



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior Agrária



Metodología para la Evaluación del Clima Urbano



PROGRAMA
COOPERACIÓN TRANSFRONTERIZA
ESPAÑA ~ PORTUGAL
COOPERAÇÃO TRANSFRONTEIRIÇA
2007 - 2013

Unión Europea
FEDER

Invertimos en su futuro



Ficha Técnica

METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL CLIMA URBANO

Proyecto “BIOURB”/POCTEP-UE; Socios: CMB, CIDAUT, EREN, ICCL, IPB, AT e CMM

EDICIÓN ONLINE

Instituto Politécnico de Bragança

COORDENACIÓN EDITORIAL

Artur Gonçalves (Instituto Politécnico de Bragança y Centro de Investigação da Montanha)

REDACCIÓN

Artur Gonçalves, António Castro Ribeiro, Filipe Maia e Manuel Feliciano

SUPORTE TÉCNICO

Arsénio Araújo e Miguel Vaz Pinto

ISBN

XXXX

2014

*Proyecto “**BIOURB** – Diversidad bioconstructiva transfronteriza, edificación bioclimática y su adaptación a la arquitectura y urbanismo moderno.”*

Se enmarca dentro del Programa de Cooperación Transfronteriza España - Portugal que se desarrolla con el apoyo de la UE y la cofinanciación comunitaria del FEDER y el POCTEP.

Índice

FICHA TÉCNICA	1
ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE TABLAS.....	4
0 LA EVALUACIÓN DEL CLIMA URBANO	5
1 METEOROLOGÍA URBANA	9
1.1 Selección de los locales de monitoreo	10
1.2 Particularidades da la medición de las variables climáticas en el contexto urbano.....	12
2 CARACTERIZACIÓN DEL CLIMA URBANO – MODELO DE ANÁLISIS.....	15
2.1 Monitorización	15
2.1.1 Definición de los locales de monitorización.....	15
2.1.2 Caracterización de los locales de monitoreo	16
2.2 Análisis de los datos de temperatura y humedad	17
2.2.1 Tratamiento de los datos	17
2.2.2 Evaluación de la intensidad del efecto de isla de calor.....	17
2.2.3 Construcción de mapas de isolneas	19
2.3 Análisis da Velocidad e Dirección del Viento	20
2.3.1 Construcción de gráficos de viento.....	20
2.3.2 Interpretación da dirección y velocidad do viento	21
3 DESARROLLO DE MAPAS DE CLIMA URBANO	22
3.1 Metodología General.....	22
3.1.1 Recogida de datos	23
3.1.2 Preparación	23
3.1.3 Análisis	24
3.1.4 Síntesis y formulación	25
3.1.5 Revisión	25
3.2 Mapas de Análisis en Sistemas de Información Geográfica.....	26
3.2.1 Volumen del edificado	26
3.2.2 Fracción de superficie impermeable.....	27
3.2.3 Áreas verdes (Potencial de atenuación del calor).....	27

3.2.4 Factores dinámicos28

3.3 Construcción del Mapa Climático 29

3.3.1 Carga térmica potencial30

3.3.2 Factores dinámicos potenciales31

3.3.3 Rugosidad31

3.4 Interpretación del Clima Urbano 33

3.5 Estrategias de Intervención 33

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS35

ANEXO 2 – TABLA DE CARACTERIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO (EJEMPLO)
36

ANEXO 2 – METODOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE LOS DATOS EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA..... 37

Definición de Isolíneas (Software ArcGis 9.2) 38

Mapeo del Índice Volumétrico (Software ArcGis 9.2)..... 38

Mapeado del Porcentaje de ocupación del terreno (Software ArcGis 9.2) 39

Mapeado de los efectos de la vegetación (Software ArcGis 9.2) 39

TPI – Topographic Position Index (Esri ArcGis 9.2 e ArcView 3.2) 40

Índice de Figuras

Figura 1 – Elementos del estudio del clima urbano (Fonte: Adaptado de Oke (sd) em Voigt, 2007)	5
Figura 2 – La importancia del clima urbano sobre la intervención bioclimática urbana	6
Figura 3 – Modelo de integración de los elementos de análisis e intervención bioclimática urbana en el Proyecto BIOURB.	7
Figura 4 - Representación esquemática de la mesoescala y de las capas (CLP – camada limite planetária; CLU - camada limite urbana; CLR – camada limite rural). Adaptado de WMO (2007).	9
Figura 5 - Representación esquemática de las escalas locales (A) y microescala (B) en el espacio urbano (CEU – camada da estrutura urbana). Adaptado de WMO (2007).	10
Figura 6 – Detalle del registro de fotos “ojo de pece”	16
Figura 7 – Ejemplo del perfil típico del Efecto de Isla de Calor Urbana (fonte: Wikimedia Commons)	18
Figura 8 – Superposición de gráficos WRPLOT View sobre una imagen del software GoogleEarth	21
Figura 9 – Modelo general de construcción de un Mapa de Clima Urbano	22
Figura 10 – Modelo de Análisis del clima Urbano	26

Índice de Tablas

Tabla 1 – Zonas Climáticas locales (ZCL)	11
Tabla 2 – Capas usadas en el mapeo del clima urbano.	32

0 La Evaluación del Clima Urbano

En un mundo crecientemente urbanizado, las cuestiones que afectan las ciudades adquieren una gran relevancia. La calidad de vida urbana depende, además de otras variables, del clima, por la forma este afecta el confort en los espacios exteriores y se relaciona con las condiciones que encontramos los espacios interiores de los edificios, en que habitamos. Esta es, sin embargo, una relación de doble sentido, porque el clima determina la adaptación de los edificios y estructuras urbanas al contexto climático, que a su vez terminan influyendo en las condiciones microclimáticas. Este tema se viene afirmando como un campo de investigación e intervención complejo, en la medida en que está asociado con sistemas dinámicos y que actúan a diferentes escalas. En este sentido, se tienen que desarrollar métodos de análisis que puedan informar la toma de decisiones que puedan contribuir para la calidad del ambiente urbano.

La complejidad del estudio de clima urbano, como presentada por Oke (sd. cit. in Voogt, 2007) resulta de la interacción entre un conjunto diverso de factores:

- Las características del territorio, sobre el que se instala la ciudad, con un tamaño y una forma particular;
- Los procesos climáticos, como los que dependen de las variaciones diarias y estacionales;
- Condiciones climáticas en días particulares, como los que resultan de las diferentes condiciones de viento, de nubosidad y de estabilidad atmosférica;
- Por otra parte, el espacio urbano, en su propio metabolismo, incorpora distorsiones en las condiciones climáticas locales, con la presencia de fuentes térmicas y de emisiones a la atmósfera, entre otros procesos, que influyen en el intercambio de energía entre el sistema suelo/atmósfera.

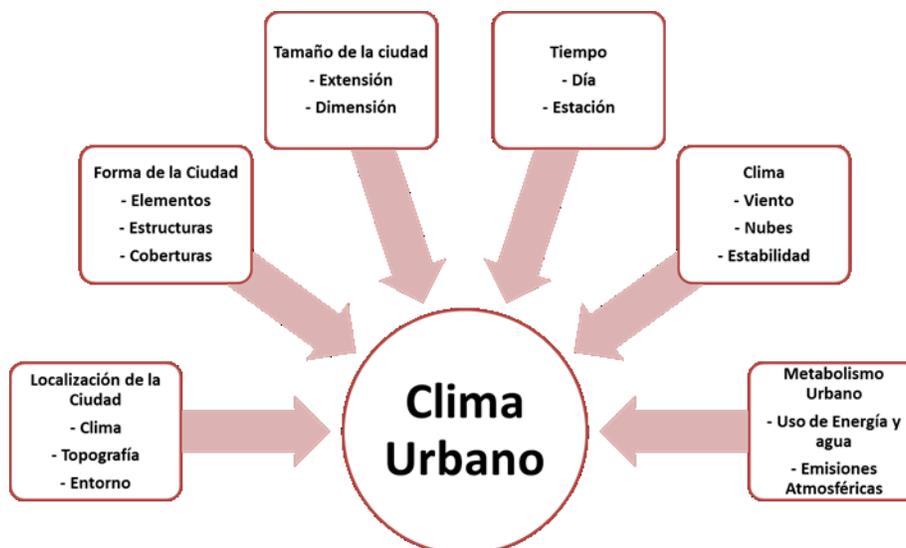


Figura 1 – Elementos del estudio del clima urbano (Fonte: Adaptado de Oke (sd) em Voigt, 2007)

En el proyecto BIOURB se defiende la necesidad de incorporar el razonamiento bioclimático en la planificación de las ciudades y otros asentamientos humanos. Para ello, se asume la aportación del análisis del clima urbano para la intervención en distintas actividades (**Figura 2**):

- En el urbanismo, ayudando a definir modelos de urbanización que se adapten a las condiciones climáticas determinadas por el territorio, con la definición de los usos y actividades compatibles;
- En el diseño de espacios exteriores, ajustando los elementos que conforman el espacio urbano a las características climáticas locales, adecuando edificios, superficies y vegetación a las necesidades de confort térmico al aire libre;
- En el diseño arquitectónico, por la promoción de la adaptación de los edificios a las condiciones climáticas locales, minimizando su impacto sobre esas condiciones, mientras incorporando opciones adecuadas desde la perspectiva del confort interior y de los espacios de transición.

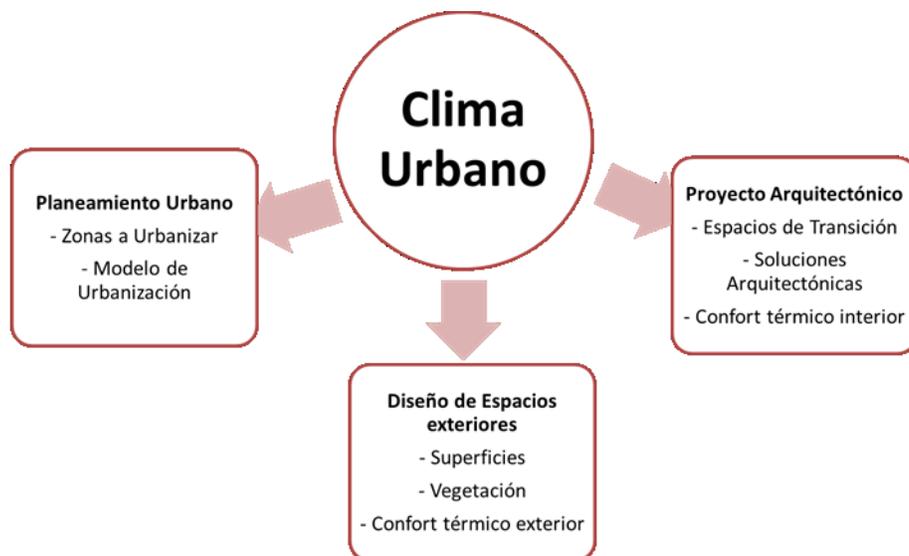


Figura 2 – La importancia del clima urbano sobre la intervención bioclimática urbana

Según Ren, Ng, y Katzschner (2010), aunque en varios países se hayan realizado importantes progresos en el análisis del clima urbano, las diferentes metodologías deben mejorarse y ser validadas por su aplicación a una mayor diversidad de estructuras urbanas y de condiciones climáticas. El proyecto BIOURB se propone contribuir para el conocimiento técnico y científico, mediante la adecuación de metodologías existentes al contexto local, en lo que concierne a los procesos de monitoreo y análisis.

Para responder a este reto, el Instituto Politécnico de Bragança ha desarrollado en conjunto con la Escuela de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid, una metodología que tiene por objeto el reconocimiento de las condiciones climáticas, en contextos particulares, en su relación con las estrategias de diseño bioclimático urbano. Con esta formulación, se intenta contribuir para el análisis y posterior actuación sobre los asentamientos urbanos en el contexto del espacio del POCTEP (Norte - Castilla y León). Para el efecto, se ha asumido la producción de los productos complementarios (**Figura 3**):

- La elaboración de un Manual de Diseño Bioclimático, desarrollado en colaboración con la Universidad Politécnica de Madrid, que tuvo como objetivo la interpretación de los perfiles climáticos de los asentamientos urbanos integrados dentro del ámbito geográfico del proyecto, definiendo un conjunto de estrategias de urbanismo bioclimático, a incorporar en la normativa urbanística¹.

- La propuesta de un modelo Análisis Bioclimático Urbano, con el desarrollo de una metodología que parte del análisis del contexto local, a través de la interpretación de las características más relevantes relacionados con el territorio y las estructuras urbanas, que posteriormente se relacionan con los datos meteorológicos, mediante el análisis de los registros históricos y registros de una red de monitoreo meteorológico. Como resultado de este proceso se describen las principales características que definen el clima local y se describen las estrategias que se adapten al contexto local.

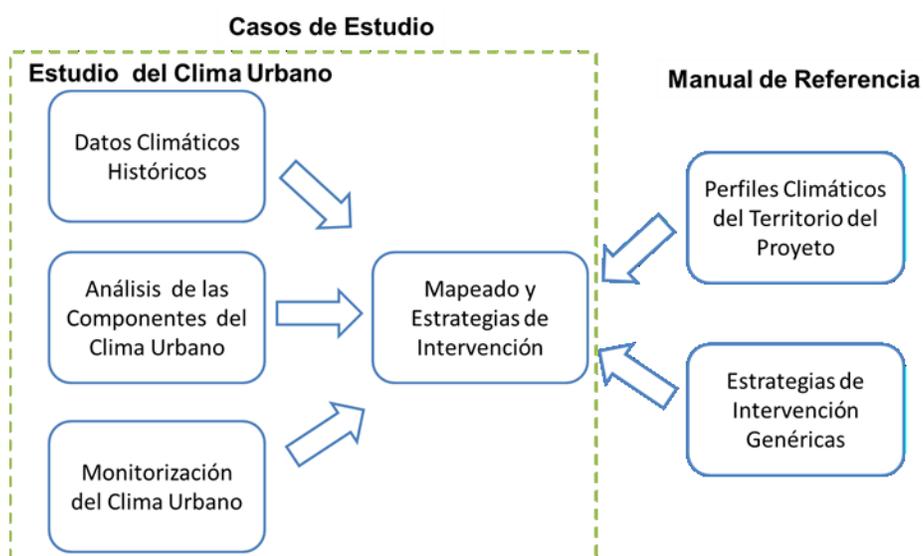


Figura 3 – Modelo de integración de los elementos de análisis e intervención bioclimática urbana en el Proyecto BIOURB

En este documento se presentan las bases metodológicas para la producción de Mapas del Clima Urbano. Sus contenidos se estructuran en los siguientes capítulos:

- En el primer capítulo, se enumeran los mecanismos de monitoreo aplicables al clima urbano, empezando por la identificación de los principales parámetros climáticos que se pueden estudiar, los instrumentos meteorológicos, así como los aspectos prácticos relativos al monitoreo meteorológico.

¹ Documento disponible en www.biourb.net.

- En el segundo capítulo se presentan los principales mecanismos de monitoreo meteorológico utilizados en este proyecto, incluyendo la definición de los locales para la instalación de sensores, como deben catalogarse, presentando-se entonces el modelo de análisis de los datos de: temperatura y humedad, incluyendo la interpretación del efecto de isla de calor urbana; y la velocidad y dirección del viento.

- Por último, en el tercer capítulo, se presentan los mecanismos para el mapeado del clima urbano, incluyendo la caracterización de los elementos territoriales y de las estructuras físicas, el uso de mapas de síntesis, y que culmina con la definición de estrategias y acciones para la planificación urbana.

La aplicación práctica de esta metodología tuvo lugar en de los contextos transfronterizos complementarios, correspondientes a diferentes núcleos poblacionales: una ciudad de tamaño pequeño a medio portugués, Bragança, y un pequeño pueblo español, Trabanca (Salamanca). Estos casos surgen como un ejemplo ilustrativo de la aplicación de la metodología propuesta para el análisis y los resultados se presenta en de los documentos separados.

1 Meteorología Urbana

En la evaluación del clima urbano es crucial que la medición de las variables meteorológicas y el procesamiento de datos cumpla criterios que garanticen la interpretación de los principales fenómenos que se desarrollan a esta escala. En esta sección se pretende proporcionar información sobre la selección de los locales de medición, la instalación de sensores meteorológicos y la interpretación de datos medidos en el contexto urbano. Porque, pese a la alta complejidad y diversidad de los contextos urbanos, es posible obtener información útil para diversos fines, con la evaluación y cartografía del clima urbano, siempre cuando existan equipos de monitoreo adecuados y se observen algunas normas básicas.

Un aspecto central en el monitoreo del clima en el contexto urbano son sus escalas, temporal y espacial. En la definición de la escala espacial de monitoreo, es fundamental la selección del local, por lo que es necesario recordar el concepto de escala en el contexto urbano.

Se adoptan aquí las definiciones propuestas por Oke (2006) para diferentes tipos de escalas en el contexto urbano, y que incluyen la microescala, mesoescala y de escala local, (**Figura 4 y 5**):

- La microescala refleja la influencia de los elementos individuales urbanos en sus componentes más básicas (edificios y sus partes constituyentes; calles y plazas; pequeños jardines).
- La escala local corresponde a los efectos climáticos de un contexto urbano particular, mediante la combinación de los efectos de los elementos urbanos y territoriales, que puede corresponder a tipologías de ocupación del suelo (barrio, parque de la ciudad), o bien a condiciones topográficas específicas (valle, colina, etc.).
- La mesoescala corresponde a la interpretación de la combinación de los efectos de los distintos climas locales, además de los efectos 'no urbanos', aproximados o más amplios que el contexto urbano (sistemas brisas, barreras topográficas, etc.).

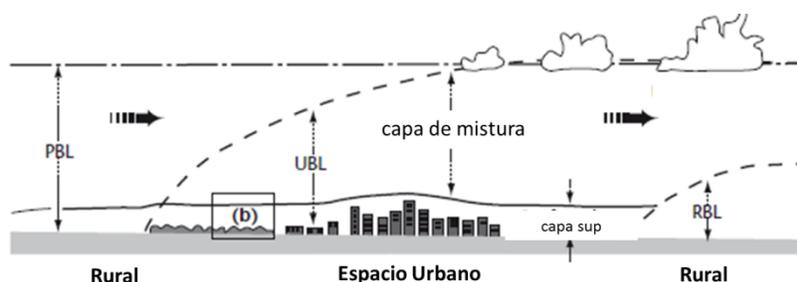


Figura 4 - Representación esquemática de la mesoescala y de las capas (CLP – camada limite planetaria; CLU - camada limite urbana; CLR – camada limite rural). Adaptado de WMO (2007).

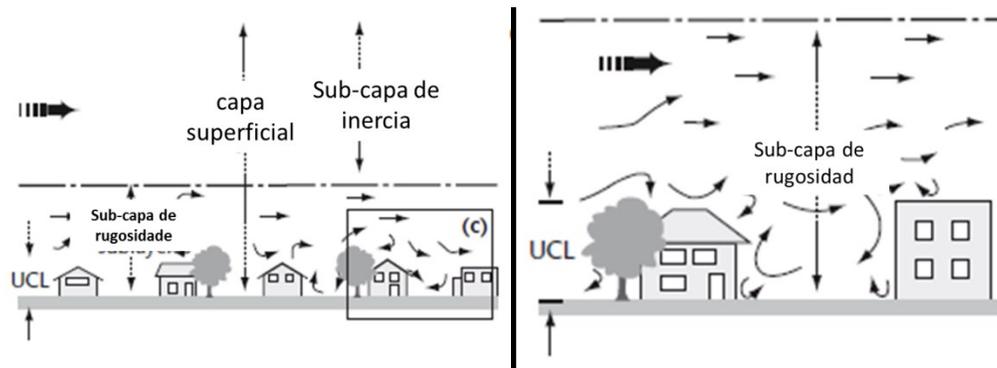


Figura 5 - Representación esquemática de las escalas locales (A) y microescala (B) en el espacio urbano (CEU – camada da estructura urbana). Adaptado de WMO (2007).

1.1 Selección de los locales de monitoreo

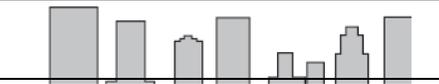
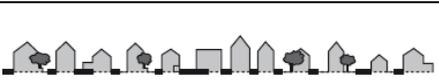
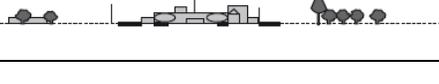
Para determinar la ubicación de los sensores de monitoreo meteorológico es necesario, en primer lugar, definir claramente los objetivos de esa acción. Cuando sólo se pretende instalar una estación meteorológica, debe evaluarse si la intención es monitorear el impacto (influencia) de la ciudad, de un área representativa de un pueblo o de un lugar en particular, o aun si se pretende evaluar aspectos climáticos específicos. Cuando se puede combinar distintos sensores y estaciones meteorológicas, eso permitirá, interpretar distintos procesos mejorando la interpretación del clima urbano.

La definición de las zonas homogéneas en la perspectiva climática, las zonas climáticas locales (ZCL), con características similares en su capacidad para modificar el clima local, es esencial para asegurar un criterio de homogeneidad espacial en la distribución sensores o estaciones meteorológicas. Esta clasificación, originalmente planteada por Oke (2006) (**Tabla 1**) proporciona una definición de áreas con características homogéneas, cuya diversidad incluye contextos de alta densidad edificatoria, en la categoría 1, hasta distinguir espacios con características rurales, en la categoría 7. De ese modo, las categorías reflejan la diversidad de condiciones urbanas, con variaciones cuanto a la conformación genérica de edificios y espacios abiertos. Esta clasificación también requiere que los espacios integrados en una categoría exhiban interacciones similares con algunos de los parámetros meteorológicos.

La clasificación por las ZCL refleja una jerarquía decreciente del impacto potencial sobre el clima. Esta clasificación puede ayudar en la selección de los locales para la ubicación de los sensores y estaciones meteorológicas señalando los locales donde existe una mayor probabilidad de encontrar determinados efectos climáticos, como el efecto de la isla de calor urbano (EICU). Si la escala de análisis es la del clima local, se debe buscar la representatividad entre las distintas ZCL, intentando evitarse las influencias (divergentes) del microclima, mientras incorporando la interpretación de otros fenómenos locales o de mesoescala, que influyen en los resultados del monitoreo .

Si el interés por el estudio del clima urbano incluye también la evaluación de los efectos específicos (por ejemplo, el efecto de la topografía en el drenaje de aire frío en los valles y las laderas hacia las zonas urbanas, el efecto de las barreras naturales o artificiales en la velocidad y dirección viento, o el efecto de los valles de los ríos o cuerpos de agua en la formación de la niebla, etc) se debe proyectar un monitoreo de red que permita el muestreo de datos sobre estos efectos.

Tabla 1– Zonas Climáticas locales (ZCL)

ZCL	Descripción	Esquema	Tipología de Rugosidade ¹	Relación H-W ²	% Construcción (impermeab.) ³
1	Tejido Urbano denso y con edificios altos (ej. Torres de Despachos)		8	> 2	> 90
2	Alta densidad y con edificios de 2 a 5 plantas (ej. zonas centrales)		7	1 – 2,5	> 85
3	Media densidad con viviendas, tiendas y apartamentos (ej. barrios residenciales)		7	0,5 – 1,5	70-85
4	Baja densidad con edificios amplios y espacios de aparcamiento (ej. zonas comerciales)		5	0,05-02	70-95
5	Baja densidad suburbana 1 a 2 plantas. (ej. Barrios residenciales suburbanos)		6	0,2-0.6	35-65
6	Uso mixto con amplios edificios en espacios abiertos (ej. Hospitales, universidades, etc.)		5	0,1	< 40
7	Espacios semi-rurales con casas dispersas y usos agrícolas (ej. quintas)		4	> 0.5 Dependiendo de los Arboles	<10

1. Estimativa de la rugosidad según la escala de Davenport (Grimmond *et al.*, 2000), que incorpora un incremento proporcional en este efecto mediante el aumento de la altura y de la densidad de edificios.
2. Razón H-W, relación entre la altura de los edificios o árboles y la anchura de las secciones de calles que conforman pasillos para la circulación del aire.
3. Proporción de suelo cubierto por estructuras construidas (edificios, carreteras, aceras y otras superficies impermeables). Este indicador influye en el balance de energía de la tierra y en el potencial para la producción de humedad y evapotranspiración, efectos debidos a la presencia de vegetación.

Después de elegir el tipo ZCL y/o el(los) efecto(s) que se quiere estudiar, se establece la ubicación específica de los sensores dentro de la zona de estudio. Por lo que el siguiente paso es un análisis detallado de estos espacios de referencia para la selección de los locales de monitoreo. La homogeneidad del local es un concepto difícil de aplicar en el contexto urbano, por lo que se deberá optar por la adopción de criterios de razonabilidad, que deben tener en cuenta las características particulares de cada espacio urbano, que a menudo determinan una mayor diversidad que la que sería deseable, puesto que rara vez está un único local sobre la influencia de un solo factor o contexto urbano. Sin embargo, es crucial evitar locales que por sus características interfieran con las mediciones o que, de algún modo, no sean representativos del contexto. Como ejemplo, se pueden señalar situaciones urbanas particulares: áreas de estacionamiento con pavimento en zonas predominantemente verdes y con riego; zona con humedad puntual en zonas predominantemente secas; edificios con una altura muy por encima

de la altura media de la ZCL; ubicaciones cercanas a la salida de los gases de escape, como sean túneles. Por último, siempre que sea posible, se debe evitar la instalación de sensores en las zonas de transición entre los diferentes tipos de ZCL.

Por el carácter incremental de la construcción de las ciudades, la transición entre ZCLs, se hace habitualmente en un gradiente desde los alrededores rurales hasta los espacios más artificiales en su interior, donde encontramos el mayor contraste a las condiciones climáticas naturales. En esta perspectiva, se puede pensar en la ubicación de estaciones meteorológicas (o sensores) asumiendo también las transiciones entre las zonas rurales y urbanas. Este criterio es especialmente relevante para la interpretación de los efectos del movimiento del aire en el espacio urbano y el reconocimiento de la intensidad del efecto de isla de calor urbano.

Aspectos prácticos, tales como la autorización de los propietarios de terrenos, la presencia de estructuras de apoyo y la seguridad de los equipamientos, son igualmente relevantes. En el caso de la propiedad de los terrenos, se puede optar por la inserción de sensores en el espacio público, lo que a su vez proporciona información sobre las condiciones en los lugares que la población suele utilizar. En esta opción se debe sin embargo considerar la seguridad de los equipos de monitoreo, debiendo además contemplar la necesaria autorización por las entidades locales. Cuanto a las estructuras de soporte, en particular en el caso de pequeños sensores, se usan habitualmente farolas u otras estructuras ya existentes, aunque ese hecho condicione la selección de los locales.

1.2 Particularidades da la medición de las variables climáticas en el contexto urbano²

Después de seleccionar la ubicación para la instalación de la estación meteorológica, es necesario tener en cuenta la posición de los diferentes sensores de medición. En primer lugar, se recomienda que los sensores se instalen alejados de obstáculos como edificios, árboles, paredes, entre otros. Para cumplir con ese criterio, se recomienda que los sensores se coloquen en un espacio abierto en el que el área circundante, expresada por la relación Z_H / W ⁽³⁾ sea representativa las condiciones locales.

Los sensores para medir la temperatura del aire deben ser protegidos de todas las fuentes de radiación y adecuadamente ventilados, mientras estando posicionados sobre una superficie representativa del local. En el caso de las estaciones urbanas, estas se deben posicionar, por

² Recomendaciones y consideraciones de esta sección se extraen principalmente de la Guía de Instrumentos y Métodos de Observación de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), elaborada por Oke (2006).

³ Z_H es la altura media y W la distancia media, ambas correspondientes a los elementos de rugosidad como edificios o árboles.

razones de seguridad, a una altura de 3 a 5 metros, mientras que en el caso de las estaciones rurales, donde no existe tal restricción, los sensores deben estar situados entre 1,25 y 2 metros. En las zonas densamente urbanizadas, los sensores deben estar ubicados a una distancia de 5 a 10 m de edificios con una altura entre 20 y 30 metros.

La ubicación de los sensores de humedad debe obedecer a las mismas reglas aplicadas a sensores de temperatura. En el entorno urbano, la degradación de sensores se incrementa debido a la contaminación atmosférica (polvo y diversos contaminantes) y, por lo tanto, hay que cuidar de su regular limpieza y mantenimiento. En el caso de psicrómetros convencionales, la manga húmeda debe ser reemplazada periódicamente.

Cuando la intención es medir el viento de fondo en la capa inferior de la atmósfera, la medición de la velocidad y dirección del viento es altamente sensible a la distorsión de la corriente por los obstáculos. Por consiguiente, la selección de la altura de medición en las zonas urbanas presupone un desafío. En ZCL de baja altura y densidad, se debe hacer la medición a una altura de 10 metros, y una distancia 10 veces superior a la altura de cualquier obstáculo del entorno. En las zonas más pobladas, con una relativa uniformidad y densidad, la altura debe ser de 1,5 veces la altura media de los edificios / árboles. Esta medición requiere grandes inversiones y por lo general se sustituye por mediciones en el contexto extraurbano, lo que resulta en una lectura que puede no reflejar con precisión las condiciones del viento del contexto local.

En la medición de la precipitación sobre las zonas urbanas, debe evitarse la colocación de medidores de lluvia cercanos a obstáculos (edificios, árboles) que intercepten la precipitación. Los errores asociados a la medición de las precipitaciones suelen estar relacionados con la ubicación inadecuada de pluviómetros, especialmente en relación con el campo de viento en el entorno. La complejidad espacial del campo de viento cercano a los obstáculos puede causar concentraciones muy localizadas de precipitación. Los lugares de alta turbulencia, como los techos de los edificios, se deben evitar, además de la proximidad a superficies sensibles a salpicaduras.

La radiación solar es la principal fuente de energía en el sistema climático y es una variable cuya medición en estaciones meteorológicas urbanas, es esencial. La medición de la radiación solar debe estar libre de cualquier obstrucción por encima del plano de medición, sean las estructuras fijas (edificios, árboles, mástiles) o efímeras (nieblas provenientes del escape o de salida de túnel). Los sensores deben estar nivelados y sin vibraciones. Por lo tanto, una plataforma alta, estable y asequible como los techos de los edificios altos es a menudo la mejor solución. La limpieza de las cúpulas de los piranómetros debe ocurrir a intervalos regulares y en el caso de ambientes muy contaminados, esa frecuencia debe ser diaria.

La medición de otros flujos radiantes, como la radiación difusa, radiación ultravioleta, o la radiación de onda larga de la atmósfera, aunque es deseable y útil para muchas aplicaciones, no suele medirse en el contexto urbano. El coste de los sensores y la relevancia de los datos suelen determinar esa opción.

La radiación de onda corta reflejada por la superficie, la radiación onda larga emitida por la superficie y la radiación neta no suelen ser medidas en estaciones meteorológicas urbanas. Esta escasez de datos, determina limitaciones en la interpretación de parámetros importantes, tales como la reflexividad de las superficies o la temperatura radiante desde las superficies.

La mayor dificultad en la medición de los flujos de radiación, reflejada o emitida por la superficie en un contexto urbano, está relacionada con la necesidad de colocación de sensores direccionados a la superficie con el fin de hacer el muestreo de un área representativa. Cuando se coloca sobre una superficie de césped, con los sensores posicionados a una altura de 2 metros, 90% de flujo medido proviene de la superficie circular con un diámetro de 2 metros. En las zonas urbanas la altura de la medición debe ser claramente superior para que se pueda recoger una muestra de la diversidad de características de una ZCL. Se recomienda que los radiómetros sean orientados a la superficie a una altura superior a 2 veces la Z_H y que las propiedades de las superficies sean representativas en el local de medición.

2 Caracterización del clima Urbano – Modelo de Análisis

2.1 Monitorización

Como se ha mencionado anteriormente, la definición de una red de monitoreo que sea adecuada a la realidad local es una importante acción en el proceso de caracterización del clima urbano. Esta acción es determinante para la calidad de los datos meteorológicos.

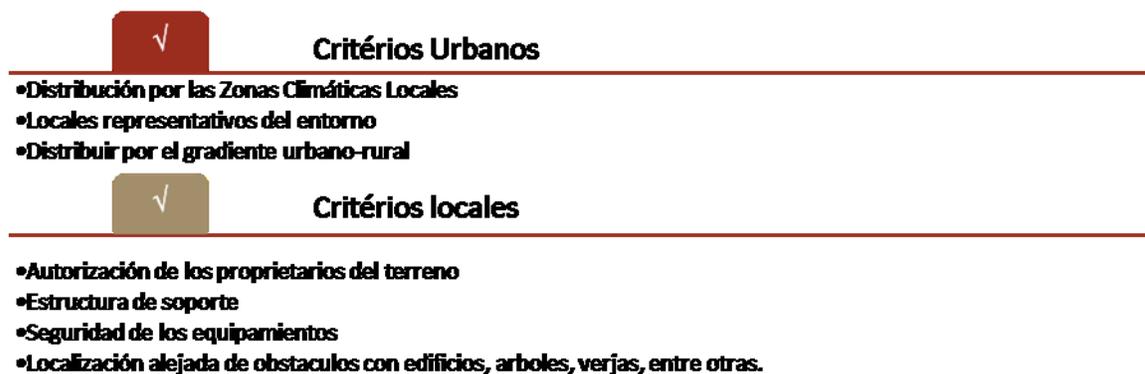
2.1.1 Definición de los locales de monitorización

La selección de los locales debe procesarse tras la interpretación de las diferentes características del espacio urbano. Entre los aspectos presentados anteriormente hay que subrayar, dada su relevancia, que la selección de los locales debe considerar los siguientes factores:

- Variación de las características del espacio urbano, con referencia a la clasificación del espacio para diferentes tipos de ZCL. Idealmente debe procederse a la marcación inicial de las ZCL, para posteriormente proceder a la selección de los locales de monitoreo. En lo posible, deben seleccionarse locales cercanos al centro de estas áreas.
- Relación con los procesos de base territorial, particularmente relevantes en contextos de gran complejidad topográfica, siendo necesario identificar los locales donde mejor se pueden caracterizar estos procesos. Ejemplos de estos espacios son los locales: de acumulación y transporte de masas de aire frío; expuestos a los vientos; a las variaciones altimétricas; o los espacios umbríos resulten de efectos topográficas (por ejemplo. valles profundos y laderas de elevada pendiente orientadas hacia el norte).
- Gradiente urbano-rural, implícito en gran medida en la transición entre las ZCL, pero que se puede ajustar para adaptarse a posibles transiciones desde las zonas rurales hasta el centro de las aglomeraciones urbanas.

Adicionalmente deben considerarse:

- La dispersión en el espacio urbano, puesto que la caracterización del clima urbano depende de la representatividad espacial del espacio en análisis.
- Criterios de localización específica de los sensores, anteriormente presentados.



2.1.2 Caracterización de los locales de monitoreo

Desde el inicio del proceso se deben caracterizar los locales de monitoreo como una forma de entender el contexto que se desea evaluar. Bajo esta perspectiva, es particularmente importante recoger datos de caracterización de cada local.

En este proyecto se desarrollaron tablas de caracterización (en anexo), que incluyen:

- La caracterización del contexto urbano, con el registro por foto aérea y otros registros fotográficos, que ayuden a interpretar las características de los locales de monitoreo;
- Registro de fotos de ojo de pece, con las cuales se obtiene una representación exacta del semi-hemisferio sobre el local de monitoreo, permitiendo el posterior cálculo del factor de cielo visto, variable de gran relevancia en la interpretación de las características de los locales y que consta numéricamente y gráficamente de la tabla.
- Otros parámetros de caracterización de los espacios incluyen variables de descripción de la envolvente de los edificios, incluyendo la rugosidad, el albedo medio y el porcentaje de espacios artificiales. Estas características son relativas al entorno de los locales de monitoreo por lo que cabrá definir el contexto de análisis. En el presente proyecto se evalúa un conjunto de parámetros, considerando su valor medio, que describen el entorno de cada local en una extensión correspondiente a un radio de 25 metros.
- Descripción del contexto topográfico, determinado por la presencia de diferencias en la forma del terreno que pueden ser clasificados por el análisis del índice topográfico TPI, que será presentado más adelante.

Entre otros elementos, en estas tablas (en anexo) podrá constar una descripción textual de las características de los locales.

Registro de Fotos de Ojo de Pece

El registro de fotos de "ojo de pece" puede contribuir para la caracterización de los locales de monitoreo, no sólo porque permite una lectura visual del entorno, pero también porque permite determinar con precisión el factor de cielo visto, un dato relevante para la interpretación del balance de la radiación en el espacio urbano.



Figura 6 – Detalle del registro de fotos "ojo de pece"

El equipamiento necesario para el registro de fotos de ojo de pece consiste, naturalmente, en una cámara fotográfica equipada con una lente especial, denominada de “ojo de pece”, que debe hacer un registro preciso y proporcional de la visión semi-hemisférica de cada local.

El registro fotográfico debe hacerse junto a la ubicación de los sensores meteorológicos, con la cámara orientada verticalmente, apuntando al cenit del lugar. Para este fin, se debe utilizar un trípode flexible y ajustar la proyección usando un medidor de nivel de burbuja. El medidor de nivel, que también contienen algunos trípodes, debe utilizarse para, el eje vertical y horizontal, validar la posición de la lente en el momento del registro fotográfico.

2.2 Análisis de los datos de temperatura y humedad

2.2.1 Tratamiento de los datos

La información obtenida en los sensores meteorológicos debe organizarse para su procesamiento. Los sensores y estaciones meteorológicas pueden incorporar una integración de datos basada en intervalos regulares, a menudo de 10 minutos, momento en el que registra el promedio correspondiente. Otros valores, tales como máximos y mínimos de las variables meteorológicas, también son registrados por la mayoría de los sensores, aunque esto puede depender de la programación de dispositivos.

Los datos recogidos, una vez convertidos para formatos compatibles pueden ser procesados para proporcionar información adicional para el análisis climático. En este contexto, es particularmente importante evaluar la evolución de las variables a lo largo del día, teniendo en cuenta las diferencias los registros de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento en diferentes momentos, evaluando los diferentes efectos que resultan de la combinación de factores que actúan a escala urbana. Existen otras variables relevantes, pero como el objetivo era evaluar una amplia gama de locales en simultáneo para lograr evaluar el clima urbano en base a una red de monitoreo amplia, sólo éstas variables fueron estudiados en este proyecto.

2.2.2 Evaluación de la intensidad del efecto de isla de calor

Uno de los fenómenos más significativos de las modificaciones en las condiciones climáticas en la escala urbana corresponde al efecto de "isla de calor urbano" (EICU), que se caracteriza por el aumento relativo de la temperatura del aire de las zonas urbanas frente a las zonas rurales su entorno (He *at al.* 2007) (**Figura 7**).

La intensidad de este efecto se puede medir por distintos indicadores teniendo como referente la interpretación de las diferencias entre las temperaturas dentro del núcleo urbano y su entorno rural. Estas diferencias entre ubicaciones pueden referirse a la media de la temperatura máxima durante el día, o la media de la temperatura mínima durante la noche, ocasión en la que este fenómeno registra una mayor intensidad. Dada la alta variabilidad de las condiciones durante todo el año en las latitudes medias, aún debe estudiar las diferencias en torno a las estaciones del año.

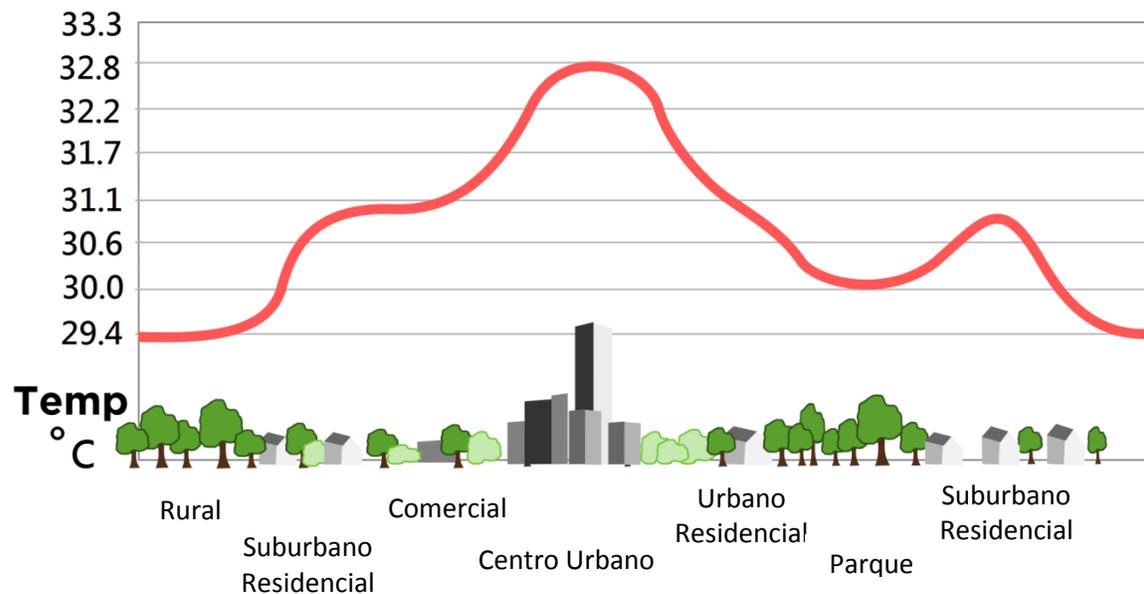


Figura 7 – Ejemplo del perfil típico del Efecto de Isla de Calor Urbana (fuente: Wikimedia Commons)

Otra interpretación corresponde a la intensidad máxima del EICU, que traduce las diferencias máximas diarias que ocurren, simultáneamente, entre los contextos rurales (en el entorno) y los contextos urbanos. Este indicador presenta un máximo de intensidad del EICU y puede ser interpretado por la distribución de sus frecuencias, incluyendo la mediana, y la distribución en los diferentes cuartiles.

La ubicación de los puntos de medición en diferentes locales de la ciudad, que corresponden a diferentes ZCL también permite identificar diferentes intensidades del EICU se interpretan en su relación con el contexto urbano, teniendo en cuenta su agregación en clases o su interpretación como locales singulares.

El EICU se relaciona además con los valores de la humedad relativa. Esta condición se asocia generalmente con un aumento de la aridez en el espacio urbano, pero debe tenerse en cuenta que este parámetro no mide directamente el vapor de agua presente en la atmósfera, ya que toma como referencia el potencial de saturación de aire para evaluar su fracción húmeda. El nivel de saturación de vapor de agua en el aire aumenta en la medida en que aumenta la temperatura, por lo que están relacionadas entre sí estas variables. A pesar de ello, autores como Olgyay (1998 [1963]) señalan este indicador por su influencia en el confort térmico, especialmente cuando cerca valores extremos (menos de 20% y más del 80%).

La influencia del viento y de la estabilidad atmosférica

La intensidad del EICU varía significativamente con las condiciones sinópticas y, en particular, bajo condiciones de estabilidad o inestabilidad. En esta perspectiva es adecuado evaluar registros que documenten las condiciones de tiempo, como los registros de imágenes de satélite u otros registros climáticos que pueden proporcionar claves para la lectura del clima en escalas más amplias.

Como el viento, en su intensidad, es un factor de atenuación de las diferencias de temperatura en el espacio urbano, por el efecto de convección que favorece la mezcla del aire en la capa superficial, su registro debe ser considerado a la hora de interpretar la intensidad del EUCI. Los datos deben interpretarse teniendo en cuenta los diferentes niveles de intensidad del viento, lo que a su vez debe relacionarse con distintas intensidades del EICU. En los estudios desarrollados en este proyecto se consideraron intervalos que van de 0 a 1,5 m/s, 1.5 a 3 m/s, 3 a 4,5 m/s y más de 4,5 m/s. Se elaboraron también gráficos de frecuencias relacionando la intensidad del efecto de isla de calor y la variación de la intensidad del viento.

Factor altitud

En algunas zonas urbanas, en presencia de un terreno con una topografía compleja, debe considerarse los efectos de la variación de altitud sobre la temperatura y que resultan en diferencias en la densidad del aire, generando distintos efectos en el periodo nocturno y diurno.

En particular, y en el caso de la evaluación de EICU, se recomienda proceder a una corrección diferencial de la temperatura, teniendo como referente los gradientes de altitud registrados en el contexto rural en el entorno urbano o, cuando no sea posible, considerando el gradiente adiabático.

2.2.3 Construcción de mapas de isolneas

Los mapas de isolneas son particularmente útiles en la representación de datos meteorológicos cuando se tiene un conjunto de puntos de medición repartidos sobre una base espacial representativa y relativamente uniforme. Su principio consiste en la integración de los datos para obtener mapas que representen una aproximación a la variación de los datos entre los puntos de monitoreo existentes. Aunque impliquen una simplificación en la interpretación de las condiciones actuales, este método facilita la lectura de los procesos en estudio, porque traducen espacialmente las diferencias que puedan existir en el espacio urbano, contribuyendo de modo gráfico para la interpretación de la realidad en el análisis.

En la producción de mapas se pueden adoptar distintos métodos de interpolación, que pueden ser aplicados e interpretados por un software específico, como por ejemplo la ampliación de geoestadística del software ArcGIS 9.3. Entre las opciones de interpolación disponibles, el proceso de *Kriging*, también llamado de *krigage*, es uno de los más utilizados, por lo que ha sido el método seleccionado para los estudios del proyecto BIOURB.

El *krigage* es una metodología geoestadística que considera las características espaciales de la auto-correlación de las variables, cuando éstas se presentan distribuidas sobre el espacio (o el tiempo). En este método, los datos obtenidos mediante el muestreo de un conjunto de puntos pueden ser utilizados para estimar los valores para la superficie restante. Su principio de funcionamiento consiste en suponer que el valor de registro en un local será mucho más cercano (numéricamente) de los registrados en los puntos de muestreo próximos, perdiendo esta relación intensidad a medida que la distancia entre los puntos se incrementa.

Para este estudio, se aplicó un *krigage* ordinario, en que su propósito fue describir gráficamente el potencial de la variabilidad espacial de los datos climáticos. Entre las limitaciones de este método, hay que señalar que su aplicación solo es posible cuando se dispone de datos de 10 o más puntos⁴.

En el caso de estudio del clima urbano, los mapas fueron dibujados para el promedio de los valores máximos y mínimos diarios de temperatura y humedad, según la estación del año, para el período de análisis.

2.3 Análisis da Velocidad e Dirección del Viento

2.3.1 Construcción de gráficos de viento

En la interpretación de las características del viento, a menudo se hace uso de gráficos que representan aspectos tales como la frecuencia y la intensidad del viento. Estos gráficos representan, al mismo tiempo, los valores de intensidad de discriminar entre diferentes cuadrantes u octantes de incidencia del viento. Estos gráficos incorporan la información obtenida de los sensores, la dirección del viento y la intensidad de una forma sencilla y visualmente atractivo.

Para la construcción de gráficos puede recurrirse a hojas de cálculo convencional, con la construcción de gráficos de "tela de araña" o de "radar", donde se pueden integrar los datos promedio de la frecuencia e intensidad para diferentes direcciones del viento⁵.

⁴ Por esta razón, este análisis sólo se aplica al estudio del clima de la ciudad de Bragança, ya que el número de puntos del muestreo de Trabanca (España) es inferior a este valor mínimo.

⁵ Diversos gráficos de este tipo se presentan en el Manual de Diseño Bioclimático del proyecto BIOURB.

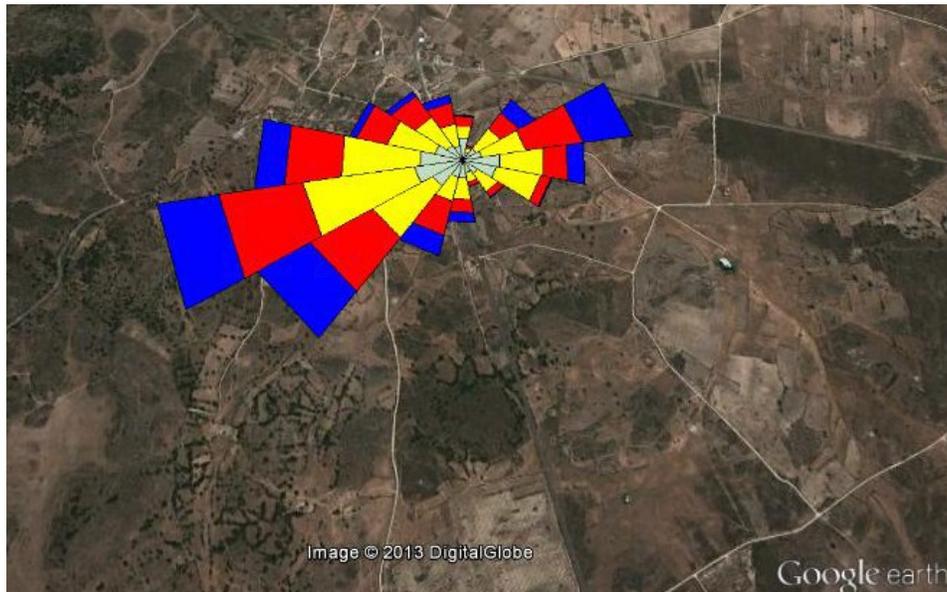


Figura 8 – Superposición de gráficos WRPLOT View sobre una imagen del software GoogleEarth

Para la construcción de gráficos existe además software específico, como el WRPLOT View, que permite la representación de la frecuencia y velocidad del viento para diferentes octantes, lo que añade información particularmente útil para el análisis de la distribución del viento en su incidencia sobre las estaciones meteorológicas u otros puntos de medición. Este software permite la producción de gráficos que luego pueden ser superpuestos en los mapas GoogleEarth lo que favorece la representación y comunicación de los datos.

2.3.2 Interpretación da dirección y velocidad do viento

La intensidad y dirección del viento depende de las condiciones presentes en un local determinado, y que están determinadas por la interacción entre los procesos de formación de viento de mayor escala y las características del contexto local, tales como las condiciones topográficas particulares y las interacciones motivadas por estructuras artificiales o por la vegetación. En esta perspectiva, en la interpretación de datos meteorológicos debe considerarse la posible influencia de las características de los espacios, en los que los sensores o estaciones meteorológicas se han posicionado, sobre las mediciones.

Los datos de las estaciones meteorológicas de entidades oficiales proporcionan información relevante acerca de las condiciones de viento en los alrededores de las aglomeraciones urbanas, porque, en general, se encuentran en situaciones rurales o peri-urbanas. En esos locales pueden no incorporar los cambios derivados de la presencia de efectos topográficos localizados o de los efectos asociados con el microclima urbano.

Para comprender mejor la variación del viento en las zonas urbanas deben instalarse sensores de velocidad y dirección del viento en contextos específicos, que pueden confirmar los posibles efectos de la rugosidad y proporcionar información sobre los cambios registrados a nivel local. Ante la imposibilidad de medir todos estos procesos, debe procederse al muestreo en determinados locales donde se espera ocurran efectos localizados, que eventualmente se puedan repetir en más locales del espacio urbano.

3 Desarrollo de Mapas de Clima Urbano

3.1 Metodología General

El desarrollo de Mapas de Clima Urbano (MCUrb) ha surgido como una herramienta para apoyar la toma de decisiones y el proceso de planificación, que facilita la interpretación de las condiciones climáticas de una zona urbana. Bajo este supuesto, esta herramienta debe considerarse en la definición de recomendaciones para la mejoría del ambiente urbano, puesto que puede ayudar a minimizar los efectos negativos de la urbanización, mediante el aumento de las condiciones de confort térmico, y puede además aportar a la definición de estrategias de mejoría de la calidad aire (Burghard, Katzschner, Kupski, Chao, & Spit, 2010).

El MCUrb debe identificar las áreas que son más favorables y la más problemática de un punto de vista térmico, así como la forma de edificios pueden afectar la circulación del viento en la ciudad (E. Ng, Katzschner, & Wang, 2007). Esta herramienta combina sinérgicamente diversos parámetros climáticos (por ejemplo velocidad y dirección del viento, temperatura del aire, humedad relativa, u otros), con la información topográfica, el paisaje, los edificios y otros elementos construidos de la ciudad, con el fin de presentar los fenómenos y problemas climáticos en una ubicación específica. Dada la complejidad del entorno urbano, y además de los factores físicos mencionados, el desarrollo de MCUrb también se basa en criterios cualitativos y subjetivos, a los efectos de los fenómenos de referencia difíciles de interpretar y/o para los que se dispone de datos suficientes (Scherer, Fehrenbach, Beha, & Parlow, 1999).

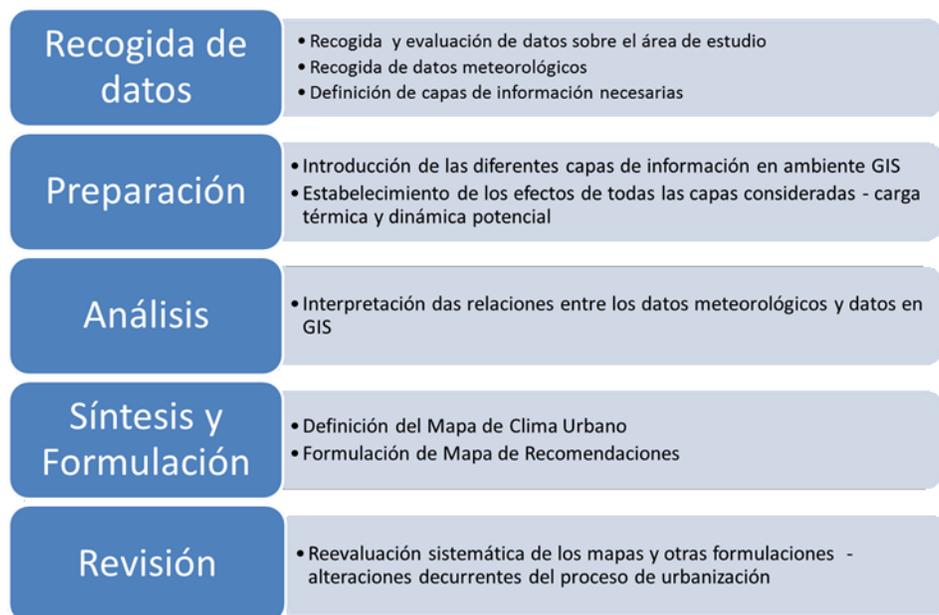


Figura 9 – Modelo general de construcción de un Mapa de Clima Urbano

El proceso de MCurb (**Figura 9**) depende del desarrollo de las tareas secuenciales que conducen a la descripción de un conjunto de características típicas en el comportamiento de clima en el espacio urbano. Deben informar las acciones de planificación del espacio urbano y el desarrollo de estrategias para el diseño urbano, basándose en una lectura de las condiciones particulares de cada local.

El proceso que lleva a la definición de MCurb puede describirse por un conjunto de cinco etapas complementarias (**Figura 6**): recogida de datos, preparación, análisis, síntesis y formulación, y revisión.

3.1.1 Recogida de datos

En este paso se debe hacer un compendio de elementos que ayudan a caracterizar y comprender los procesos inherentes al clima urbano. Estos elementos se pueden agregar en dos grupos: por un lado, la morfología del territorio, incluyendo no sólo el área urbana, sino también su entorno; y en segundo lugar, las características del espacio urbano, teniendo en cuenta no tan sólo las características de uso del suelo, como también de los edificios. La información se maneja para asumir la forma de un conjunto de indicadores de referencia, que son posteriormente reinterpretados para la construcción de índices de clasificación de las condiciones locales.

En simultáneo, transcurre el monitoreo meteorológico, que se ha descrito anteriormente, que proporciona importantes claves para comprender las condiciones climáticas urbanas, y que en el contexto particular de este estudio consistió en el análisis de las variables: temperatura del aire, humedad relativa y de la intensidad y dirección viento.

3.1.2 Preparación

Una vez definido el modelo de análisis, el primer paso corresponde a la construcción de un conjunto de capas, que corresponden a los parámetros de análisis. Esta información, que debe figurar en el inventario, corresponde a tres conjuntos distintos de información:

- Características territoriales que, basados en un modelo de análisis topográfico, nos permiten interpretar elementos diferenciados en la morfología del territorio;
- Características de uso del suelo, que se corresponden con el modelo de ocupación, correspondiendo a diferentes tipologías, por la interpretación de la combinación de elementos artificiales (edificios y áreas pavimentadas) y de vegetación;
- Características del espacio urbanizado, como los parámetros relacionados con la edificación, incluyendo su volumen.

En este punto, es esencial definir un criterio para la subdivisión del espacio urbano en unidades de análisis. Para este propósito, se asumió como referente el concepto de manzana (en un contexto urbano) o zonas (peri-urbana o entornos rurales), en ambos casos, definiendo zonas superiores a una hectárea. En el marco Portugués, las “*subsecções estatísticas*”, identificadas por el Instituto Nacional de Estadística (INE) como espacios homogéneos y se asemejan en el contexto urbano a la definición de manzana. En el contexto español, las secciones censales

también pueden ser un punto de partida para el análisis del espacio urbano, su dimensión es sin embargo generalmente superiores a los apartados estadísticos. Estos elementos deben en todo caso adaptarse en su geometría para corresponder a los criterios de delimitación de las unidades de interpretación. En particular, los límites de las marcaciones de cada espacio deben coincidir con ZCL, lo que en muchos casos requiere la agregación o desagregación de espacios y la inclusión o exclusión de las zonas ocupadas por los espacios verdes.

Considerando las características del proyecto BIOURB, se buscó, en lo posible, la utilización de parámetros y elementos disponibles en los mapas disponibles a nivel municipal o en otras instituciones, evitándose metodologías excesivamente complejas, difíciles de aplicar en la mayoría de municipios. Si estos datos no están disponibles, se deben obtener ortofotomapas, formato actualmente muy utilizado y/o se deben hacer estudios topográficos.

3.1.3 Análisis

El análisis de clima urbano resulta de la lectura de capas de información geográfica, previamente clasificadas para representar la intensidad de efectos que se pretende describir, presentando una previsión de los efectos esperados sobre las condiciones climáticas locales.

En el análisis es importante definir los conceptos de carga térmica y los posibles efectos dinámicos, puesto que estos contribuyen decisivamente para el clima urbano. Su análisis se basa en la interpretación de la información que describe las componentes que afectan a estos dos efectos complementarios (Acero, 2012; E Ng, Katzschner, Wang, Ren, & Chen, 2008):

- Carga térmica potencial - que se traduce en una mayor tendencia para la acumulación de calor en el interior de los asentamientos humanos como resultado de las superficies de menor albedo, los efectos de la acumulación de calor en zonas urbanizadas, además de los efectos complementarios del calentamiento por las fuentes antropogénicas. El potencial de carga térmica asume una gran relevancia sobre la ocurrencia del EICU.

- Dinámico potencial - Además de los efectos más estáticos que resultan de la presencia de diferentes superficies y elementos artificiales en el espacio urbano, existe una importante relación de estos elementos con los factores dinámicos de drenaje del aire en la ciudad, que afectan las condiciones del clima urbano.

El análisis de clima urbano se acompaña de la interpretación de los datos meteorológicos que permiten evaluar la correspondencia entre la predicción de los efectos sobre el clima y su ocurrencia real. Este proceso es el más complejo y requiere largos períodos de interpretación y análisis. Los meteorólogos con un amplio conocimiento de los mecanismos de interacción entre el contexto urbano (en evaluación) y el clima pueden ser un importante aporte para el análisis, lo que a su vez puede ayudar a interpretar los fenómenos desde una perspectiva espacio-temporal.

3.1.4 Síntesis y formulación

La síntesis y formulación consiste, en primer lugar, en la definición de un conjunto de unidades de caracterización que, en vista de sus características, surgen como homogéneos. Esta simplificación ayuda a entender la dinámica de los principales procesos de interacción de la ciudad con el clima, siendo especialmente relevante para la planificación urbana.

Teniendo como referente la caracterización de estas unidades, se desarrollan una serie de estrategias de intervención en el ámbito de la planificación urbana, el objetivo de mitigar los posibles efectos negativos que resultan de la interacción entre la ciudad y el clima. Entre estos efectos se pueden encontrar:

- Excesiva retención de calor, con particular relevancia en el verano;
- La exposición al viento fuerte, que en contextos de temperaturas más baja puede resultar especialmente negativo para el confort térmico en los espacios públicos y motivar a la pérdida de calor en los edificios; o
- Los efectos no deseados que resultan de la urbanización en áreas de drenaje y la acumulación de masas de aire frío, con consecuencias para el confort térmico al aire libre y las condiciones térmicas de los edificios.

Teniendo en cuenta las características de la interacción entre el contexto local y el clima, se definen estrategias para mitigar los aspectos negativos del clima urbano. Estas estrategias se representan en la forma de mapas de localización de los espacios que potencialmente se encuentran ciertos efectos y se acompañan de un conjunto de recomendaciones para la intervención en los espacios urbanizados y/o en los procesos de planificación y diseño urbano. Aunque los mapas clima urbano excedan la micro-escala, se pueden definir relaciones con las estrategias de intervención localizadas, como las propuestas por el Manual de Diseño Bioclimático.

3.1.5 Revisión

La necesidad de consolidación de datos meteorológicos a escala urbana, asociados a la transformación dinámica del espacio, determinan que este proceso deba continuarse y sus constataciones continuamente revisadas.

Por último, se recomienda que los datos relativos al análisis del clima urbano se interpreten a cada nuevo año, consolidando la interpretación de los datos, hasta obtener un período de tiempo referencial, normalmente de 30 años. Los datos de caracterización de las zonas urbanas también deben ser revisados anualmente. La consolidación de datos en series de tiempo más amplias deberá permitir la interpretación de los procesos climáticos de escalas temporales más amplias, diluyendo los efectos relacionados con años atípicos. La obtención de largas series de datos permitirá el estudio de los efectos potenciales del cambio climático (ej. calentamiento global) y la interpretación de los efectos resultantes de la transformación del espacio urbano, contribuyendo así para la lectura de las tendencias en la formación del Clima Urbano local.

3.2 Mapas de Análisis en Sistemas de Información Geográfica

En la **Figura 10** se presentan las combinaciones de capas aplicadas en el proceso de mapeo y análisis del clima urbano propuesta para el proyecto BIOURB, cuyas metodologías específicas se describen a continuación.

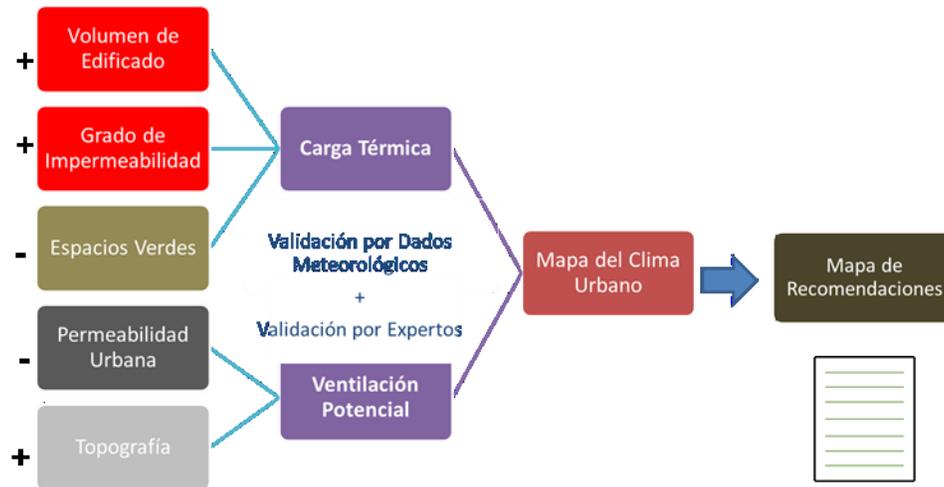


Figura 10 – Modelo de Análisis del clima Urbano

3.2.1 Volumen del edificado

Esta capa ayuda a explicar la capacidad de retención del calor en las zonas urbanas edificadas. El aumento en el volumen del espacio construido en su relación el suelo de soporte puede contribuir potencialmente para el incremento de la acumulación de calor en zonas urbanas durante el día, reduciendo, además, la liberación de calor durante la noche. Por otra parte, estas estructuras ejercen efectos sobre el viento y el drenaje de masas de aire, por el efecto de rugosidad urbana.

Esta variable se ha medido por el índice volumétrico propuesto por Lobo *et al.* (1995) teniendo en cuenta la relación entre la suma del volumen y la superficie de referencia. El cálculo de esta variable corresponde a la siguiente expresión matemática:

$$I_v = \frac{\sum V_i}{S_i}$$

V_i - volumen de cada uno de los edificios en la unidad de análisis

S_i - superficie de cada una de las unidades homogéneas de análisis

Los valores obtenidos son la base para la definición de un conjunto de categorías que expresan la intensidad del efecto que se describe y que debe ser evaluada en el contexto específico de análisis. La escala numérica del impacto debe considerar corresponder a las características de las diferentes unidades homogéneas de análisis, en las que los valores nulos correspondan a las condiciones rurales y peri-urbanas, y los valores más elevados corresponden a las condiciones de mayor concentración de edificios de mayor volumen.

En la definición de las capas para el mapeo climático se definen las siguientes categorías:

I_v	Categoría
0 - 1	0
1 - 2	1
2 - 3	2
> 3	3

3.2.2 Fracción de superficie impermeable

Esta capa es complementaria a la anterior y se refiere a la posibilidad de acumulación de calor que resulta de la excesiva concentración de superficies artificiales urbanas, la mayor parte de las cuales presentan un reducido albedo, lo que determina una mayor tendencia para la acumulación de calor sensible y que se emite de un modo más lento. Este indicador asume algunas simplificaciones, en particular, porque considera que las superficies artificiales son homogéneas. El cálculo de esta variable corresponde a la siguiente expresión matemática:

$$\%_{Imp} = \frac{S_{imp\ i}}{S_i} \times 100$$

$S_{imp\ i}$ - superficie impermeable para cada una de las unidades homogéneas de análisis

S_i - superficie de cada una de las unidades homogéneas de análisis

A semejanza de la variable anterior, la organización de los datos asume de categorías, que corresponden a los siguientes intervalos:

Fracción de Superficie ocupada (%)	Categoría
< 25	0
25 - 50	1
50 - 75	2
75 - 100	3

3.2.3 Áreas verdes (Potencial de atenuación del calor)

Como resultado de la presencia de espacios artificiales en el espacio urbano, una gran fracción de la radiación solar de onda corta se convierte en calor sensible, promoviendo el calentamiento del aire circundante. Varios estudios en la desarrollados en países del mediterráneo (Georgi & Dimitriou, 2010; Gómez, Gil, & Jabaloyes, 2004) demuestran los beneficios de la presencia de vegetación en áreas urbanas, en particular, la posibilidad de la creación de espacios con un menor calentamiento, en particular durante los períodos de mayor incidencia de la radiación, como resultado de las diferencias en las superficies y la presencia de sombras (Weng, Lu, & Schubring, 2004). Sin embargo, sigue existiendo una amplia variación de los efectos que dependen de las características de la vegetación, su grado de desarrollo e incluso la época del año (como en el caso de la vegetación de hoja caduca).

En esta variable se considera el efecto de la presencia de vegetación, suponiendo que con su desarrollo en diferentes estratos se deberá comprobar incremento en la interceptación de la radiación por sus hojas y una mayor intensidad de la actividad fotosintética, dando lugar a atenuación de la acumulación de la carga de térmica en el espacio urbano (evapotranspiración), contribuyendo para la reducción de la temperatura del aire.

Bajo este método se considera una calificación de 0 a 3, donde 0 representa áreas sin vegetación, 1 superficies con predominio de vegetación herbácea, 2 superficies con predominancia de la vegetación arbustiva y 3 se caracteriza por la presencia predominante de vegetación arbórea. De este modo se pretende definir distintos niveles en el potencial de refrigeración de la vegetación urbana.

Vegetación Predominante	Potencial disminución del calor	Categoría
Sem Vegetación	Ninguno	0
Porte Herbáceo	Bajo	1
Porte Arbustivo	Medio	2
Porte Arbóreo	Elevado	3

3.2.4 Factores dinámicos

A los factores dinámicos corresponde un conjunto de capas de información que describen los posibles efectos de desplazamiento de masas de aire en el espacio urbano. Estos pueden estar asociados con diferentes tipos flujos de aire, y es efectos particularmente relevantes resultantes de la incidencia de los vientos dominantes y la acumulación de masas de aire frío, efectos especialmente diferenciados.

Para la definición de estos espacios se considera la clasificación topográfica del terreno por el índice de posición topográfica (Topográfico Posición Index) (TPI) (Jeness, 2006). El TPI compara posiciones altimétricas basándose en la media de las diferencias entre cada punto y la elevación media de su entorno. De este modo, es posible determinar la posición media de cada local frente a su contexto territorial. Este enfoque permite determinar si un local es, en relación a un territorio amplio, un espacio plano, una depresión o una elevación del terreno, lo que a su vez, considerando la pendiente media, permite diferenciar si se trata de un fondo de valle, una colina o una cumbre.

Después de haber sido probado diferentes alcances para este método, se recomienda que el análisis se haga en base a un alcance de 2000 metros y una matriz evaluación del 10 por 10 metros (100 m²), ya que produce los mejores resultados en el contexto de los estudios de caso de este proyecto. De hecho, Esta distancia de referencia es ya referenciada por Jenness (2006) como el alcance adecuado para la interpretación de las formas del paisaje, como en el caso de la interpretación de las cuencas fluviales. Sin embargo, dependiendo del contexto topográfico de cada ciudad, el radio de análisis se puede ajustar para describir mejor esa realidad.

El TPI, al considerar la pendiente, asume una clasificación en seis tipos de formas, en las que el valor 1 corresponde a las áreas cumbres (o cimas de montes), seguido de un conjunto de categorías hasta las zonas de vaguada (o fondos de valles), que toman el valor de 6.

Incidencia de vientos dominantes

En la definición de las zonas de incidencia de los vientos dominantes son consideradas áreas expuestas a los cuadrantes en los que estos inciden de modo más frecuente. Al identificar estas formas fueron considerados espacios clasificados como cumbres (o cimas) de montes (nivel 1) y sus primeras laderas (nivel 2). En el caso de las primeras encuestas, se destacan las zonas que están expuestas a los cuadrantes predominantes del viento.

Zonas de acumulación de masas de aire frío

Para las zonas de acumulación de masas de aire frío se consideran zonas del valle, donde se acumulan, durante la noche, las masas de aire frío, como consecuencia de su mayor densidad.

En la determinación de estos espacios se considera de nuevo el TPI y se consideran los espacios correspondientes a los fondos de los valles (vaguadas) (nivel 6) y sus primeras cuestas (nivel 5).

Espacios de Drenaje de Masas de Aire Frío

Por la noche, los efectos del drenaje de masas de aire frío pueden ocurrir de modo más intenso generando brisas nocturnas. Este proceso se produce con una intensidad relevante en las zonas con gran pendiente. Con el fin de identificar estos procesos se consideran las pendientes superiores al 30%.

Potencial interacción con los procesos de ventilación - Rugosidad

Teniendo en cuenta la interacción entre los procesos de ventilación y los espacios urbanos, se definieron los espacios de cambio potencial por reducción de su velocidad, por su conducción, u otros efectos sobre el viento. Para la interpretación de este efecto, se supone que cuando los valores de rugosidad son superiores al 0,5, el potencial de tales efectos es particularmente relevante.

3.3 Construcción del Mapa Climático

La combinación de diferentes capas de información pretende determinar un conjunto de condiciones típicas que reflejan cambios en el clima a escala urbana.

El mapa final presenta los diferentes procesos asociados al clima urbano combinando los siguientes elementos:

- La clasificación del potencial de calentamiento, reúne los diferentes niveles de carga térmica (potenciales) en distintas categorías. Esta interpretación se refiere en particular al potencial para la ocurrencia del EICU, que asume una mayor intensidad durante la noche y en condiciones de estabilidad.
- Los factores dinámicos que incluyen la representación de los efectos relacionados con la exposición a los vientos de fondo y los procesos de transporte de masas de aire frío.

- La rugosidad que, con referencia a la volumetría de artificial (edificios y estructuras) y elementos espaciales naturales, determina un conjunto de interacciones entre los procesos dinámicos y los elementos en el suelo, que a su vez pueden generar procesos de conducción, aflojamiento u otro tipo de interacción con la dinámica de las masas de aire.

3.3.1 Carga térmica potencial

El mapeo del potencial de carga térmica se hace en seis categorías básicas dependientes de las condiciones presentes en cada uno de los espacios representados. Los datos se agregan para generar manchas superiores a una hectárea.

Categoría 0: Calentamiento Residual

Espacios rurales o peri-urbanos donde a interferencia de las estructuras urbanas deberá ser residual, por lo que será expectable un comportamiento térmico semejante al registrado en el contexto rural. Su integración en el dominio de análisis urbano podrá estar asociada a la definición del perímetro urbano, con la inclusión de espacios que aún no asumieron en concreto esa condición.

Categoría 1: Bajo Calentamiento

Estas zonas corresponden a espacios abiertos con la presencia de vegetación, incluyendo parques y jardines de mayores dimensiones. Estos espacios tienen un menor potencial la ocurrencia del EICU, con efectos en su entorno. En ellos se generan además efectos positivos de micro-escala por la presencia de vegetación.

Categoría 2: Zonas de Menor Calentamiento

Zonas donde se encuentran construidos edificios predominantemente unifamiliares, de menor volumen, y donde se encuentran suelos predominantemente permeables, por lo que presentan un menor potencial de ocurrencia del EICU.

Categoría 3: Calentamiento Medio

Zonas donde se combinan los efectos de impermeabilización y de ocupación del suelo, con edificios de ocupación más altos, lo que aumenta las posibilidades de incremento de la carga térmica.

Categoría 4: Calentamiento Medio-Elevado

La combinación de efectos de densificación del espacio urbano por la presencia de edificios con la incorporación de superficies artificiales, de menor albedo, hace con que en estos locales se incrementen los procesos de producción y acumulación de calor, y en particular en su asociación al EICU.

Categoría 5: Calentamiento Elevado

En estas zonas es expectable un efecto máximo de acumulación de calor con la combinación de efectos máximos de impermeabilización y de presencia de edificios de elevado volumen.

3.3.2 Factores dinámicos potenciales

A descripción de los factores dinámicos asume dos tipos de representación, en mancha y en flecha representando un elemento dinámico, dependiendo del tipo de elemento que se pretende describir.

Categoría: Zonas de elevado potencial de ventilación

En esta categoría se representan las zonas que por su posición topográfica se encuentran más expuestas a vientos dominantes. Estos locales corresponden a las cumbres (o cimas de montes) y a las primeras pendientes expuestas a vientos dominantes.

Categoría: Zonas de Drenaje de Masas de Aire Frio

En esta categoría se representan los declives de mayor pendiente (superior a 30%), por los cuales se generan brisas de drenaje de masas de aire frío en el período nocturno.

Categoría: Zonas de acumulación de Masas de Aire Frio

Locales donde potencialmente se verifica la acumulación de masas de aire frío, en puntos bajos de la topografía local, generando procesos complementares de drenaje y de formación de brisas.

Estos procesos son presentados asumiendo la forma de manchas, representando los espacios de acumulación de masas de aire frío y, de modo complementario, con la representación de los flujos que están asociados al drenaje en espacios de valle.

3.3.3 Rugosidad

Como definida anteriormente, la rugosidad traduce el potencial de interacción entre los elementos presentes en el territorio y los procesos de circulación del aire, sean ellos de carácter natural, como sean obstáculos orográficos o vegetación, o artificiales, como en el caso de los edificios y otros elementos artificiales.

Para efectos de mapeado climático se representan los espacios de rugosidad potencialmente significativa.

La **Tabla 2** presenta un resumen de la información presente en las capas de información usadas en la construcción del mapa de caracterización del clima urbano.

Tabla 2 – Capas usadas en el mapeo del clima urbano.

	Capa	Efectos Climáticos	Información Utilizada	Clasificación	N.º de Factores
A	Volumen del Edificado	Acumulación de Calor e Ventilación	Información de los edificios y de las superficies	Razón volumen/área (m^3/m^2)	3
B	Impermeabilización de la superficie	Acumulación de Calor	Información da superficie	% da superficie artificial	3
C	Espacios Verdes	Generan espacios más frescos, pueden determinar corredores de ventilación	Información das superficies y caracterización de la Vegetación	Tipología de vegetación dominante por estratos	3
Da	Acumulación de masas de aire frio	Zonas más frías en el período nocturno	Análisis topográfica (TPI)	TPI – Zonas más bajas frente al entorno	2
Db	Exposición a vientos dominantes	Zonas más expuestas a los efectos de los vientos dominantes Zonas potencialmente más frescas durante el día	Análisis topográfica (TPI)	TPI – Zonas más altas frente al entorno Orientación de pendientes	2
E	Zonas de drenaje de masas de aire	Espacio de formación de brisas de drenaje de aire frio	Declive (modelo digital de terreno)	Inclinaciones superiores a 30%	1
Fa	Rugosidad edificios	por Espacios donde pueden ocurrir alteraciones localizadas de la circulación del aire	Índice de Rugosidad (Z_0)	$Z_0 > 0,5$	1
Fb	Rugosidad árboles	por Espacios donde pueden ocurrir alteraciones localizadas de la circulación del aire	Espacios con vegetación de porte arbóreo dominante		1

3.4 Interpretación del Clima Urbano

En el mapeo del clima urbano se procede a la representación de un conjunto de procesos que resultan de la interacción entre los asentamientos urbanos y el clima, incluyendo los elementos identificados anteriormente, cuya interpretación depende de las características del contexto en análisis. La validación progresiva de esta formulación está dependiente de la interpretación de los datos de caracterización del clima local, obtenidos por la red de monitorización instalada.

Las características del espacio urbano generan un conjunto amplio de interacciones asociadas a los procesos de escala urbana que pueden ser favorables o perjudiciales en razón de las condiciones climáticas de mesoescala. Bajo esta perspectiva no es posible discriminar en términos absolutos las condiciones del clima urbano, puesto que estas dependen de la variación del clima a lo largo del año e inclusive de las variaciones determinadas por las condiciones sinópticas, que en ambos casos se encuentran condicionadas por las características de cada asentamiento humano.

De este modo, en el mapeo del clima urbano se asume el análisis casuístico de las características locales, produciendo mapas singulares. En este proyecto se remete para los dos casos de estudio analizados para una mejor comprensión de la integración de estos elementos.

En el contexto climático de área geográfica del proyecto BIOURB y añadiendo complejidad a la lectura de los datos, se verifica que con la variación estacional de las características asociadas al clima urbano se pueden registrar impactos diferenciados para la calidad de vida de las poblaciones. En particular, se puede constatar que el incremento de la temperatura nocturna asociada al EICU puede motivar efectos contrarios dependiendo de la época del año. En el caso de los meses más fríos, el EICU deberá resultar en una mejoría de las condiciones de confort térmico en el período nocturno. Este efecto tendrá resultados inversos en los meses más calientes, en los que el incremento de la temperatura podrá resultar en un agravamiento de las condiciones de confort térmico.

Igualmente variables serán los efectos que resultan de los procesos de acumulación de masas de aire frío o de ventilación del espacio urbano, que podrán ayudar a atenuar los efectos del calor excesivo en los períodos más calientes, pero que tienen un efecto negativo en los períodos más fríos del año, acentuando las consecuencias de la presencia de bajas temperaturas.

3.5 Estrategias de Intervención

La definición de estrategias de intervención resulta del análisis de las características identificadas anteriormente y puede asumir dos enfoques fundamentales:

- Enfoque correctivo, orientado a la intervención en los espacios urbanos más consolidados y donde se identifiquen procesos climáticos que generen impactos para la sustentabilidad urbana (Ex. efecto de isla de calor urbana o interacción con la acumulación de masas de aire frío);
- Enfoque preventivo, por la definición de estrategias de adaptación del asentamiento urbano, en su desarrollo, a las condiciones climáticas locales.

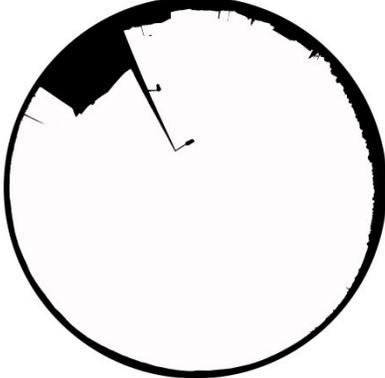
Ambas perspectivas fueron tratadas en el Manual de Diseño Bioclimático, por lo que cabrá identificar, en el contexto de los casos de estudio, cuales son los mecanismos de intervención más adecuados y cuáles son las propuestas de planeamiento que mejor puedan responder a las condicionantes locales.

Las intervenciones para la mejoría del clima local deberán desarrollarse en el marco de los instrumentos de planificación territorial disponibles, que orienten los procesos de urbanización o de intervención sobre el espacio construido.

4 Referências Bibliográficas

- Acero, J. A. (2012). *Urban climate modelling: Development of urban climate evaluation methods for urban planning purposes*. (PhD), University Kassel.
- Burghard, R., Katzschner, L., Kupski, S., Chao, R., & Spit, T. (2010). Urban Climatic Map of Arnhem City.
- Costa Lobo, M., Pardal, S., Correia, P., & Lobo, M. (1995). Normas urbanísticas-princípios e conceitos fundamentais. *Vol. I. 2ª edição. Lisbon, Direcção Geral do Ordenamento do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano e Universidade Técnica de Lisboa*.
- Davenport, A. G., Grimmond, C. S. B., Oke, T. R., & Wieringa, J. (2000). *Estimating the roughness of cities and sheltered country*. Paper presented at the 15th conference on probability and statistics in the atmospheric sciences/12th conference on applied climatology, Ashville, NC, American Meteorological Society.
- Georgi, J. N., & Dimitriou, D. (2010). The contribution of urban green spaces to the improvement of environment in cities: Case study of Chania, Greece. *Building and Environment, 45*(6), 1401-1414. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.12.003>
- Gómez, F., Gil, L., & Jabaloyes, J. (2004). Experimental investigation on the thermal comfort in the city: relationship with the green areas, interaction with the urban microclimate. *Building and Environment, 39*(9), 1077-1086. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.02.001>
- He, J., Liu, J., Zhuang, D., Zhang, W., & Liu, M. (2007). Assessing the effect of land use/land cover change on the change of urban heat island intensity. *Theoretical and Applied Climatology, 90*(3-4), 217-226.
- Jenness, J. (2006). Topographic Position Index (tpi_jen. avx) extension for ArcView 3. x, v. 1.3 a. Jenness Enterprises.
- Ng, E., Katzschner, L., & Wang, U. (2007). Initial Methodology of Urban Climatic Mapping – Urban Climatic Map and Standards for Wind Environment. Feasibility Study. In T. R. f. P. Department (Ed.): HKSAR.
- Ng, E., Katzschner, L., Wang, U., Ren, C., & Chen, L. (2008). Working Paper No. 1A: draft urban climatic analysis map–urban climatic map and standards for wind environment–feasibility study: Technical Report for Planning Department HKSAR. Report No. WP1A. Planning Department of Hong Kong Government: Hong Kong.
- Oke, T. R. (2006). Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites. In WHO (Ed.), *Instruments and Observing Methods*: World Health Organization.
- Olgay, V. (1998 [1963]). *Arquitectura y Clima - Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- Ren, C., Ng, E. Y.-y., & Katzschner, L. (2010). Urban climatic map studies: a review. *International Journal of Climatology, n/a-n/a*. doi: 10.1002/joc.2237
- Scherer, D., Fehrenbach, U., Beha, H.-D., & Parlow, E. (1999). Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban planning processes. *Atmospheric Environment, 33*(24), 4185-4193.
- Voogt, J. (2007). [How Researchers Measure Urban Heat Islands].
- Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment, 89*(4), 467-483. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>

Anexo 2 – Tabla de Caracterización de los Puntos de Monitoreo (Ejemplo)

Vista aérea		Foto		Foto de Ojo de Pece	
					
Características Locales (Radio – 25m)					
SVF	Rugosidad	Albedo medio (%)	% Superficie artificial	Land Form Slop	LandForm
0,98	0,34	15-25	23	Midle Slope	Open Slope
Zona Climática:	<i>Espacios de Transición Urbano-Rural (TUR)</i>				
<p>Notas: Se trata de un espacio junto al límite del perímetro urbano, en cuyo entorno se encuentran mayoritariamente suelos con vegetación herbácea y algún asfalto. Existe un edificio plurifamiliar cercano. El local se sitúa sobre una ladera expuesta a Norte.</p>					

Anexo 2 – Metodologías para el tratamiento de los datos en Sistemas de Información Geográfica

Definición de Isolíneas (Software ArcGis 9.2)

Para esta tarea se desarrollan el siguiente conjunto de actividades:

1. Generar un archivo de datos geo-referenciados (Shape) con los datos correspondientes a los puntos de la red de monitoreo. La información debe estar organizada para incluir: en las ordenadas, los diferentes puntos de medición, y en las abscisas, los diferentes parámetros que se pretende utilizar.
2. Activar la extensión “Geoestadistical Analyst” y seleccionar “Geoestadistical Wizard”. En la opción “Methods” seleccionar “Kriging”, identificar el archivo de datos (shapefile) donde se encuentran organizados los datos de monitoreo. Definir la variable que se pretende analizar (“Attribute”) y continuar (“Next”).
3. En la opción “Geoestadistical Methods”, elegir “Ordinary Kriging”, “Prediction Map”, mantener los restantes parámetros y continuar (“Next”).
4. En la etapa de “Semivariogram/Covariance Modeling”, las herramientas de geoestadística disponibles por el software conducen a una posible ajuste de los parámetros de análisis, puede optarse por mantener las definiciones base.
5. En la etapa siguiente, accionar la opción “Surface” en el menú “Preview type”, para obtener una pre-visualización del mapa que irá ser producido. Este es un procedimiento importante, en la medida en que es también recomendable una “suavización” a nivel de la extrapolación de los datos, seleccionándose un factor de 1 en el menú “Smooth”. Una vez definidos todos los parámetros, bastará hacer “Finish” para completar el proceso de krigage.

Mapeo del Índice Volumétrico (Software ArcGis 9.2)

Información geográfica utilizada:

- Edificado (shapefile), con la altura de los edificios;
- Límites de las zonas climáticas locales (shapefile).

Procedimiento:

- 1 – Calcular el área de inserción de los edificios. Función “Calculate Geometry”.
- 2 – Calcular el volumen del edificado (v) por proyección vertical de los edificios desde el área de inserción de los edificios. Función “Calculate Field”.
- 3 – Calcular el índice volumétrico (I_v). Función “Calculate Field”.
- 4 – Distribuir los valores por los intervalos de porcentaje ajustados a la variación de la ocupación con la función “Select By Attributes”, por forma a categorizarlos en una escala de 0 a 3, en una nueva columna de la tabla.

Mapeado del Porcentaje de ocupación del terreno (Software ArcGis 9.2)

Información geográfica utilizada:

- Edificios (shapefile)
- Limites de las zonas climáticas locales (ZCL) (shapefile)

Procedimientos:

- 1 – Calcular las áreas en el *shape* de los límites de las ZCL, adicionando un campo a la tabla y posteriormente aplicando la función “Calculate Geometry”.
- 2 – Introducir una nueva columna en la tabla (Limites de las ZCL) para el cálculo de la fracción de superficie del edificado en la cual, mediante la función “Field Calculator”, se efectúa la operación de subdivisión del área edificada sobre el área da superficie utilizada, convirtiendo el resultado en porcentaje.
- 3 – Distribuir los porcentajes por los intervalos presentados en la tabla (2), con la función “Select By Attributes”, para después categorizar los valores en una escala de 0 a 3, en una nueva columna de la tabla.

Mapeado de los efectos de la vegetación (Software ArcGis 9.2)

Información geográfica utilizada:

- COS 2007 (shapefile)
- Global Envolverte (shapefile)

Procedimientos:

- 1 – Identificar o generar un archivo (shape) con datos da caracterización do cubierto vegetal. En este proceso se pueden utilizar datos de la base COS 2007, combinados con a fotointerpretación de ortofotomapas.
- 2 – Generar una nueva columna en la Tabla (“Add Field”) para categorización (**0 a 3**) del potencial efecto de los espacios verdes.
- 3 – Mediante este criterio donde 0 representa superficies sin vegetación, 1 representa superficies de vegetación herbácea predominante, 2 representa superficies de vegetación

arborescente predominante e 3 representa superficies caracterizadas por la existencia de vegetación arbórea predominante, clasificar cada mancha con una columna “Uso” para definir que usos del suelo pertenecen a cada una de las 4 categorías presentadas. Este procedimiento recurre igualmente a las funciones “**Select By Attributes**” (para seleccionar los diferentes tipos de uso) para posteriormente determinar los valores del índice cualitativo por el que clasificar los espacios verdes.

TPI – Topographic Position Index (Esri ArcGis 9.2 e ArcView 3.2)

Información geográfica utilizada:

- TIN dataset (raster) – Modelo digital del terreno

Procedimientos:

1- El **Topographic Position Index (TPI)** (Jenness, 2006) se calcula teniendo como base un modelo digital del terreno. En este proyecto, se usa un TIN generado en base en las curvas de nivel del área de estudio por lo que la adición de esta información a un proyecto en ambiente ArcView 3.2 debe constituir la primera tarea a ejecutarse.

2 – En el menú “**File**”, activar la extensión “**Topographic Position Index**”.

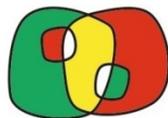
3- En el menú “**TPI**”, seleccionar la opción “**Generate Topographic Position Index**”.

4 – Definir “el entorno” en la opción “**Define Neighborhood**”, donde se define el alcance espacial del análisis.

5 – En el menú “**TPI**”, seleccionar “**Generate Slope Position Classification**” y después “**Use existing TPI themes**”, para definir las clases presentes en el TPI del área de estudio, con una clasificación de **1 a 6**.



biourb
diversidad | e bioconstructiva



PROGRAMA
COOPERACIÓN TRANSFRONTERIZA
ESPAÑA ~ PORTUGAL
COOPERAÇÃO TRANSFRONTEIRIÇA
2007 - 2013

**Unión Europea
FEDER**
Invertimos en su futuro

