios térmicos a partir de las series de temperatura de los observatorios y estaciones meteorológicas del Área Metropolitana de Barcelona con una antigüedad de al menos 20 años. Los calendarios, a resolución diaria, mostrarán los valores medios de las temperaturas media, máxima y mínima, así como las temperaturas extremas, de cada fecha. Esto ayudará en la planificación temporal de actividades al aire libre, en la fijación de las fechas más probables de inicio y final del riego de los parques y jardines, del arranque y cierre de las calefacciones y refrigeraciones, de la floración y el aumento de pólenes en el aire, de la caída de la hoja de los caducifolios, etc.
- 5) En situaciones de ola de calor se debería cursar a los órganos y servicios competentes (Protección Civil, Ayuntamientos, etc.) una alerta por *calor nocturno excesivo* vigente durante la noche en los barrios de las ciudades del Área Metropolitana de Barcelona donde se prevean temperaturas mínimas iguales o superiores a 25°C. Tal umbral, que supera ampliamente el de 'noche tropical' (>20°C), supone un riesgo notable para la población de edad avanzada o afectada por enfermedades crónicas. La imposibilidad de un descanso nocturno reparador causa el debilitamiento del organismo de los colectivos citados, aumentando el riesgo de que padezcan crisis o empeoramiento en su

estado de salud. El cambio climático tenderá a aumentar la ocurrencia de noches con temperaturas muy altas, por lo que el establecimiento de la alerta señalada es importante. Al respecto, en el ámbito del estudio, y en general en España, solo se consideran alertas por calor basadas en los valores de las temperaturas máximas. El Área Metropolitana de Barcelona, y en particular el METROBS, debería solicitar a los órganos competentes el establecimiento de la citada alerta por exceso de calor nocturno.

- 6) Cursar desde METROBS sendas solicitudes justificadas a los dos servicios meteorológicos oficiales con competencias en Catalunya (Agencia Estatal de Meteorología y Servei Meteorològic de Catalunya) de Implementar operativamente en las áreas de predicción meteorológica los tipos sinópticos de Jenkinson y Collison para ayudar en la previsión de la intensidad de la isla de calor en la AMB, y para otros usos.
- 7) Resulta obligado considerar el fenómeno de la isla de calor de los núcleos urbanos de los municipios del Área Metropolitana de Barcelona a la hora de la planificación urbana y territorial. La distribución espacial de los usos del suelo debe contemplar el papel mitigador de la isla de calor que suponen los parques y jardines en el interior de las ciudades, así como las láminas de agua. En general, el verde urbano tiende a producir islotes de frescor, esponjando los continuos edificados, lo que reduce la intensidad de la isla de calor y su compacidad espacial. Del mismo modo, las láminas de agua y los suelos húmedos mitigan el calentamiento diurno en superficie, por lo que se dispondrá de un menor contenido de calor para desprender hacia la atmósfera de noche. Es ineludible que la ordenación del territorio y, en concreto, la planificación urbana contemplen el uso del verde urbano y, en ciertos casos, la utilización de agua como medidas de adaptación en el contexto actual del cambio climático.
- 8) La utilidad del presente estudio quedaría cortapisada sin la natural relación científica y técnica que ha de establecerse entre el equipo científico del presente proyecto y los biólogos y ecólogos que estudian el ámbito metropolitano, así como los técnicos de parques y jardines, por la interdependencia entre temperatura y vegetación. El inicio y mantenimiento de esta relación puede realizarse a través del METROBS y de los canales *ad hoc* de que disponga el Área Metropolitana de Barcelona.
- 9) De igual manera, el METROBS y las secciones competentes en urbanismo del Área Metropolitana de Barcelona han de promover un foro permanente de relación e intercambio científico, técnico y normativo entre el equipo científico del presente proyecto y los entes y comisiones competentes en urbanismo en el

ámbito metropolitano. Además, convendría realizar un *workshop* entre el equipo científico del presente proyecto y los expertos en arquitectura bioclimática, así como con técnicos municipales.

- 10) Es interesante dar a conocer a la población del Área Metropolitana de Barcelona el fenómeno de la isla de calor, que constituye la principal modificación del clima a escala local y que agrava el aumento global y regional de la temperatura. El conocimiento de las características del fenómeno, que en ciertos casos supone un riesgo para la población, ha de formar parte de la educación ambiental del ciudadano. La concreción de esta recomendación puede realizarse con conferencias y material didáctico de ámbito metropolitano y municipal, así como con exposiciones itinerantes.
- 11) Con un beneficio mutuo para el Área Metropolitana de Barcelona y para los propios ciudadanos implicados, sería interesante estudiar la posibilidad de que algunos ciudadanos colaboren con el ente metropolitano en cuanto a suministrar sistemáticamente las horas en que funcionan las calefacciones y los aparatos de aire acondicionado en sus hogares. De este modo, y dependiendo de la localización y tipo de cada hogar, podría evaluarse las necesidades de calefacción y refrigeración según los barrios de las ciudades y su relación con el campo térmico y las islas de calor.
- 12) Como es sabido, la mortalidad y la morbilidad máximas en el Área Metropolitana de Barcelona, como en general en España, ocurren en invierno, teniendo así un carácter climático o estructural. Sin embargo, eventualmente se dan también máximos de mortalidad en verano, coincidentes con olas de calor, como la muy intensa de 2003. En estos casos, las temperaturas mínimas muy altas agravan la salud y la seguridad de la población, en especial, de las personas que padecen enfermedades crónicas y las de los grupos de edad más avanzada, por la imposibilidad de disfrutar de un descanso nocturno reparador. Las islas de calor constituyen en estos casos un factor agravante en la falta de confort climático en los hogares sin aire acondicionado o con mala ventilación. Debería disponerse de un censo detallado de la existencia de aire acondicionado en las viviendas de la AMB, para realizar un análisis de su localización en relación con los núcleos de las islas de calor barcelonés y de las diferentes ciudades.
- 13) La gran magnitud de la isla de calor de Barcelona y su entorno, así como la tradición de estudios sobre ella, que se inician en la segunda mitad de los años 80 del siglo XX, y su propio peso como ciudad, confieren a la capital catalana de claras potencialidades científicas y de prestigio urbano para que coordine la realización de estudios sobre el fenómeno en las ciudades ribereñas de la cuenca

del Mediterráneo. En este sentido, el METROBS es el ente adecuado para estimular y coordinar los citados estudios, que deberían realizarse con criterios similares, de cara a su comparación. En última instancia, Barcelona podría consolidarse como centro de referencia en los estudios sobre la modificación urbana en el clima en el sur de Europa y norte de África.

- 14) Durante la realización del presente proyecto, y en colaboración con Barcelona Regional, se han abierto nuevas líneas científicas y aplicadas de interés metropolitano, en especial las de uso del *sky view factor* (factor de visión del cielo). Se recomienda explorar la viabilidad y oportunidad de realizar proyectos derivados de las nuevas líneas de investigación.

Referencias bibliográficas:

Boehner, J. y Antonic, O. (2009): Land Surface Parameters Specific to Topo-Climatology, in Hengl, T. & Reuter, H.I. [Eds.]: *Geomorphometry - Concepts, Software, Applications, Developments in Soil Science*, vol. 33, Elsevier.

Hämmerle, M.; Gál, T.; Unger, J. y Matzarakis, A. (2011): Introducing a script for calculating the sky view factor used for urban climate investigations. *Acta Climatologica et Chorologica Univ Szegediensis*, 44-45, 83-92.

Holmer, B.; Postgård, U. y Eriksson, M. (2001): Sky view factors in forest canopies calculated with IDRISI. *Theoretical and Applied Climatology*, 68, 33-40

Jenkinson, A.F. y Collison, P. (1977): An initial climatology of gales over the North Sea. *Synoptic Climatology Branch Memorandum*, 62, Bracknell, Meteorological Office, London.

Lowry, W.P. (1977): Empirical estimation of urban effects on climate: a problem analysis. *Journal of Applied Meteorology*, 16, 129–135.

Martin-Vide, J.; Sarricolea, P. y Moreno-Garcia, M. C. (2015): On the definition of urban heat island intensity: the “rural” reference. *Frontiers in Earth Science*, 3:24. doi: 10.3389/feart.2015.00024.

Memon, R.A.; Leung, D.Y.C. y Liu, C.-H. (2009): An investigation of urban heat island intensity (UHII) as an indicator of urban heating. *Atmospheric Research*, 94, 491–500. doi:10.1016/j.atmosres.2009.07.006.

Meseguer, O. (2015): *La fractalidad temporal de la precipitación en la España Peninsular y Baleares*, Universidad de Barcelona (tesis doctoral inédita).

Moreno García, M.C. (1993): *Estudio del clima urbano de Barcelona: la isla de calor*. Vilassar de Mar, Oikos-tau.

Moreno-Garcia, M.C. (1994): Intensity and form of the urban heat island In Barcelona. *International Journal of Climatology*, 14, 705–710. doi:10.1002/joc.3370140609

Agradecimientos:

A la Agencia Estatal de Meteorología por facilitar la disponibilidad de los datos de los observatorios fijos.

Al Servei Meteorològic de Catalunya por suministrar los datos del observatorio fijo complementario.

A Laura García Vellido, José María Martínez Miralles e Isabel Artola Arseguet, por la ayuda en la realización de los recorridos de los transectos térmicos urbanos.

A Óliver Meseguer por facilitar los tipos sinópticos objetivos.

A Isabel Doñate, Ana Romero, Elena Lacort y la Comissió Tècnica del METROBS por el seguimiento del proyecto.