Iceland Liechtenstein Norway grants

EmCliC

INFORME URBANÍSTICO/ARQUITECTÓNICO SOBRE
EL ESTRÉS TÉRMICO EN LA CIUDAD DE MADRID.

DANIEL TORREGO GÓMEZ

2022, DOI 10.5281/zenodo.7491900

Original version [ENG]:
Torrego Gómez, Daniel (2021) Urban planning – architectural report on thermal stress in the city of Madrid.
https://zenodo.org/record/5771522

Informe urbanístico/arquitectónico sobre el estrés térmico en la ciudad de Madrid.

Daniel Torrego Gómez – Doctor Arquitecto
UA-UPM
Daniel.torrego@gmail.com

ÍNDICE

Resumen

Introducción

Capítulo 1.
Confort y estrés térmico en Madrid

1. Definiciones de confort y estrés térmico: estándares, comportamiento del edificio y reglamentos técnicos
2. El clima de la ciudad
3. El parque edificado de Madrid
4. Viviendas sobrecalentadas

Capítulo 2.
Adaptación urbana y arquitectónica al estrés térmico en Madrid.

1. Escala urbana.
2. Escala arquitectónica.
3. Escala de usuario.

Capítulo 3.
Políticas de adaptación al estrés térmico en Madrid

1. Marco europeo
2. Agenda española.
3. Informes, planes y proyectos de Madrid.
4. Personas mayores y estrés térmico en Madrid.

Conclusiones

Resumen

El presente trabajo se redacta con el objetivo de servir al proyecto de investigación EmCliC (Experiencias del Cambio Climático) como informe acerca de la influencia de la arquitectura y el urbanismo de Madrid en las experiencias de estrés térmico en la ciudad. Con ese objetivo, se revisa aquí la bibliografía existente que analiza la acción de la edificación y la trama urbana sobre el denominado efecto Isla de Calor, se identifican las diferentes tipologías edificatorias, soluciones constructivas, materiales, infraestructura urbana, presencia de zonas verdes, y demás factores que influyen en la sensación de calor en la ciudad. Este trabajo, además, pretende ofrecer una visión amplia que no se restrinja a lo técnico, sino que valore los asuntos sociales, políticos y culturales como elementos relevantes a la hora de analizar la relación de la ciudad con el sobrecalentamiento y, consecuentemente, con el Cambio Climático. La ciudad, sus calles y sus edificios, se integran en este estudio en un ecosistema más amplio de intereses, políticas, normativas y proyectos, así como en su historia “construida”.

El estudio se centra en analizar las experiencias situadas y corporeizadas de estrés térmico, desde el punto de vista de la arquitectura y el urbanismo. El objeto de estudio, por tanto, será la Isla de Calor Urbana (ICU). Daremos cuerpo a la ICU de la ciudad de Madrid analizándola no como algo contenido en un perímetro, unas formas y volúmenes, unos edificios y calles, sino como algo difuso y difundido, que se genera por la acción conjunta de la densidad urbana, la presencia (o no) de corrientes de aire, de bolsas térmicas y superficies radiantes, pero también por la acción de vecinos que abren sus puertas, dejan persianas a medio bajar, o por ordenanzas bioclimáticas, costumbres y leyes.

Palabras clave
Isla de Calor Urbana, cambio climático, urbanismo, arquitectura, sobrecalentamiento

Introducción

Madrid es una de las ciudades europeas con mayor incidencia de olas de calor históricamente (Guerrero et al., 2018). Las transformaciones del territorio y el proceso de urbanización de la ciudad favorecen un clima local, agudizando los efectos de sobrecalentamiento en verano y generando la denominada isla de calor urbana. A los efectos de artificialización se unen la situación en el interior de la Península Ibérica, donde se prevén mayores efectos del cambio climático (Agencia Europea del Medio Ambiente, 2012), produciendo a su vez aumentos de demanda de refrigeración en verano y consecuente elevación de la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera en la ciudad. Además, la ciudad de Madrid cuenta con un número elevado de población vulnerable, especialmente sensible al estrés térmico. La influencia de la ciudad construida en el efecto de la Isla de Calor es un asunto todavía no suficientemente estudiado. Tanto es así, que en la evaluación energética de la edificación en España -obligatoria para todas las viviendas- no se integran los datos climáticos del clima urbano, sino modelos genéricos de clima territorial, más acordes al medio rural. Algunas iniciativas e investigaciones han tratado en los últimos años de generar modelos para la detección de la isla de calor en la ciudad (Nuñez Peiró et al, 2016). Existen estudios que se han centrado en dibujar la ICU de Madrid a través de mediciones y geolocalización de su extensión (Nuñez Peiró et al, 2017) (Fernandez et al, 2016). Tales trabajos realizan una importante labor de detección de la extensión y comportamiento del fenómeno. Sin embargo, todavía no existen aportaciones suficientes que evalúen los orígenes del mismo, analizando la práctica urbanística histórica y actual de la ciudad, la formación de tejido urbano y tipologías edificatorias, como algo fundamental a la hora de entender el estrés térmico. Existen trabajos que evalúan de manera pormenorizada distritos, en función de variables influyentes en el estrés térmico (calidades de la construcción, año de construcción, albedo de las superficies, presencia de agua y/o árboles, etc.) pero todavía no encontramos análisis de los atenuantes y agravantes del sobrecalentamiento urbano que sitúen tales elementos sobre la trama urbana. Un análisis exhaustivo de estas variables sería de gran interés para la ciudad, aunque excede de las dimensiones del presente trabajo. Lo que aquí se presenta pretende servir como marco conceptual para evaluar, desde el punto de vista de la gestión del calor, las prácticas urbanas y edificatorias de la ciudad, en el momento actual y entendida desde su desarrollo histórico.

Este trabajo avanza sobre la hipótesis de que la Isla de Calor, como fenómeno dinámico, puede ser mejor descrita como un ensamblaje en el que participa el entorno construido,

pero también las prácticas de adaptación climática a diversas escalas. Con el objetivo de realizar una lectura transversal de la ciudad -desde los edificios a la política urbana, pasando por las medidas de adaptación- se desarrolla en tres apartados, que se consideran sustanciales a la hora de entender el estrés térmico en la ciudad: 1- el contexto climático y construido, 2- la adaptación al sobrecalentamiento y 3- las políticas públicas.

En el primer capítulo -*Confort y estrés térmico en Madrid*- se definen, en primer lugar, las nociones básicas de confort térmico, así como del comportamiento de los edificios en la provisión de las condiciones de confort. Se exponen los parámetros más relevantes en relación con el confort y el estrés térmico, y cuales son las acciones que, desde la arquitectura, lidian con ellos. También se explican variables de disconfort o estrés térmico que pueden estar presentes en el interior de las viviendas, como asimetrías radiantes o corrientes de aire. Se explican los mecanismos de transferencia de calor y cómo la edificación actúa para limitarlos o potenciarlos, según el caso. En este capítulo también se detallan las normativas y estándares reguladores del confort térmico en España, haciendo hincapié en el momento de aparición de las mismas.

Con este marco, y sobre la base del conocimiento disponible sobre la ICU de Madrid, se analizan los diferentes desarrollos históricos de la ciudad y las tipologías edificatorias y sistemas constructivos empleados, valorando su comportamiento térmico y su grado de vulnerabilidad frente al sobrecalentamiento. En este primer capítulo obtendremos una respuesta transversal a la pregunta *¿cuál es la situación actual?* Sobre el sobrecalentamiento urbano y el estrés térmico en la ciudad.

En el segundo capítulo - *Adaptación urbana y arquitectónica al estrés térmico en Madrid*- se identifican aquellas prácticas que están siendo implementadas o experimentadas en la ciudad de Madrid. El capítulo se estructura en un orden de escalas decreciente: empezando por la escala urbana, avanzando hacia la escala arquitectónica y acabando en la escala del usuario. Cada escala conlleva un régimen de actuaciones de adaptación climática. Así, la escala urbana transfiere las prácticas adaptativas a través de normativas, la escala arquitectónica a través del diseño bioclimático y la escala del usuario a través de acciones cotidianas y concretas. La suma y superposición de escalas nos permite entrever un Madrid que lidia con el estrés térmico, y nos permite intuir el dibujo de una isla de calor, que se localiza de manera desigual en los barrios, las calles y los edificios.

En el tercer capítulo - *Políticas para la adaptación al estrés térmico en Madrid* – se identifican y analizan aquellas medidas, leyes, planes y estrategias que, en la ciudad de Madrid, están lidiando con la problemática del Cambio Climático y el sobrecalentamiento urbano. Aquí, tras identificar el marco de objetivos, directivas y reglamentos de la UE, y de exponer brevemente la agenda española sobre el cambio climático, transición energética y rehabilitación urbana, se atiende a las diferentes iniciativas municipales para lidiar con el calor. Desde una aproximación de análisis crítico del discurso, se desgranan las propuestas municipales ofreciendo, por un lado, una evaluación crítica de las mismas y, por otro, otra evaluación más pormenorizada de su adecuación a la hora de minimizar los efectos del estrés térmico en la comunidad objeto de estudio del proyecto EmCliC: las personas mayores.

Por último, el trabajo se completa con un apartado en el que se recopilan las conclusiones extraídas del análisis, así como posibles ámbitos de desarrollo para futuras investigaciones de EmCliC o cualquier otra entidad interesada en la influencia de la arquitectura y el urbanismo en el estrés térmico de Madrid.

Capítulo 1. Confort y estrés térmico en Madrid

1.1 Definiciones de confort y estrés térmico: estándares, comportamiento del edificio y reglamentos técnicos.

A la hora de analizar el estrés térmico en la ciudad, resulta necesario detenerse en las definiciones y métodos por los que se establecen los valores de confort en el interior de los edificios. Según los estándares internacionales, por los que se rigen los métodos de evaluación del confort térmico interior, este se define como "aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico y que se evalúa de manera subjetiva" (ASHRAE 55-2017). El confort térmico se relaciona con valores de temperatura del aire, humedad relativa, temperatura radiante de las superficies interiores y velocidad del aire. Del mismo modo, el disconfort o, cuando es muy elevado, estrés térmico, es causado por valores inadecuados de tales parámetros, así como por "condiciones locales como diferencias verticales de temperatura entre los pies y la cabeza o grandes asimetrías de temperaturas radiantes" (ASHRAE 55-2017). El standard ISO 7730, por el que se definen los valores y métodos de cálculo del confort en el interior de las viviendas en España, determina que "la causa más común de disconfort local son las corrientes de aire. El disconfort también se puede deber a diferencias anormalmente altas de temperatura entre la cabeza y los pies, pavimentos demasiado fríos o calientes o grandes asimetrías en la temperatura radiante" (ISO 7730).

Las condiciones interiores de confort o de estrés térmico -en ausencia total de confort- vienen determinadas, por tanto, por una serie de variables en la que interfiere la construcción, entre las que se destacan la temperatura seca y la humedad relativa, seguidas de la velocidad del aire y la temperatura media radiante de las superficies interiores. Entre las variables que se escapan del control "arquitectónico", y que tienen que ver con la experiencia del usuario, están la tasa metabólica de los individuos -la actividad que se esté realizando- y su grado de vestimenta.

Con todos estos parámetros el standard 7730 utiliza una metodología de evaluación subjetiva para determinar los niveles óptimos de confort higrotérmico en el interior de las edificaciones. El grado de satisfacción se determina en función del conjunto de parámetros óptimos que incluyen la temperatura de bulbo seco, la temperatura radiante media, la velocidad del aire, la humedad, el nivel de ropa o la tasa metabólica. Mediante los valores PMV (Voto medio predecible) y PPD (Porcentaje previsto de insatisfechos)

se determinan las condiciones de confort. Estos dos valores determinan lo que los usuarios votarían y sentirína al exponerse a condiciones higrotérmicas interiores específicas.

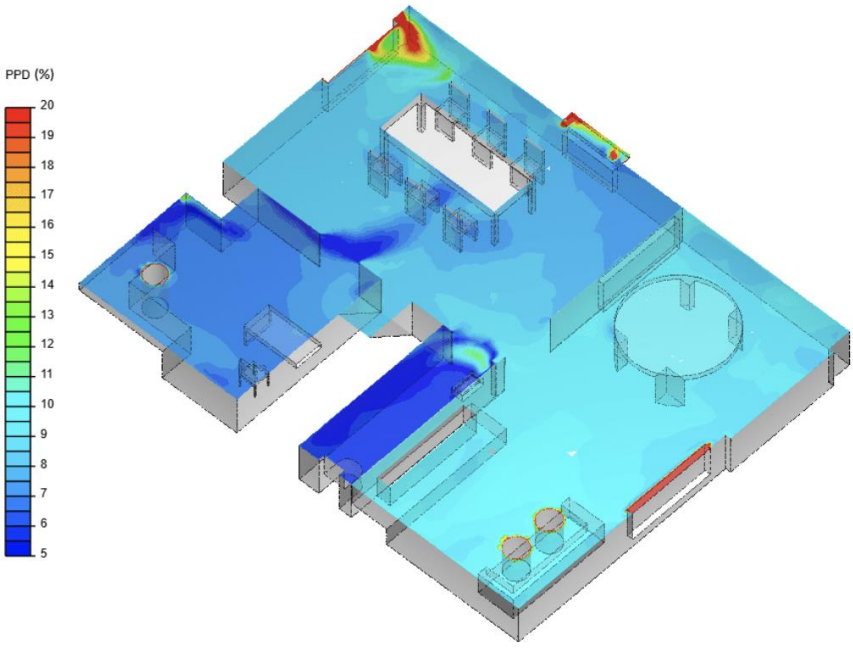


Figura 1. PPD en el interior de un piso convencional. Según ISO 7730 y ASHRAE 55, todas las zonas deben mantenerse por debajo del 20%. Esto significa que menos del 20% de las personas se sentirían insatisfechas por las condiciones térmicas.
https://www.simscale.com/blog/2019/09/what-is-pmv-ppd/

La práctica arquitectónica se encarga de dar cumplimiento a las normas de confort térmico en el interior de los edificios. Desde ese punto de vista, existe lo que se denomina *diseño bioclimático*, que trata de favorecer las condiciones de confort interior en las viviendas -o edificios destinados a otros usos- mediante el aprovechamiento de las condiciones climáticas del entorno (sol, lluvia, vientos predominantes, presencia de vegetación…). El objetivo consiste en que la propia edificación de manera pasiva, esto es, sin adición de energía extra, provea de las condiciones más próximas al confort. Así, para viviendas cuyo diseño bioclimático es pobre o inexistente, estas necesitarán de mucha energía para satisfacer las necesidades higrotérmicas de sus ocupantes y, si esta energía no es renovable, se consideran viviendas con mal rendimiento energético, obteniendo peores calificaciones.

Una de las piedras angulares del diseño bioclimático es la carta de Olgygay que, complementada años después por la de Givoni, se consideran unas de las herramientas más importantes a la hora de definir y medir estrategias de diseño orientado al confort

climático. Ambas son muy útiles a la hora de definir y pronosticar la sensación interior de un edificio en función de parámetros climáticos como son la temperatura, la humedad relativa, o la velocidad del aire. Y, para los objetivos del presente trabajo, son muy útiles a la hora de sentar unas bases sobre las nociones de confort y estrés térmico, y cómo otras variables -además de la temperatura- resultan clave para favorecer de dichas condiciones.

Así, podemos observar como, en la carta de Givoni, se establecen un eje horizontal -temperatura de bulbo seco- y un eje horizontal -humedad absoluta- entre los que discurren unas curvas crecientes de izquierda a derecha, que se corresponden con los valores de humedad relativa. Si atendemos a los métodos de definición del confort climático (ISO 7730 o ASHRAE 55), los valores entre los que se sitúa el confort térmico para el ser humano oscilan entre los 20 y los 27 grados para humedades relativas entre 20 y 80 %, siendo la temperatura de confort de 24º y humedad relativa de 50% de manera genérica. Estos valores son variables en función de la aproximación al concepto de confort, que puede ser entendido de manera estática (Fanger, 1970) o dinámica (Humphrey, 1978). En métodos dinámicos -que toman los valores de temperaturas exteriores de los últimos días en su cálculo- los valores de confort oscilan notablemente de unos días a otros (Sánchez-Guevara et al. 2017). El confort térmico es, por tanto, un concepto variable y subjetivo.

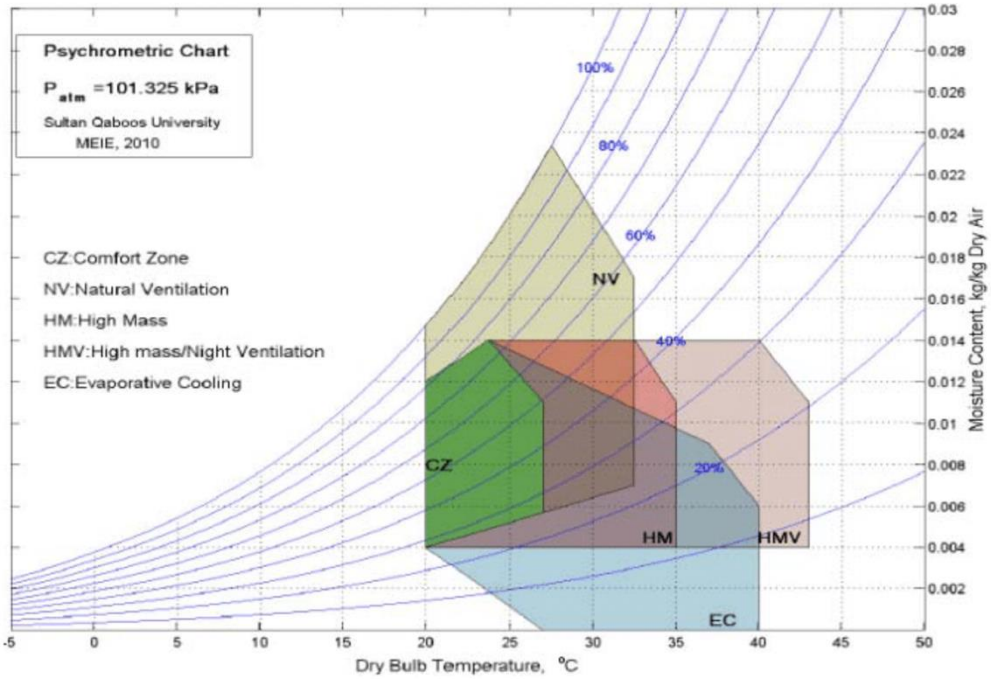


Figura 2. Carta de Givoni.

https://www.researchgate.net/figure/Givonis-Bbioclimatic-Chart-Plotted-From-Givonis-Chart-Data_fig4_253337713

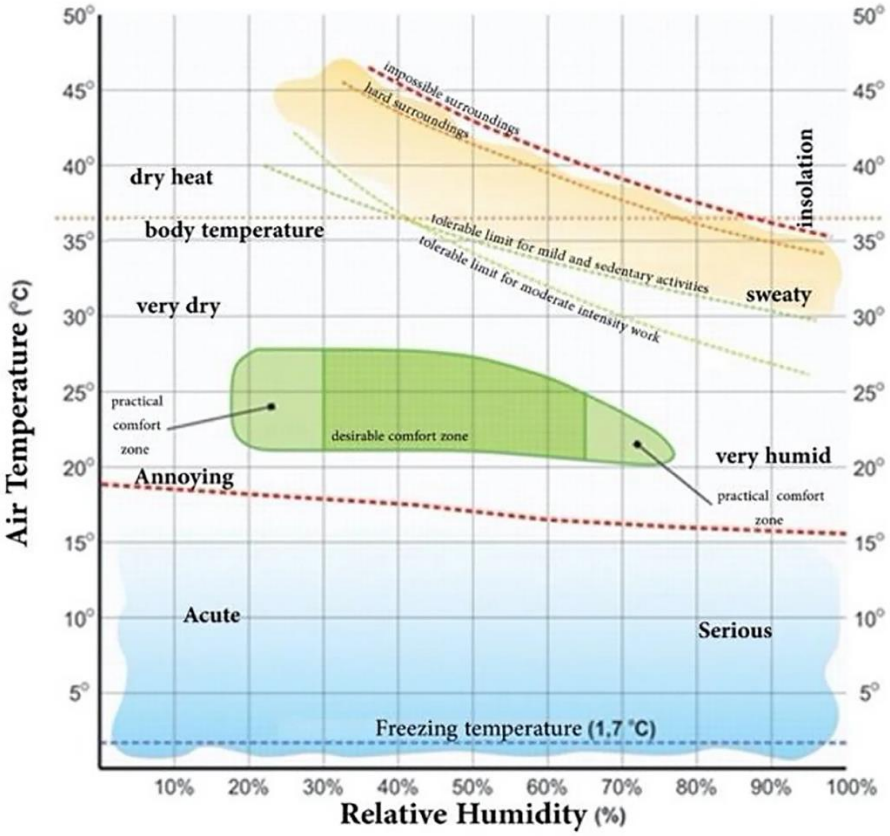


Figura 3. Carta de Olgyay

https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-021-02158-0

La arquitectura, por tanto, transforma los valores de temperatura y humedad presentes en el entorno para acomodarlos a las necesidades de control interior. Para ello, utiliza sistemas pasivos (control del calentamiento solar a través de las ventanas, por ejemplo, o el aislamiento de los propios cerramientos) y activos (sistemas de refrigeración por aire acondicionado, por ejemplo). Todos estos mecanismos son computables mediante un valor Q, de carga calorífica, que será positiva cuando el funcionamiento sea de calentamiento del interior y negativo cuando el calor se esté perdiendo hacia el exterior (Figura 4). Así, en los cálculos del funcionamiento energético de las viviendas, en los que se evalúan las diferentes cargas, de calefacción y refrigeración, para mantener un espacio en condiciones óptimas de confort térmico, se tienen en cuenta toda la variedad de agentes calefactantes o refrigerantes de la edificación: equipos técnicos, luminarias, ocupantes, soleamiento a través de los vidrios, transferencia de calor a través de ventanas y muros, infiltraciones de aire, contacto con el suelo y ventilación. Es importante señalar que, para entender el funcionamiento de un edificio en clima templado, es necesario dividir el funcionamiento en dos períodos tipo: verano e invierno. Algunas cargas, como el soleamiento a través de los vidrios, estarán siendo

beneficiosas para alcanzar el confort en invierno mientras que serán desaconsejables en verano. El equilibrio térmico de las viviendas depende de todos estos factores, de manera dinámica y cambiante a lo largo del año.

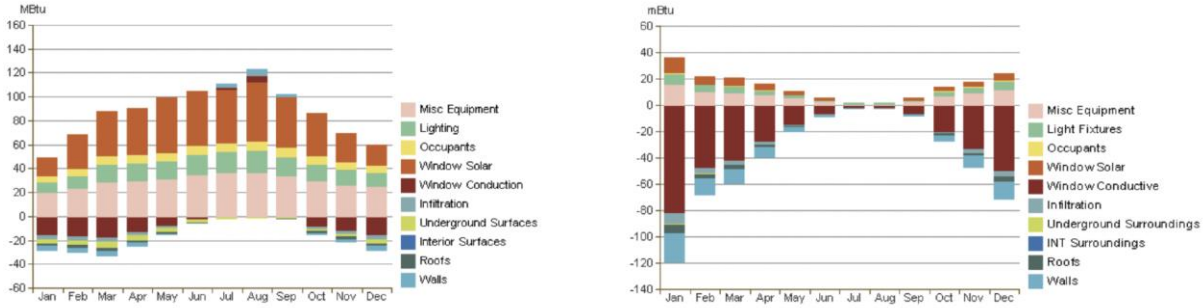


Figura 4. Cargas de calefacción y refrigeración.
https://knowledge.autodesk.com/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/Revit-Analyze/files/GUID-93D60C3D-7424-4B2B-8764-AA277B109174-htm.html

La primera y más importante estrategia de control del bienestar interior es el aislamiento térmico de la envolvente, tanto en muros como en cubierta y ventanas. Una gran parte de la energía se pierde o se gana a través de la piel del edificio. En verano, por ejemplo, en edificios mal aislados, será necesario incorporar mucho aire fresco en la vivienda para mantener el confort, perdiéndose rápidamente en el momento en que tal aporte se detenga. El aislamiento juega un papel esencial en el comportamiento de la edificación y en la sensación de confort/estrés térmico. Existen diagramas que muestran la curva de temperatura en el ancho de los muros, que resultan realmente visuales para entender el comportamiento del fenómeno. La curva es más inclinada para variaciones mayores de temperatura por unidad de espesor de muro, y mas tendida cuando la temperatura varía menos por unidad de espesor (Krope, J., & Goricanec, D. 2009). Las distintas capas muestran distintos comportamientos frente a la transferencia de calor, siendo el aislamiento el que muestra mejor resistencia. El valor U, o conductividad térmica, es la unidad internacional de medida, inversa a la resistencia. Su unidad de medida es W / m2K. Así, a menores valor de U de un material, mejor será su comportamiento aislante. Más adelante volveremos a este punto, al señalar las variaciones del Código Técnico de la Edificación (CTE) español que refieren a diferentes soluciones constructivas a lo largo del tiempo.

El siguiente mecanismo de control del bienestar higrotérmico es, sin duda, la ventilación. Como hemos señalado anteriormente, humedad relativa y temperatura son dos variables muy interconectadas. Con mayores valores de humedad relativa, las temperaturas máximas de confort disminuyen. También, en climas cálidos como el de

Madrid, la ventilación selectiva a determinadas horas del día permite introducir aire con menor temperatura al interior de las viviendas. La sensación de confort aumenta no solo por la introducción de aires más frescos, sino también por la disminución de la humedad relativa del ambiente, al ser los aires exteriores en climas secos menos cargados de humedad que los interiores. Temperatura y humedad relativa disminuyen con la renovación de aire en determinados momentos del día. En Madrid, concretamente, la ventilación nocturna resulta un mecanismo de control térmico muy necesario en los veranos, ya que la temperatura desciende notablemente. El problema resulta principalmente en las zonas con mayor afección de la isla de calor, donde el aire exterior a las viviendas sigue siendo caliente, por motivo de la acción de la masa térmica y la densidad de la edificación, como se explica en siguientes apartados. La ventilación, no obstante, es necesaria en climas templados y cálidos. Tanto es así que la implementación de algunos estándares de casa pasiva que eliminan la ventilación natural en favor de sistemas tecnológicos de recirculación de aire son todavía fruto de controversia. En España tradicionalmente se han seguido costumbres domésticas de ventilación, del mismo modo que de cierre de contraventanas y persianas para evitar el sobrecalentamiento solar. En el capítulo 2, sobre adaptación climática, se desarrolla este punto. Cabe señalar, a modo esquemático, que para una correcta ventilación además de enfrentar huecos en muros contrarios, la altura de los huecos resulta un factor determinante para la optimización del flujo del aire en la estancia, de manera que la renovación sea lo más completa posible. Como el aire más caliente tiende a acumularse en las partes superiores de una habitación, lo más aconsejable es que las aberturas de extracción se sitúen en esos espacios.

Tanto el aislamiento térmico como la ventilación de las viviendas se han ido regulando a nivel normativo en los últimos años. La aparición de el CTE (Código Técnico de la Edificación) en 2006 trajo consigo mayores exigencias en ambos sentidos, pero España contaba con normativa sobre el aislamiento de los edificios -no así de ventilación- desde el año 1979, con el NBE-CT-79. Llama la atención la tardanza en España en desarrollar normativas para el aislamiento de los edificios. Como veremos más adelante, la década de 1960 y la de 1970 fueron muy prolíficas en la construcción de vivienda en ciudades como Madrid. Sin embargo, todas las edificaciones anteriores a 1979 se hicieron sin requisitos mínimos de aislamiento, conllevando una gran cantidad de viviendas muy ineficientes en las que las situaciones de estrés térmico son altamente probables.

El NBE-CT-79 fue, por tanto, la primera regulación en materia de aislamiento. En él se introducen unos valores máximos de transmisión térmica -la U, que vimos con

anterioridad- para cubiertas, fachadas y suelos. Posteriormente a esa normativa se han sucedido reiteradas actualizaciones en esos valores, siendo cada vez más restrictivos y exigiendo mayor aislamiento en los edificios. Así, si en 1979 se exigía una transmitancia térmica U (W/m2K) en Madrid de 0,77 para cubiertas y 1,2 para muros, en la actualidad el valor exigido es de 0,35 y 0,41 respectivamente (CTE, 2019). Y antes de 1979 estas exigencias eran, sencillamente, inexistentes.

La evolución de las soluciones constructivas y de aislamiento térmico en la edificación en España es un asunto de vital importancia para entender el objeto de estudio del presente trabajo: la acción de la edificación y el urbanismo en el fenómeno del estrés térmico urbano. La puesta en práctica de las primeras exigencias después de 1979 explica unas construcciones muy vulnerables al sobrecalentamiento en verano y muy demandantes de energía calorífica en invierno en gran parte del parque edificado de Madrid. Para entender el efecto de las normativas térmicas sobre la edificación merece la pena detenerse en las diferentes soluciones constructivas presentes en Madrid, en edificaciones desde principios de siglo XX hasta la década de 1980, con los primeros requisitos de aislamiento puestos en práctica.

A principios de siglo XX las cubiertas eran principalmente de estructura de madera -tipo viga o cercha en función de la distancia entre apoyos- con piezas cerámicas entre ellas, para apoyar las tejas del tejado. Hacia el interior, se colocaba un falso techo de cañizo y yeso, creando una cámara de aire que cumplía la función de aislante. Este efecto se cumple por la transmitancia térmica del aire que estático, sin ser comparable a la de un aislamiento convencional, si que desempeña un papel importante en este tipo de viviendas gracias a la dimensión que tiene. Otras soluciones puestas en práctica en las primeras décadas de siglo, y aún presente en edificaciones del centro urbano de Madrid y los núcleos absorbidos (más adelante se explica este punto), es el de tabiques palomeros, compuesto por paramentos aligerados de piezas cerámicas. Esta solución resulta económica y eficaz a la hora de conseguir el mismo efecto: la creación de una cámara de aire que hace la función de aislamiento de cubierta. Más adelante, con la entrada de la arquitectura moderna en España y el hormigón como material estrella, muchas cubiertas pasan a ser planas, ejecutadas con hormigones aligerados. El aislamiento de la antigua cámara de aire se desempeña en estos años (1940-1950) por el propio hormigón que, al contener aire en su masa, resulta un aislante mayor que el del hormigón armado. En el caso de los muros el desarrollo es similar, y también viene marcado por el cambio que supuso la aparición del hormigón armado. Así, mientras a principios de siglo se utilizaban aún muros de carga de piedra o muros de ladrillo, más

adelante, en la década de 1940 se comienzan a construir estructuras de pilares de hormigón armado, donde los paños entre pilares se resolvían generalmente con ladrillo.

Un aspecto clave de este tipo de construcciones es la masa térmica. El ladrillo y la piedra son elementos masivos -la piedra en mayor medida- con capacidad de acumulación de calor. No son materiales aislantes, en el sentido en que su respuesta al paso de calor no es suficiente para aislar térmicamente un edificio, pero sus capacidades de acumulación, principalmente de la piedra, los hacen interesantes para el diseño bioclimático. Las construcciones con muros de piedra del centro de Madrid presentan esta cualidad, al ser espacios más frescos en invierno, en los que las temperaturas se mantienen más constantes a lo largo del día. El ladrillo suple la elevada transmitancia térmica de su parte masiva arcillosa por la menor en sus cavidades internas, en los que se forman pequeñas bolsas de aire. En cualquier caso, ninguna edificación construida en Madrid antes de 1980 se cuenta con materiales propiamente aislantes, más allá de las soluciones basadas en cámaras y aumento de espesores de cerramiento.

Como se ha señalado con anterioridad, el valor de la U se expresa en W/m2K, y es el inverso de la resistencia térmica (U = 1/R). La resistencia térmica se expresa como $R=e/\lambda$, en donde *e* es el espesor de la capa del muro (o cubierta) y λ es la constante de transferencia de calor del material de dicha capa. A menor λ mejor es la capacidad aislante del material, resultando en mejor resistencia térmica. Otra manera de aumentar la resistencia térmica de la envolvente es aumentar el espesor. En el caso de la piedra granítica, por ejemplo, el valor de λ es mayor de 2, mientras que en materiales aislantes es inferior a 0,04 unidades. Este mal comportamiento térmico se suple con muros de mucho espesor, mayores de 50 cm generalmente. Este breve ejemplo explica como algunas construcciones realizadas sin material aislante pueden ser habitables -aunque no eficientes- aumentando el grosor de sus muros. Con la entrada en vigor de las últimas versiones del CTE, estas soluciones se hacen inviables, y se hace necesaria la utilización de materiales aislantes en la edificación.

1.2 El clima de la ciudad

Para la caracterización de un determinado clima, los parámetros más determinantes a nivel arquitectónico son la temperatura seca, el viento y la humedad relativa. Como hemos visto con anterioridad, estos factores determinan notablemente la sensación de confort o estrés térmico en cualquier ambiente. Madrid se caracteriza por tener un clima con mucha oscilación térmica entre el verano y el invierno, y lo mismo se puede decir

de la humedad relativa. Las condiciones más extremas suceden en verano, con una atmósfera muy cálida y seca. Esto se debe, en parte, a su posición céntrica en la península Ibérica, así como a la exposición solar y la poca presencia de masas acuosas. Los vientos predominantes son de procedencia sur-oeste. La topografía urbana condiciona su régimen local de vientos. Según se ha señalado en algunos estudios, el río Manzanares y su vaguada actúan como un elemento diferenciador en este sentido (Madrid, 2009).

Los periodos de confort térmico en Madrid se dan en las estaciones de otoño y primavera, aunque estos no son de larga duración. La temperatura varía desde los 2,7ºC de media mínima en invierno a los 32,8ºC de media máxima veraniega. La humedad relativa baja en verano hasta un 37%, pudiendo alcanzar máximos de 71% en invierno (Madrid, 2009).

Estos datos sirven para caracterizar la zona climática de Madrid (CTE, 2019), pero para entender las características climáticas de la ciudad es necesario resaltar algunos aspectos concretos, que se relacionan con el efecto de isla térmica urbana. La Isla de Calor Urbana de Madrid ha sido estudiada por las administraciones locales (Lopez et al, 1993) así como por la academia (Salamanca et al, 2012), y por colaboraciones mixtas (Madrid, 2009), llegándose a detallar con bastante precisión su dimensión y grado de afección por barrios (Fernández et al, 2016). Las aproximaciones más recientes se centran en reconocer el déficit de datos que permitan entender el carácter dinámico del proceso (Nuñez Peiró et al, 2016). Gracias a estas aportaciones contamos con cartografía que nos permite entender el comportamiento del fenómeno a gran escala (Figura 5). El efecto de la densidad urbana, las vaguadas naturales o las masas verdes es reconocible en todas las cartografías temáticas disponibles sobre la isla de calor.

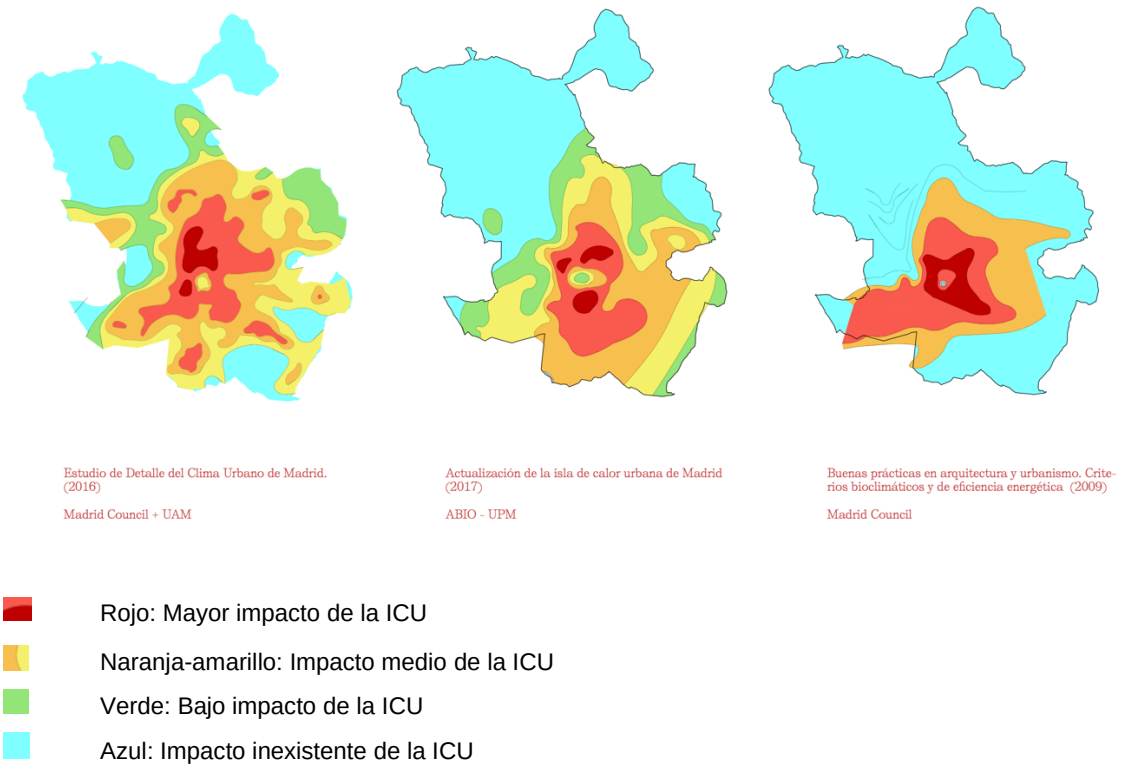


Figure 5. Mapas de Isla de Calor Urbana comparados

Tales análisis se perciben como necesarios y efectivos a la hora de disponer e impulsar planes de rehabilitación urbana, y estrategias de planeamiento sostenible en general, como veremos más adelante. Sin embargo, de cara a la caracterización de la isla de calor madrileña, más allá de la distribución de su efecto, resulta necesario atender a una escala menor. La oscilación térmica en un mismo distrito, o en un mismo conjunto de edificios o, incluso, en un mismo bloque habitacional, puede ser muy elevada. El calor no es una variable extendida en el territorio sino más bien algo sensible, algo que atañe a la piel y a las sensaciones corporales. El calor responde a la escala humana, y es capaz de transformar las actividades, generar costumbres y protocolos. En Madrid el calor es tan identitario que tiene su propia iconografía cultural, sus ritos y sus mitos. Aunque escapa del objetivo de este trabajo entrar en el impacto de las variables climáticas en la cultura popular madrileña si que, en lo que atañe a la caracterización climática, se resaltan aquí algunas actividades y costumbres que muestran, a nivel genérico, lo significa un año climático madrileño (Madrid, 2009).

Por motivo de las bajas temperaturas medias en invierno, en los meses de octubre a marzo existe necesidad de radiación solar. Algunas edificaciones con más margen de orientación en Madrid miran hacia el sur para maximizar las ganancias solares en este

período (De Luxán y Gómez, 2006). En los meses de invierno las viviendas mantienen todo el día las persianas abiertas y los toldos recogidos, abriéndose las ventanas solo en determinados momentos del día para asegurar la ventilación. Esto genera en ocasiones problemas de humedades superficiales, sobre todo en aquellas viviendas con peor orientación cruzada y en plantas bajas, con más contacto con el suelo. En los meses de abril y mayo existe sensación de confort, con oscilaciones diarias en los que suele ser necesaria la calefacción -sobre todo por la mañana-. A partir de mayo, en junio y principios julio existe sensación de confort en las mañanas, aunque las tardes suelen ser momentos de vulnerables por sobrecalentamiento. Las ventanas entornadas a última hora del día son una característica común en los meses de julio y agosto, con persianas y toldos protegiendo del soleamiento excesivo. Esta estrategia se presenta con más regularidad por la tarde que por la mañana por el motivo de que en la tarde las necesidades de ventilación se encuentran con las necesidades de protección solar, mientras que en la mañana el aporte de frescor exterior a la vivienda compensa el calentamiento solar. Todas las estrategias de ventilación son un gran aliado a la hora de controlar los efectos adversos y el estrés térmico producido por la ICU, pero en ocasiones no son posibles, debido a la elevada temperatura de las zonas exteriores a la vivienda, que están siendo calentadas por la energía acumulada en los edificios y pavimentos. La Isla de Calor Urbano de Madrid ha evolucionado desde que se estudiara por primera vez (Lopez et al. 1988). Aunque este incremento no parece afectar a la extensión del fenómeno, si que lo hace genera temperaturas cada vez más extremas. Esto sucede en los momentos más cercanos al solsticio de verano, donde son más las horas de acumulación solar (Nuñez Peiró et al, 2017). A escala barrio se diferencian microclimas en los que la edificación y el entorno próximo construido juegan un papel importante. Para tener una imagen más precisa del fenómeno del sobrecalentamiento de Madrid, es necesario acercarse a la escala construida, observando los microclimas y su relación con el entorno construido, las diferentes tipologías de edificios y su comportamiento energético.

1.3 Parque edificado de la ciudad

Una breve mirada a una foto aérea de Madrid resume algunas de las características más relevantes de su trama urbana. La ciudad se estructura desde un centro denso -el centro histórico- donde se aprecian calles irregulares y poca porosidad en la edificación (Figura 6). Alrededor se percibe un crecimiento organizado -el Ensanche- interrumpido únicamente por el parque del Retiro. La siguiente corona en el desarrollo se forma por la suma de crecimientos organizados, en las 6 direcciones de salida de la ciudad, y

centros de crecimiento espontáneo que se corresponden con municipios periféricos absorbidos por la trama urbana. Llama la atención el acceso del gran parque de la Casa de Campo, como una intromisión del medio natural en la ciudad, casi tocando la zona centro. El río Manzanares se percibe con un trazado sinuoso por todo el lateral oeste de la ciudad, continuando hacia el sureste.

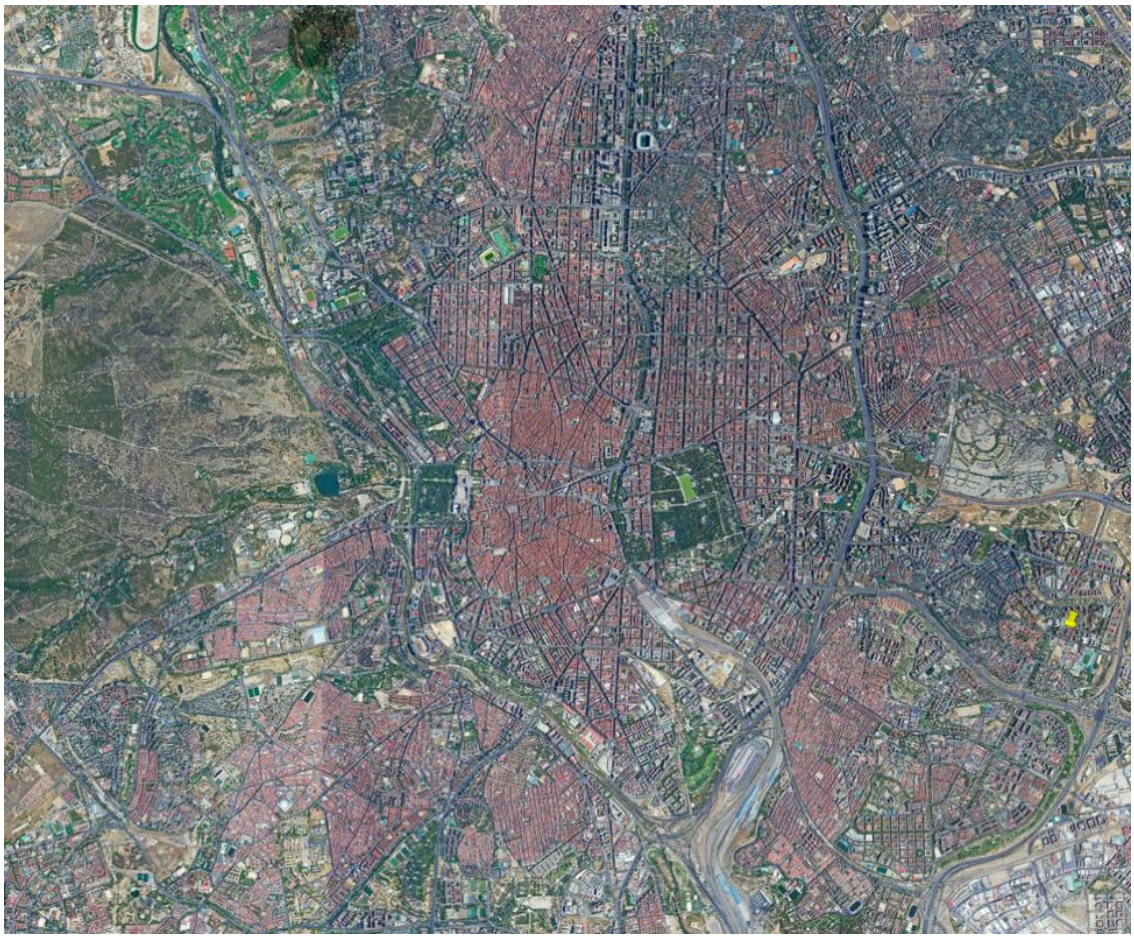


Figura 6. Madrid, fotografía aérea

El urbanismo del siglo XX en Madrid

No es el objetivo del presente trabajo detenerse excesivamente en los diferentes momentos del desarrollo urbano de la ciudad de Madrid, pero sí exponer algunas nociones básicas del mismo, especialmente identificando en cada época aquellas tipologías y soluciones constructivas mayoritarias, además de otros aspectos que afectan al comportamiento climático de la ciudad, como son la orientación o presencia de zonas verdes. Así, el desarrollo urbano de la ciudad se puede esquematizar en 4 momentos diferenciados:

1. Principios de siglo XX. La ciudad de comienzos de siglo XX es una ciudad de trazado medieval y alta densidad, con calles que se adaptan orgánicamente a la orografía del la zona próxima al río. El actual parque del Retiro, la Casa de Campo y el Río Manzanares configuraban los límites naturales. Una serie de accesos daban salida a las principales localidades próximas (Alcalá, Segovia, Toledo). La falta de salubridad y el hacinamiento, característica de este tipo de núcleos en Europa, llevó a la necesidad de plantear un gran proyecto de urbanización controlada. La segunda mitad del siglo XIX fue dedicada al desarrollo de dicho plan.
2. 1900-1940. Ensanche y colonias de viviendas. Toda la ejecución del Ensanche data del siglo XX, en su primer tercio (Barral, 2015). La transformación de Madrid para convertirse en Gran Capital es debida en gran medida a esta época. Se une al proceso de construcción de viviendas el de infraestructura pública, transportes y servicios. Sobre una malla ortogonal aparecen Chamberí y Barrio de Salamanca como barrios residenciales, y al sur se va desplazando la actividad fabril, con estaciones de ferrocarril a tal efecto. Aparecen también en la ciudad zonas de “hotelitos”, o viviendas unifamiliares con jardín, pensadas para las clases más acomodadas.
3. 1940-1960. Crecimiento tentacular planificado. Una vez completado el Ensanche -primer anillo que rodea al centro histórico- y desarrollados los proyectos de colonias y ciudades jardín, surge la necesidad de crecimiento planificado con el objetivo de incorporar los poblados periféricos a la trama urbana. Esto se traduce en un crecimiento tentacular, anexionando poblados entre 1948 y 1954. La población que llega a la ciudad sin recursos tiene que elegir entre alquilar viviendas de baja calidad en el centro o construir de manera informal en los suburbios. Comienzan los problemas de escasez de vivienda.
4. 1960-1980. Desarrollismo. Si observamos una gráfica del crecimiento demográfico de la ciudad, resulta llamativo el incremento poblacional entre 1940 y 1980, pasando de 1 a 3,2 millones de personas (Figura 7). Este incremento fue especialmente agudo a partir de 1960, y conllevó una gran actividad edificatoria en la ciudad. Se calcula que de los 155 millones de m2 de uso residencial construidos en la ciudad de Madrid, un 64,5% son anteriores a 1980, es decir, carecen de requisitos de aislamiento térmico mínimo (Ayuntamiento de Madrid, 2013). Los proyectos de vivienda en bloque abierto, con espacios públicos ajardinados -los poblados dirigidos- aparecen con fuerza a principios de los años 60, siendo progresivamente reemplazados por proyectos de inciativa privada y mayor densidad edificatoria. Las cualidades constructivas y tipológicas de esta

etapa son de gran interés para este trabajo, por estar sobreexpuestas al calor urbano, como veremos más adelante.

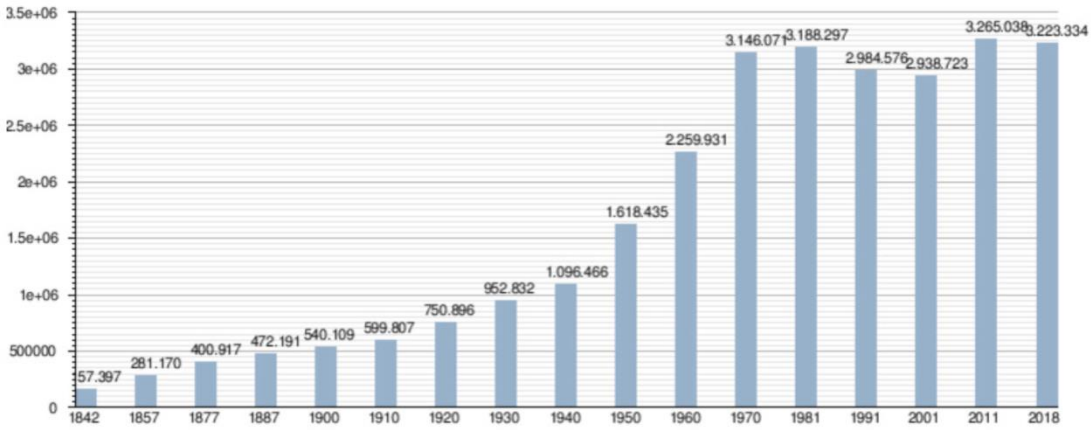


Figura 7. Crecimiento demográfico de Madrid. INE Instituto Nacional de Estadística

Posteriormente a 1980, con la entrada de las primeras regulaciones en materia de aislamiento térmico, las tipologías edificatorias se consideran menos vulnerables al sobrecalentamiento. A ello también se une su situación más alejada de las zonas de alta densidad y el menor efecto de la ICU. Por estos motivos, los periodos de desarrollo urbanístico posteriores a 1980 se dejan fuera de este trabajo.

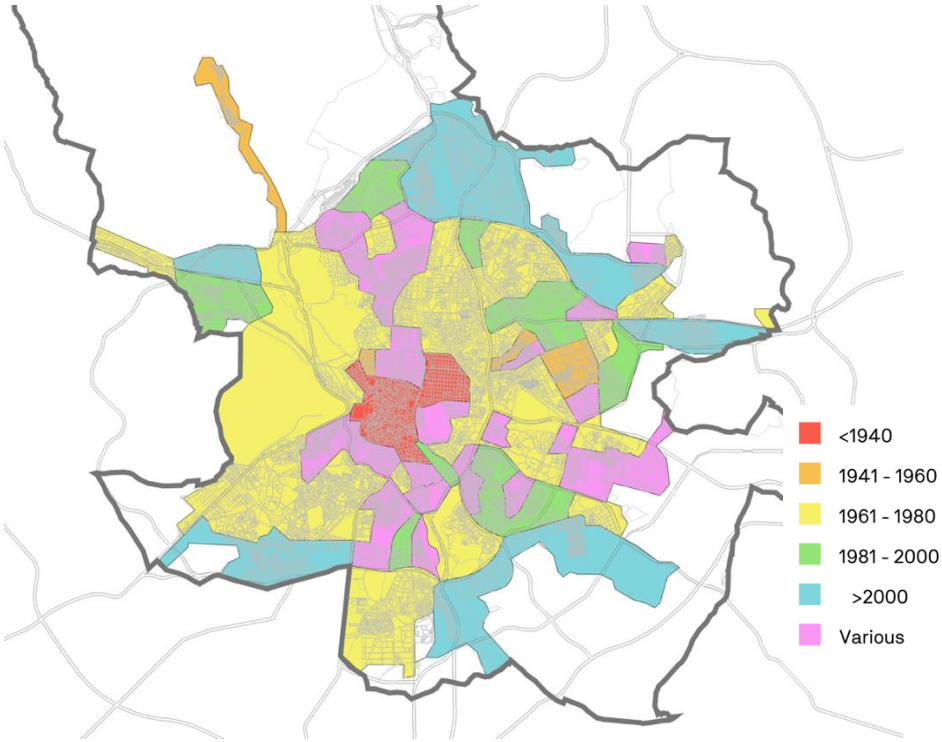


Figure 8. Periodos de construcción en Madrid.

Evolución tipologías residenciales en Madrid y su comportamiento térmico

Centro histórico y poblados satélite (Pre-1900).

Los centros de las ciudades periféricas anteriores a su anexión, y el propio centro de la ciudad de Madrid, están recorridos por calles estrechas y parcelas profundas con patios de manzana irregulares. La sobre urbanización ha dado lugar a muchos lotes completamente ocupados, donde es difícil encontrar una iluminación y ventilación adecuada, sobre todo en plantas bajas. Una tipología muy común en el centro de Madrid son las corralas, principalmente en el barrio de Lavapiés. Las corralas son edificaciones con patio interior y galerías de acceso a las viviendas. Estas edificaciones, bien conservadas, tienen un funcionamiento bioclimático adecuado. Esto se debe a la acción del patio, que ofrece un espacio fresco y sombreado, y permite la ventilación cruzada nocturna en verano en todos los apartamentos. Además, suelen ser espacios vegetales y donde también es común ver ropa colgada. Ambos elementos refrescan el aire, creándose microclimas en las galerías. La misma disposición de las galerías ofrece sombreamiento a los huecos de las fachadas. Esto hace que, en las horas de mayor radiación solar en torno al mediodía, las ventanas puedan estar en sombra.

Sin embargo, no todas las edificaciones en el centro histórico tienen estas características. Los principales problemas a nivel de estrés térmico por sobrecalentamiento en esta zona son derivados de la dificultad de refrescar de modo pasivo las viviendas -por ventilación- en las noches, ya que están localizadas en una zona donde el efecto de la isla de calor es más extremo y las temperaturas nocturnas se mantienen elevadas por la propia emisión de calor de los edificios. Las edificaciones en el centor son masivas y tienen mucha inercia térmica. Esto significa que todo el calor acumulado durante el día se devuelve a la atmósfera urbana por la noche, no pudiendo ventilar adecuadamente las viviendas. Además, las zonas céntricas cuentan con menos ancho de viarios, dando lugar a que pocas calles estén sombreadas por vegetación.

Ensanche y colonias (1900 – 1940).

La trama del ensanche de Castro está formada por una retícula de ejes norte-sur y este-oeste. Esto hace que las viviendas puedan tener un comportamiento térmico óptimo -las que miran al sur, con control de la radiación solar mediante toldos-. Si nos centramos en el sobrecalentamiento en los meses cálidos, existe la posibilidad de que las viviendas de las plantas superiores, principalmente las orientadas al oeste, puedan sufrir estrés térmico en las últimas horas del día por la acumulación de calor y el soleamiento

excesivo. La sección de la calle, diferente a la de Barcelona, da lugar a espacios poco sombreados en las plantas inferiores. Esto hace que exista la posibilidad en estas viviendas, y en todas las orientadas a norte, de sufrir más por el frío invernal que por el calentamiento de verano. Las calles del Ensanche, aunque de distintos anchos y número de carriles, sí están generalmente arboladas. Esto ofrece zonas sombreadas de manera bastante regular en sus aceras y minimiza la vulnerabilidad térmica del viandante. En cualquier caso, este fenómeno está ligado a otras variables, como la dimensión de la calzada y el mayor o menor acristalamiento de los edificios. Por ejemplo, el eje Castellana es un bulevar ampliamente poblado por especies vegetales, pero ofrece las mayores mediciones de temperatura en el verano (Ayuntamiento de Madrid, 2013). Del mismo modo que ocurre en el centro histórico, el Ensanche está compuesto de manzanas cerradas, con patio interior que se ha ido ocupando en mayor o menor medida. La ausencia de espacios públicos y plazas, fruto de la especulación y congestión urbanística de primera mitad de siglo, da lugar a barrios con poca presencia de arbolado concentrado. Esta situación solo cuenta con la excepción del Parque del Retiro que, como se aprecia en las cartografías de la Isla de Calor, supone un alivio al estrés térmico en los aledaños.

Las colonias de hotelitos están compuestas por viviendas aisladas unifamiliares, con terreno propio y arbolado, lo cual mejora notablemente el comportamiento microclimático de su entorno, a diferencia de la zona Ensanche.

Crecimiento planificado (1940 -1960)

El crecimiento urbano planificado se puede estructurar en dos formas. Por un lado, proyectos de urbanización de manzana cerrada, generalmente más cercanos al perímetro del ensanche, donde el trazado viario depende en gran medida de la orografía o de la estructura urbana colindante. La presión de los precios por la ubicación céntrica da lugar a un tejido urbano denso, donde la presencia de arbolado es bastante reducida y donde las calles son de poca anchura. Del mismo modo que en la zona centro o en el ensanche, las manzanas cuentan con patios interiores para la ventilación e iluminación de las viviendas. Esta parte de la ciudad forma un parcheado en torno a lo que eran núcleos existentes y no responde a una orientación clara, sino a la necesidad de ir cosiendo lugares concretos con la ciudad.

Figura 9. Poblado Dirigido, Fuencarral.
https://aris.es/project/2008-poblado-dirigido-de-fuencarral/

Por otro lado, a finales de la década de 1950 se realizan los primeros proyectos de vivienda social planificada, o poblados dirigidos, que cumplen con la doble función de llevar la ciudad a los pueblos satélite y absorber la demanda de vivienda de bajo coste con espacios colectivos de mayor calidad (Esteban-Maluenda, 2000). Los poblados dirigidos fueron diseñados por algunos de los arquitectos más relevantes del momento, quienes mostraron en su ideación una clara inclinación hacia los preceptos del Movimiento Moderno. Entre 1945 y 1956 se maduran conceptos de experimentación urbanística, que resultan fundamentales para entender los planes de vivienda y urbanismo que determinarán la etapa desarrollista. En esta época se fraguan los proyectos de poblados de absorción -que acogían personas provenientes de viviendas en mal estado- y poblados dirigidos -que acogían personas del chabolismo-. Los poblados dirigidos estaban pensados para que promotores autoconstructores individuales pudieran participar en la ejecución y ahorrar costes para la obtención de vivienda digna. El ejemplo más brillante de poblado dirigido fue el de Fuencarral A, diseñado por el arquitecto Saenz de Oiza, en el que a partir de una orientación óptima se disponían itinerarios peatonales para acceder a las viviendas (Figura 9). En la arquitectura de los poblados dirigidos primaba la austeridad constructiva y el racionalismo, y fue la oportunidad de arquitectos españoles de abrirse a los estilos internacionales (Sambricio, 2003). Esto supone una profusa incorporación de la vegetación a los espacios interbloque y la priorización de los itinerarios peatonales, plazas, paseos y escaleras. La adaptación al terreno es una constante en estos

proyectos, resultando en una cierta variedad de orientaciones, donde prima la orientación sur cuando es posible. A nivel de comportamiento térmico, esto supone barrios donde la sensación al exterior de las viviendas es agradable, favorecida por las superficies sombreadas. Sin embargo, al interior de las viviendas la sensación se invierte por la pobreza material de las construcciones. El estrés térmico en el interior de las viviendas puede ser mayor en las plantas superiores, debido al nulo aislamiento de los edificios, aunque esto depende de la tipología edificatoria y la orientación, como veremos más adelante. Como conclusión, podemos argumentar que los buenos principios de diseño bioclimático de los poblados dirigidos y de absorción, como son la correcta orientación, la ventilación cruzada y la presencia de zonas verdes (Cervero y Agustín-Hernández, 2018) se contrarrestan con una pésima calidad material e ineficiencia de la construcción en general, motivada por la ausencia de criterios técnicos de control térmico y por la primacía de resolución de las urgencias en materia de vivienda.

Vivienda social (1960 – 1980)

Una vez encauzados los problemas de vivienda social, Madrid seguía recibiendo gran cantidad de nuevos pobladores, atraídos por las oportunidades laborales. De acuerdo al Catastro, un 17% del parque edificado de Madrid fue construido en entre 1960 y 1980. Existe una fuerte actividad de construcción de viviendas al inicio de este período para llevar a cabo el Plan de Emergencia Social. En poco menos de 4 años, el I.N.V. construir 18.000 viviendas en Pueblos Dirigidos y 10.000 viviendas de absorción en Moratalaz, por ejemplo. A partir de mediados de 1960 la promoción pasa a ser de iniciativa privada. Esta situación da lugar a que, entre 1960 y 1979, se ejecuten gran cantidad de barrios con soluciones constructivas similares, pero con algunas diferencias tipológicas y de diseño urbano.

En los barrios de promoción pública priman las tipologías lineales, en diversos tipos, y en alturas desde 3 a 5 plantas. Además, en menor medida, encontramos bloques en T y L. Los barrios de promoción privada, en muchas ocasiones financiado por entidades religiosas sin ánimo de lucro (Fernandez Nieto, 2006), cuentan con densidades habitacionales mucho mayores debido en gran medida al uso genralizado de la tipología en H. Las diferentes viviendas en H de la promoción privada permiten conectar bloques por sus esquinas, además de contar con mayor edificabilidad en las parcelas (Chumillas, 2001). Esta tipología cuenta con gran utilización en esta época, contabilizándose casi el doble a las lineales (Pombo et al, 2014). Esto conlleva la desaparición paulatina de las

zonas verdes entre bloque, siendo sustituidas por calles o zonas peatonales de menor dimensión.

A efectos del rendimiento térmico de estos entornos, cabe señalar dos aspectos. Por un lado, las diferencias constructivas son mínimas con lo propuesto en la etapa anterior por parte de los poblados dirigidos y de absorción. Si analizamos distintas fachadas en viviendas de promoción pública y privada, vemos que las soluciones se mantienen: muro de ladrillo con cámara de aire y tabicón cerámico, además de puentes térmicos (no continuidad de aislante) en los frentes de forjado. El cambio que supuso el aumento de la densidad urbana sí que tiene efectos adversos sobre la sensación de calor y puede generar mayores situaciones de estrés térmico. Esto se debe a la ausencia de zonas arboladas que, además de provocar mayor sensación de calor por radiación directa a las personas, provoca una mayor acumulación térmica en los materiales de los edificios y calles, que es devuelta a la atmósfera en las horas nocturnas.

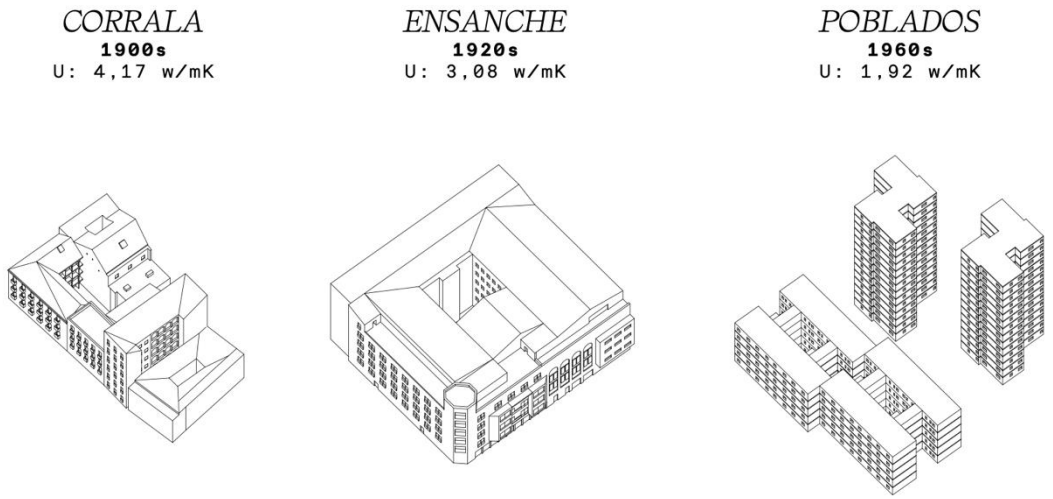


Figure 10. Tipologías más relevantes del siglo XX en Madrid y conductividad de las cubiertas.

Las diferencias en cuanto a las tipologías empleadas en esta época, y su papel en el desempeño térmico de las viviendas, se detallan a continuación.

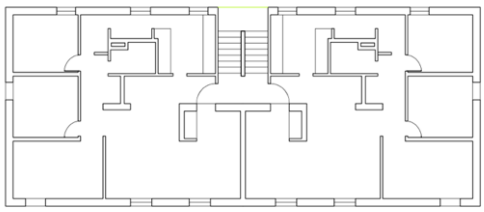
<u>Tipologías de vivienda social: lineal, en H y torre.</u>

Como hemos visto, el problema de la precariedad habitacional de la ciudad de Madrid a partir de 1940 dio lugar a la necesidad de construir rápido y barato. Hemos prestado atención a como afrontó la problemática a partir de distintos planteamientos urbanísticos, y el efecto a nivel térmico que las diferentes soluciones para los espacios exteriores. Además, en esta época se introdujeron por primera vez en la ciudad algunas

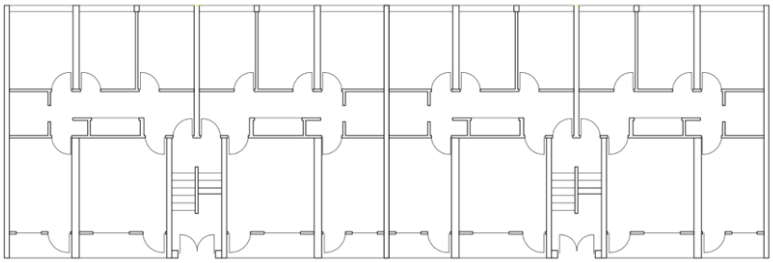
tipologías para edificios de viviendas que ya habían sido probadas anteriormente en otras ciudades europeas. Las tipologías más destacadas son el bloque lineal, el bloque en H y la torre de viviendas. Gran parte de la ciudad de Madrid previa a las normativas de aislamiento está construido con estos tipos, con lo que merece la pena detenerse en analizar su comportamiento térmico:

Bloque lineal

Tal y como se ha señalado, esta tipología fue ampliamente utilizada en los proyectos de iniciativa pública, combinándola con viviendas pareadas con patio. El bloque lineal se define por una doble crujía de pilares de hormigón y muros de ladrillo. La orientación de esta tipología se suele deber a la orografía de la zona, diferenciándose en ocasiones en que por tamaño de parcela no se podía mantener el N-S, en favor de la perpendicular E-O. Encontramos un interés por facilitar la orientación óptima, en la que los espacios vivideros se volcaban al sur para dejar las zonas húmedas (baño y cocina) al norte. Esta situación da lugar a espacios relativamente bien soleados en invierno y fáciles de proteger -con toldos- en verano. La necesidad de utilizar sistemas de protección solar es evidente, principalmente en aquellas edificaciones que no podrían tener la orientación más deseable. Otra característica de estas edificaciones es la buena ventilación cruzada, facilitada por la presencia de huecos enfrentados de ventanas en muros contrarios.



Lourdes *(SW Madrid)*



Fuencarral *(N Madrid)*

Figura 11. Planta de bloque lineal.

Una fortaleza de esta tipología es que se encuentra en supermanzanas abiertas, en los que la reiteración de una orientación, la generosidad de los espacios intersticiales y la vegetación permiten una ventilación y la presencia de microclimas entre los bloques. Un problema que tienen los bloques lineales es que generalmente no cuentan con accesibilidad a través de ascensor hasta las viviendas, generando situaciones que pueden devenir en mayor estrés térmico en personas mayores residentes en plantas superiores, por motivo del incremento de su tasa metabólica por la subida a través de las escaleras.

Bloque en H

Los vecindarios de promoción privada cuentan con muchas viviendas en bloque H, donde, al duplicar el número de viviendas “servidas” por el núcleo de comunicación, se consiguen mayores densidades. La calidad constructiva de esta tipología es similar a lo anteriormente descrito -ver sección constructiva- y se reproducen problemas de aislamiento térmico por la pobre materialidad de las fachadas y por la presencia de puentes térmicos en los frentes de forjado.

La mayor fortaleza a nivel de comportamiento térmico de estas edificaciones es la presencia del patio, que supone un mecanismo pasivo para enfriar las viviendas por ventilación. El patio es un espacio generalmente sombreado, donde los materiales no reciben la misma radiación solar en las zonas bajas que en las altas, generándose una succión de aire en sentido ascendente, que a su vez saca el aire recalentado de las viviendas.

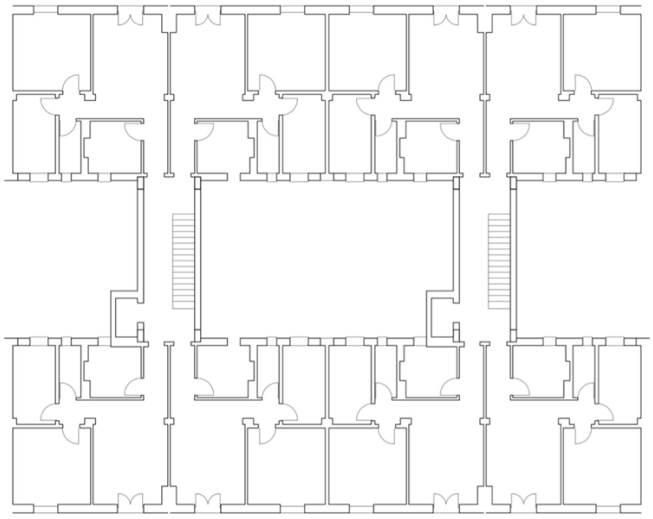


Figura 12. Planta de bloque en H.

Sin embargo, una debilidad evidente en esta tipología consiste en la falta de vegetación y sombreado de los espacios exteriores, además de la imposibilidad de evitar la peor orientación en verano, a oeste. Esto se debe a que, por la forma de la H, las viviendas vuelcan sus espacios de mayor uso (salón y dormitorios principales) hacia la calle, dejando el patio para cocina, baño y dormitorios secundarios. Para que todas las viviendas tengan soleamiento invernal se suele priorizar la orientación E-O, generando viviendas sobrecalentadas hacia el oeste en verano. Como hemos explicado anteriormente, esto se debe a que las estrategias de refrigeración pasiva por ventilación son más difíciles ya que se deben proteger los huecos del sol a las últimas horas del día. Además, esta tipología conlleva los problemas de sobrecalentamiento por densidad urbana que encontramos en el efecto isla de calor, debido principalmente a la radiación de superficies y la presencia de mayor número de sistemas de aire acondicionado por m2, que veremos en el siguiente apartado.

Torre

Otra tipología ampliamente utilizada posteriormente a 1960 es el de la torre. Existen gran multitud de soluciones, que se implementaron en los barrios periféricos en prácticamente toda la circunvalación urbana. Algunas se asemejan más a la tipología de plana en H, otras tienen forma de cruz, etc. Lo que comparten Las tipologías de torre es la presencia de un núcleo de comunicación con ascensor en el centro, y viviendas en todas las orientaciones. Generalmente las viviendas cuentan con dos orientaciones, colocándose en esquina de la torre y habiendo 4 viviendas por planta.

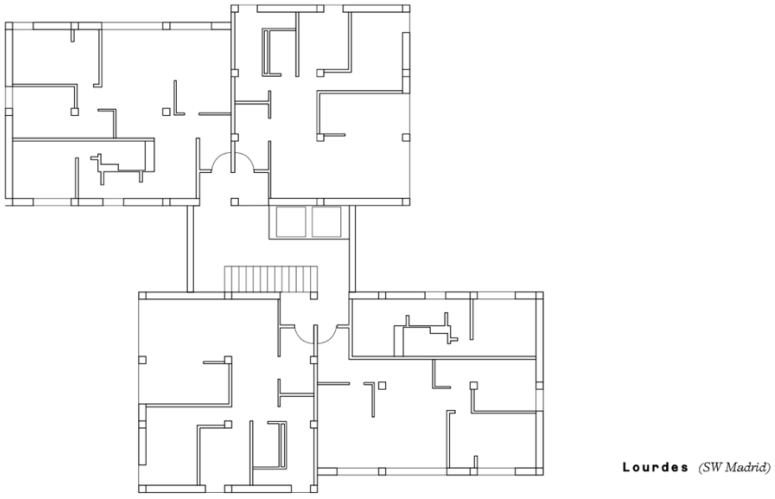


Figura 13. Planta de torre.

Un punto a favor de la solución en tipo torre es que, al ser un elemento puntual y no longitudinal (en planta), su orientación puede ser elegida. Basta para ello con girar la torre. Encontramos en Madrid generalmente torres orientadas según los ejes N-S y E-O en los casos de promociones de vivienda en manzana abierta, donde las zonas verdes absorben la diferencia de ángulo con el viario. Un ejemplo de esto lo encontramos en las torres del barrio de Batán o en la calle Comandante Fortea. En zonas con menor presencia de zonas verdes, donde el trazado vial apenas deja espacios de amortiguación del giro, las torres tienden a orientarse según marcan las direcciones de las calles, que a su vez están regidas por la supraestructura urbana. Este es el caso de las torres del barrio de Begoña.

Otro punto favorable a la solución en torre es la presencia de ascensor. Esto, como se ha señalado con anterioridad, es un asunto fundamental y atañe a la sensación de estrés térmico en los calurosos veranos madrileños. Como se señaló al comienzo de este informe, la sensación de confort térmico viene influida también por el tipo de actividad realizada. Para personas vulnerables al calor, con sobrepeso o de avanzada edad, la actividad de ascensión por escaleras puede suponer un sobreesfuerzo, determinando en una situación de estrés térmico que en parado podrían no experimentar.

Los puntos más vulnerables de la torre son la mala ventilación cruzada que presentan, ya que nunca encontramos fachadas enfrentadas en esta solución. Del mismo modo, en las plantas superiores, se puede experimentar mayor sensación de estrés térmico con motivo de la acumulación de calor del propio edificio y por la nula presencia de arbolado que arroje sombra sobre las ventanas.

Como hemos visto, en Madrid existe gran cantidad de edificaciones construidas antes de las normativas sobre aislamiento térmico, que sin embargo pueden ser encuadradas en unos sistemas constructivos y unas tipologías edificatorias comunes. La necesidad de construir mucho y a bajo coste conllevó que la experimentación, que sí se había buscado en los primeros años de vivienda social, fuera dando paso a la repetición. Encontramos en Madrid, en las periferias que bordean la M·30, muchos barrios similares unos a otros, donde los bloques lineales, en H, y las torres, se repiten. Encontramos diferencia en cuanto a los espacios de circulación entre edificios, la separación entre los mismos, o la presencia -o no- de arbolado. Pero donde más se parecen las soluciones es en el aspecto constructivo, con el acabado de ladrillo visto y los forjados de hormigón armado asomando en la fachada. Algunas viviendas han introducido mejoras, como el

cambio de ventanas o el cierre de terrazas -las posibilidades de adaptación para este tipo de edificios se detallan en el segundo capítulo-, pero lo que es común a ellas es el alto grado de vulnerabilidad frente al estrés térmico. Tanto es así que encontramos en una buena cantidad de trabajos este tipo de edificio como objeto de estudio cuando se trata de ineficiencia energética y vulnerabilidad frente al cambio climático (Cuerda et al, 2014; Córdoba-Hernández et al, 2020; Pombo et al, 2014; Sánchez et al 2017). Una buena forma de identificar viviendas vulnerables es atender a su año de construcción, algo que se puede encontrar cada vez en más portales (Hernández et al, 2019). Pero, además de la edad del edificio, que nos indica si se construyó la etapa desarrollista previa al NB CT 79, otro factor determinante es el propio comportamiento dinámico y multiescalar de la isla de calor urbana. Dedicaremos las siguientes páginas a entender su correspondencia con la estructura vial, verde y edificada de la ciudad.

Figura 14. Bloques lineales en Ávila, Madrid y Sevilla.
(Sanchez-Guevara et al, 2017)

1.4 Viviendas sobrecalentadas.

Si volvemos a los mapas térmicos (Figura 15), vemos la influencia de algunos elementos verdes -Retiro, Casa de Campo y Parque Madrid-Río- a la hora de modificar las líneas isotérmicas. Sobre las tres cartografías más reseñables (Ayuntamiento de Madrid, 2016; ABIO, 2017, Ayuntamiento de Madrid, 2009), en las que se ha detallado la metodología del levantamiento de datos, encontramos una serie de invariables, que señalan los factores más relevantes en el calentamiento o enfriamiento de la ciudad.

Por un lado, es irrefutable la acción de la masa arbórea en como atenuador del efecto de la ICU. Como podemos ver en todas las cartografías térmicas presentadas, y también en las de hace más de 30 años (López Gómez et al, 1988), el Parque del Retiro supone una bolsa de frescor en el centro urbano donde, de otro modo y atendiendo a la extensión de las zonas más cálidas, las temperaturas podrían ser superiores a las que se obtienen a día de hoy. El parque del Retiro consta de arbolado de gran porte, y cuenta además con riego asistido y un gran estanque en el centro. La presencia simultánea de infraestructura verde y azul resulta una de las medidas más efectivas a la hora de controlar el sobrecalentamiento urbano. Más adelante volveremos a este punto.

Otra invariable que encontramos en todas las cartografías térmicas de Madrid es la acción de la casa de Campo, que, como gran masa no edificada actúa como una zona no urbana, manteniendo los valores climáticos regionales más cerca del centro urbano por todo el lateral oeste de la ciudad. El Parque del Oeste, como prolongación de la Casa de Campo más allá del río Manzanares, prolonga aún más este efecto.

Figura 15. Mapa térmico de la ICU de Madrid: distribución (izq), días con sobrecalentamiento (dcha) (Madrid, 2016).

Otras coincidencias son la mayor extensión de la isla térmica hacia el sur con respecto al norte, donde, además, se dan las condiciones de habitabilidad más desfavorables. Esto se puede deber a las diferentes tipologías edificatorias que encontramos en ambos extremos, siendo más común en el norte la vivienda unifamiliar con jardín.

También resulta importante señalar, a tenor de la observación de los mapas térmicos de Madrid, que la acción del río resulta evidente, al integrar aires más frescos de la Casa de Campo hacia zonas urbanas, limitando la extensión de la Isla de Calor por el flanco sureste. El efecto ICU también tiene mucho que ver con la densidad edificatoria. Veremos más adelante cómo es claramente identificable la correspondencia entre el mapa climático y aquel de las diferentes densidades de edificios. Por último, resulta interesante resaltar que en todas las cartografías de la ICU existe correspondencia entre densidad edificatoria, mayor número de edificios ineficientes y mayores niveles de estrés térmico (Figura 19).

Efecto del verde urbano en el sobrecalentamiento de Madrid.

Como se ha señalado, la acción de las masas arbóreas para minimizar los efectos del sobrecalentamiento urbano es clara. Sin embargo, esta acción depende de algunas variables, ya que no todo lo considerado como zona verde actúa de la misma manera. Como veremos en el capítulo dedicado a medidas de adaptación, la acción conjunta de zonas verdes e infraestructura azul puede dar lugar a bajadas de temperatura considerable, y es algo que está siendo explorado desde el ayuntamiento de Madrid, según veremos en el capítulo dedicado a políticas. Ahora, volviendo a la cartografía térmica, se han destacado una serie de zonas verdes de mayor tamaño en la ciudad, cada una con unos sistemas de mantenimiento y tipo de flora diferenciada.

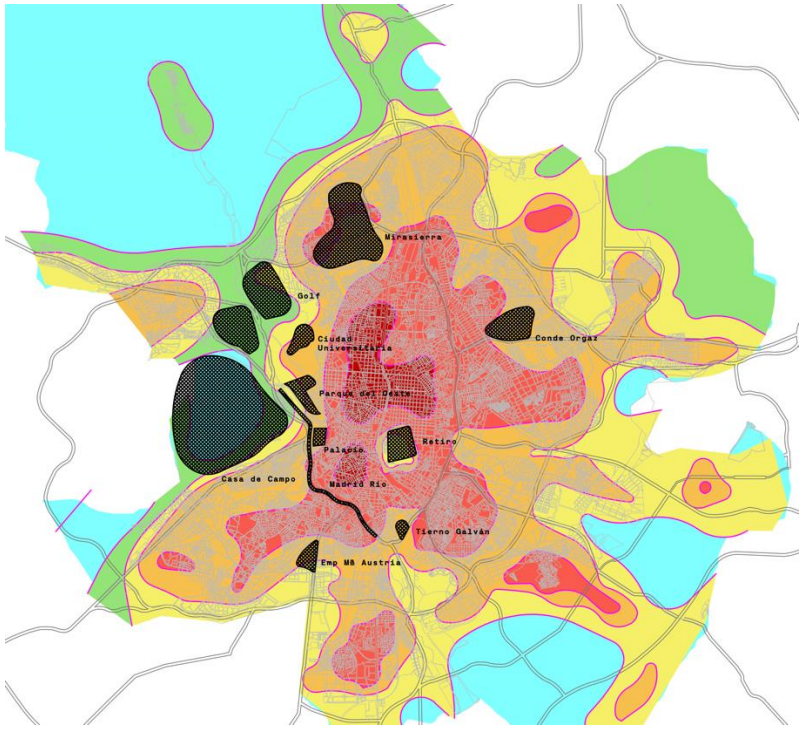


Figure 16

Principales areas verdes relacionadas con el mapa térmico de la ICU

Al norte encontramos la zona de viviendas unifamiliares de la Moraleja, Conde Orgaz y Mirasierra. Especialmente interesante es el barrio de Conde Orgaz, con sus portentosos ejemplares de pino en el viario público y con jardines extensos para comunidades de vecinos y viviendas unifamiliares. En estos barrios existe el mayor ratio de piscina por habitante. La acción de todos estos elementos produce un efecto evidente en la mancha de la isla de calor, cuyos valores de temperatura se diferencian notablemente de los barrios vecinos (barrio del Pilar o Las Tablas).

Una situación similar encontramos en otros parques urbanos, donde las especies pináceas -endémicas de la zona- están presentes. Esto sucede en zonas como Ciudad Universitaria, el Pardo, Parque del Oeste o en la Casa de Campo. El gran porte de las especies de esa zona, donde por otro lado no hay necesidad de riego, y la cercanía entre estas zonas, produce un ecosistema más fresco en todo el lateral oeste de la ciudad. Idealmente esto podría ser introducido hacia los barrios más vulnerables del sur, por la acción del río. Algunas de las propuestas municipales de lucha contra el Cambio Climático utilizan el río como argumento y eje vertebrador de corredores frescos y ecológicos.

Otros parques más domesticados, como el parque lineal de Madrid-Río, el parque de Tierno Galván, o de Emperatriz Mª de Austria generan situaciones de mayor frescor, también debido a la presencia de fuentes y sistemas de riego nocturno. Resulta interesante señalar que otras zonas periurbanas cuentan con elevados valores de calor, debido en parte a procesos de urbanización en los que desaparece la masa arbórea y aparecen zonas asfaltadas que se mantienen durante años sin desarrollar.

Efecto de las tipologías edificatorias en el sobrecalentamiento de Madrid.

Algunas consideraciones sobre las tipologías edificatorias ya han sido resaltadas, principalmente en cuanto al comportamiento térmico de las mismas, a la hora de ofrecer confort interior. Pero, volviendo al mapa térmico, ¿podría argumentarse alguna correspondencia entre tipologías urbanas y extensión de la ICU?

Como se ha señalado en el punto anterior, algunas tipologías son más adecuadas a la hora de ofrecer condiciones de confort, a nivel de edificio y de barrio, como -evidentemente- las viviendas unifamiliares con jardín y piscina, o los bloques de apartamentos ubicados en manzana abierta con arbolado entre edificios. En el plano adjunto se observa un levantamiento de distribución de las tipologías en la ciudad, utilizando una rejilla de 200x200m, y señalando con un color el tipo de edificio mayoritario en el sector correspondiente. Dicho trabajo fue empezado por el grupo de investigación ABIO, de la Universidad Politécnica de Madrid, y aquí se complementa y continúa (Figura 17).

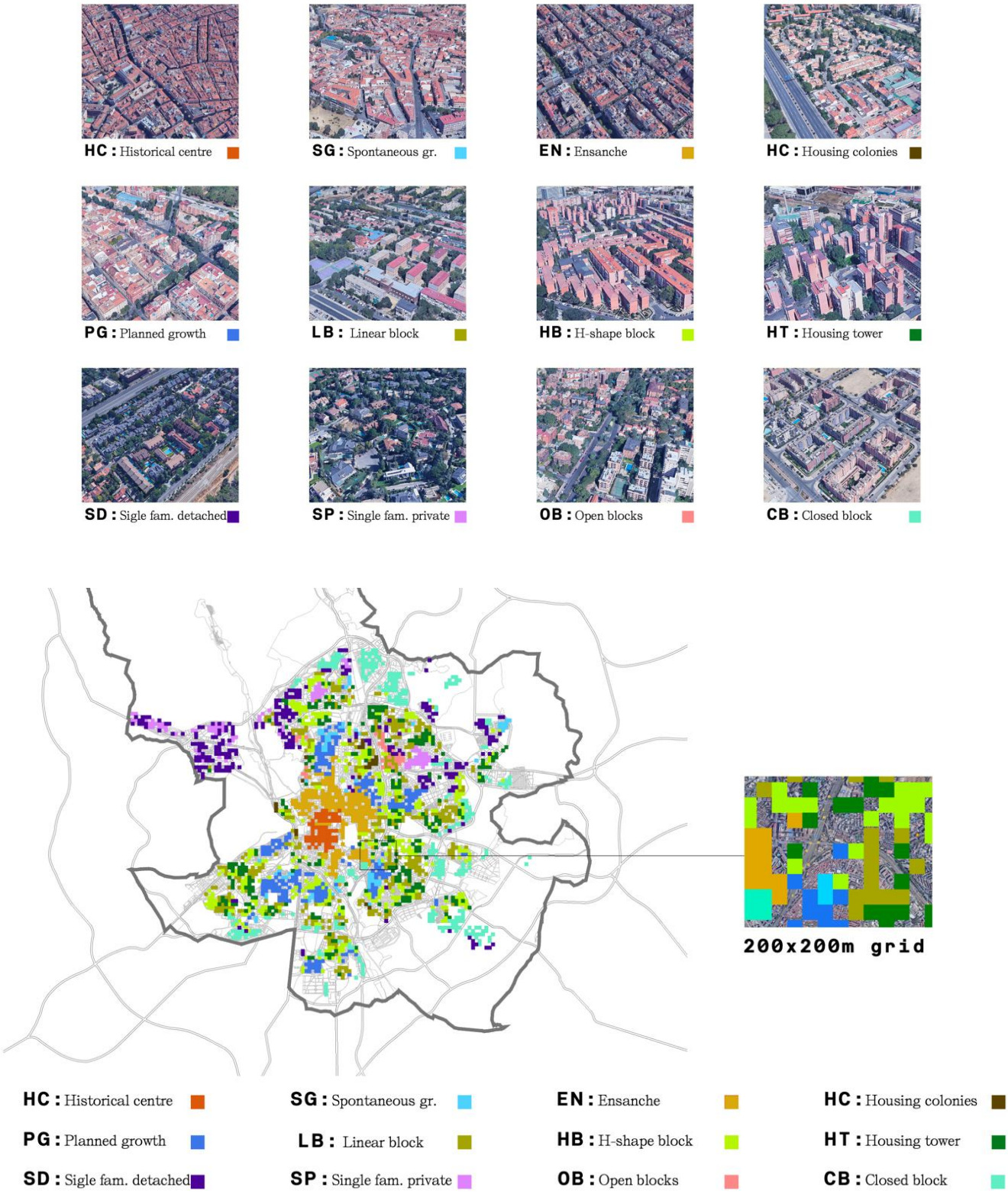


Figura 17. Distribución de tipologías edificatorias en Madrid.
Elaboración propia a partir del trabajo de ABIO-UPM. Proyecto MODIFICA

Una primera observación es la presencia de más viviendas con jardín privado, ya sea por vivienda aislada o vivienda pareada, o por las tipologías más modernas de bloque abierto en manzana cerrada o de manzana cerrada con jardín central, al norte de la ciudad. La posibilidad de tener jardín cerca de la vivienda, con el añadido de una gestión privada del mismo, que asegure riegos y mantenimiento del mismo, atañe al comportamiento microclimático del espacio. Lo mismo se puede decir de las colonias de hotelitos construidas a principios de siglo, en los que la masa arbórea interna genera situaciones de “oasis” en lugares bastante próximos a las zonas de mayor estrés térmico.

Otra correspondencia relevante entre mapa térmico y mapa tipológico es la extensión a través de “tentáculos” de la ciudad por los crecimientos planificados, de manzana cerrada y alta densidad. Esta tipología, mayoritaria hasta 1950, genera situaciones de alto estrés térmico, como es observable por la mayor prolongación de la ICU donde mayores son estos tipos de asentamiento, hacia el suroeste de la ciudad.

Vemos también como el anillo de construcciones edificadas entre 1940 y 1980 es claro, siendo menos evidente su correspondencia con el calor urbano. Algunas de estas edificaciones, principalmente las de mayo densidad -al suroeste de la ciudad, en tipología H- presentan situaciones de elevado estrés térmico. Un claro ejemplo es el del barrio de Aluche, donde los registros de temperatura se elevan notablemente.

Efecto del río en el sobrecalentamiento de Madrid.

Realmente, deberíamos hablar de los ríos, ya que Madrid cuenta con dos vaguadas principales, generadas por la acción continuada en el tiempo de los ríos Manzanares y Abroñigal. Ambos han sido determinantes en la morfología urbana, aunque de distinto modo. Mientras el Río Manzanares ha sido restaurado, canalizado y dotado de nuevas zonas verdes de paseo a sus costados, el río Abroñigal yace bajo lo que hoy es la M-30, la autopista que circunvala Madrid y que en su lateral este sepulta al antiguo río.
La acción de las vaguadas ribereñas en el comportamiento mesoclimático de la ciudad ha sido estudiada (Fernández García et al, 1996), y cabe señalar aquí los asuntos más relevantes para el objetivo del presente trabajo. En las vaguadas, por su condición deprimida, tienden a acumularse los aires fríos. Esta situación puede ser perjudicial en invierno, provocando situaciones de intenso frío, pero favorable por el mismo motivo en verano.

En la recopilación de datos realizada en 1993 se señala la importancia de la topografía urbana -además de otros factores aquí señalados, como variedad de usos del suelo, o densidad urbana- como condicionante de la isla de calor urbana. En ello, existen diferencias entre la vaguada del Manzanares, donde las bajadas de temperatura pueden llegar a ser de 8-10º, y la vaguada del Abroñigal, con diferencias respecto a los picos de temperatura de -3º aproximadamente. Esto se debe, en gran medida, a las grandes diferencias de paisaje urbano en ambas Vaguadas. Mientras en el caso del Manzanares la presencia de arbolado es generalizada, con grandes parques adosados -Casa de Campo, el Pardo, Madrid Río-, la vaguada del Abroñigal se localiza en zona puramente urbana y ampliamente asfaltada. Los menores valores de temperatura en la vaguada del Abroñigal se localizan en su encuentro con el Manzanares (*Idem*, 1996).

El perfil longitudinal de ambas vaguadas, sus diferencias topográficas, juegan un papel importante también en la distinta acción que ejercen sobre el calor urbano. Mientras que en el Manzanares la vaguada se inicia a cierta distancia de la ciudad, permitiendo introducir aires frescos más lejanos, el Abroñigal genera su vaguada ya dentro del municipio, actuando como barrera en la penetración de ese aire. En cualquier caso, estos valores no son estáticos. La extensión y localización de los valores máximos de temperatura cambia a lo largo del día en ambas vaguadas, y de manera diferente. Mientras que en las horas más cálidas los lugares más sobrecalentados se encuentran en la periferia norte de la vaguada del Manzanares, esto sucede en la sur del Abroñigal. De noche y en la madrugada esta situación se invierte, desplazándose los valores máximos al sur del Manzanares y los del Abroñigal en todo su recorrido salvo al sur.

Efecto de la densidad urbana en el sobrecalentamiento de Madrid.

Uno de los mayores factores de incremento del efecto isla de calor urbano es la densidad edificatoria. Sin embargo, conviene señalar que esta situación se da en las condiciones actuales de sistemas constructivos y rendimiento energético de los edificios. Como se puede observar en la superposición de ambos fenómenos (Figura 18), los mayores valores de estrés térmico se están produciendo en la ciudad allá donde la densidad es mayor. Esto sucede por diversos motivos.

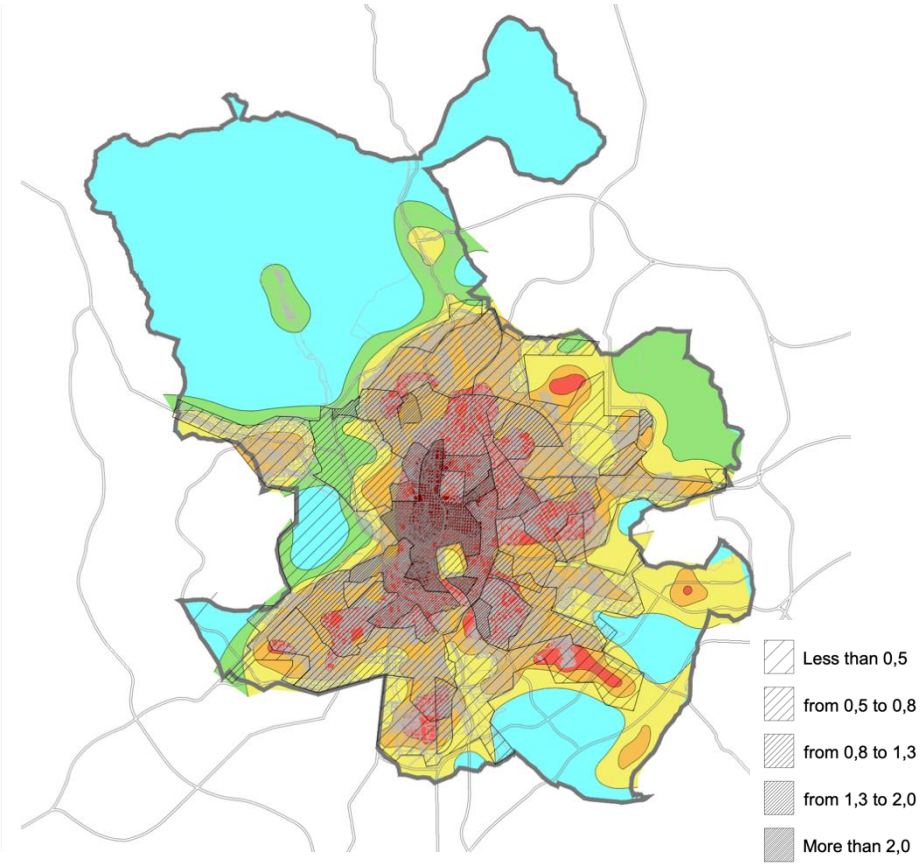


Figura 18. Diferentes compacidades (m2/m2) interrelacionadas con el mapa térmico de Madrid. Elaboración propia

Por un lado, la mayor densidad de edificios deja menor espacio para vegetación que atempere las condiciones en el espacio público, por los mecanismos de obstrucción de la radiación solar y los de evapotranspiración, que veremos más adelante.Por otro lado, la misma densidad se suele producir en entornos de vivienda antigua, en los cascos históricos de la ciudad y sus núcleos periféricos. Estos edificios suelen ser de construcción masiva -como ladrillo macizo o piedra-, que son materiales con alta inercia térmica. Esto significa que el calor que acumulan durante las horas más cálidas del día lo devuelven a la atmósfera por la noche, cuando la vivienda podría ventilarse e incorporar aires frescos. La atmósfera nocturna en los lugares del centro de Madrid mantiene elevados valores de temperatura como consecuencia de este fenómeno.

Además, los mismos edificios de estas zonas tienden a ser ineficientes en materia energética, con lo que necesitan de aparatos de aire acondicionado para mantener las condiciones de confort interiores. Los edificios requieren de sistemas de aire acondicionado, que devuelven el calor a la atmósfera en las cubiertas de los edificios.

La ICU se desplaza por encima de las azoteas, impidiendo la correcta ventilación de las masas de aire en las calles.

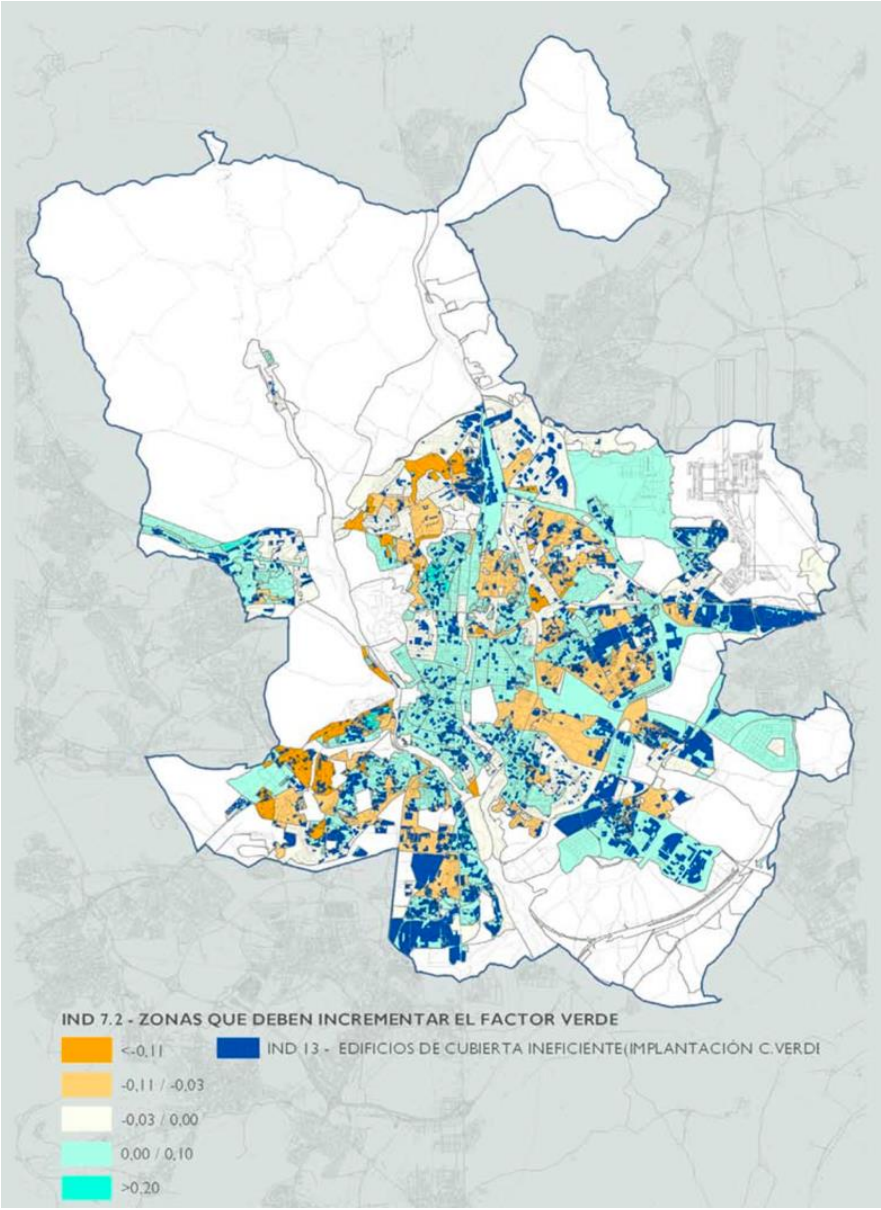


Figura 19. Edificios ineficientes y necesidad de incrementar el factor verde.
Naranja: Menores necesidades de incremento
Verde: Mayores necesidades de incremento
(superficie verde m2/ superficie urbanizada m2)
Azul: Edificios ineficientes

Revisión del Plan General. Ayuntamiento de Madrid, 2013

Podemos observar un mapeo de cubiertas ineficientes, desarrollado por el Ayuntamiento de Madrid en 2013 con motivo de su revisión en materia mediambiental del Plan General Municipal de 1997 (Figura 19). En él se propone ampliar el factor verde, y por tanto las zonas que deben incrementar su número de unidades vegetales, en

aquellos lugares donde existe mayor número de edificios ineficientes. Estos edificios aportan más calor a la atmósfera como consecuencia de los aparatos de AC que refrescan el interior. El fenómeno también se incrementa notablemente en las zonas industriales periurbanas. Esta medida refleja las necesidades de controlar los efectos del cambio climático, mitigando los valores de estrés térmico urbano mediante verdificación de las calles, y está -como es apreciable- claramente relacionado con los valores conocidos de isla de calor urbano. Junto a otras acciones impulsadas por el ayuntamiento, en materia de eficiencia energética y rehabilitación, forman un conjunto de medidas y planes que se especifican en el último capítulo del presente informe.

Efecto de las viviendas ineficientes en el sobrecalentamiento interior de Madrid.

En el anterior apartado hemos señalado los efectos de la densidad edificatoria en el sobrecalentamiento urbano, atendiendo a las cartografías disponibles. Uno de ellos es la mayor necesidad de sistemas de refrigeración activos, que suponen un incremento de las temperaturas exteriores al edifico.

Pero sin duda el efecto más directo de la ineficiencia energética es la ausencia de confort al interior de las viviendas, pudiendo producir efectos de elevado estrés térmico en las personas residentes. El nivel de renta en muchos casos determina la posibilidad de instalar equipos de refrigeración, siendo generalmente las zonas céntricas más propensas a esta opción, por su mayor elevado nivel de renta. Así, aunque podemos identificar altos valores de temperatura en el centro urbano y en los laterales del Paseo de la Castellana, esto no siempre deviene en situaciones de estrés térmico en el interior de las viviendas. Para encontrar estas situaciones sería más interesante atender a la vulnerabilidad térmica de los distintos barrios de la ciudad, que viene determinada por su nivel de renta, la tipología edificatoria, el año de construcción y el grado de mejora del edificio (Sánchez-Guevara et al, 2017). Como hemos visto con anterioridad, los bloques en H de alta densidad, construidos en la década de los 60 y en zonas más empobrecidas de la ciudad son lugares con alto grado de vulnerabilidad frente al cambio climático, generando situaciones de estrés térmico que se agravan en población envejecida y en plantas superiores. La ineficiencia de estas edificaciones viene determinada por la baja calidad material de sus fachadas sin aislamiento, las soluciones con numerosos puentes térmicos, las pobres carpinterías y vidrios, y la dificultad para ventilar correctamente, como factores principales.

Tal y como se puede identificar en las diferentes categorías que se han presentado anteriormente -presencia de zonas verdes, masas acuosas, diferencias tipológicas, densidad urbana e ineficiencia energética- afectan a la sensación de confort o estrés térmico en la ciudad. A nivel microclimático estas situaciones se pueden interrelacionar con otras, en su relación con la escala arquitectónica y escala de usuario. Así, el clima urbano sucede como un fenómeno transescalar y múltiple. Las mediciones que se han presentado al comienzo de este apartado, transferidas al conocimiento académico y municipal a través de cartografías urbanas térmicas, siendo de gran validez documental, parecen no atender a la enorme diversidad de asuntos relacionados con el estrés térmico en la ciudad. Para acercarnos a las situaciones experienciales y situadas de los pobladores urbanos, resulta interesante especificar las distintas estrategias de adaptación climática que pueden suceder -para la ciudad de Madrid- a las distintas escalas.

Capítulo 2.
Adaptación urbana y arquitectónica al estrés térmico en Madrid.

El el siguiente capítulo se realiza un análisis de las estrategias que, a diferentes escalas, se pueden implementar para la reducción del estrés térmico generado por la Isla de Calor de Madrid. El objetivo del capítulo es atender a la pregunta de *¿qué se puede hacer a la hora de combatir el estrés térmico?* en la ciudad. El capítulo propone y profundiza en una serie de medidas que tendrían cabida en la ciudad, apoyándose en ejemplos prácticos o análisis técnicos que se han realizado dentro de su contexto. Así, el capítulo sirve de bisagra entre el anterior -en el que veíamos la situación de partida, definiciones de confort y estrés térmico y comportamiento de la edificación y el urbanismo madrileño, y el siguiente -en el que se recogen las medidas impulsadas por las administraciones. En esta sección se detallan y valoran las estrategias de adaptación climática para después buscar su implementación en las políticas públicas. El capítulo se estructura en tres escalas: *urbana*, en la que se agrupan las estrategias a nivel de ciudad, y que vienen determinadas por reglamentos urbanísticos (ordenanzas, planes parciales, planes de mejora…); *arquitectónica*, en la que se recogen las estrategias a nivel del edificio más adecuadas para Madrid, y que viene determinada por el diseño arquitectónico; y *del usuario,* en la que se atiende a aquellas estrategias de uso de la ciudad y los edificios pueden ser implementadas desde la capacidad de acción de las personas. Con esto, lo que se pretende es atender de nuevo a la multiplicidad del fenómeno del estrés térmico urbano, desde un enfoque centrado en el edificio y sus múltiples escalas de relación.

2.1 Escala urbana

A la hora de analizar las estrategias de adaptación a nivel urbano, deben diferenciarse dos grupos, definidos por el objeto de intervención. Por un lado, encontramos estrategias que se orientan a modificar las condiciones intrínsecas del parque edificado, afectando más directamente a los espacios interiores. Esto es, la orientación del tejido urbano, las distancias entre edificios y el ángulo de obstrucción solar generado, la existencia de edificios de manzana abierta o cerrada con patio, la densidad edificatoria, la actualidad de los sistemas constructivos y la presencia de cubiertas planas. Más adelante se detallan. Por otro lado, encontramos estrategias que se orientan a modificar las condiciones de contorno, y afectan más directamente a los espacios abiertos. Estas son la presencia de áreas verdes de hoja caduca para control de irradiacia solar o de árboles perennes para protección contra el viento, la existencia de infraestructura azul (ríos, fuentes, estanques…), la orografía del lugar, la permeabilidad de los suelos o los acabados de las fachadas, cubiertas y pavimentos.

<u>Características intrínsecas.</u>

2.1.1 Orientación de la trama urbana.

Una parte importante de la ciudad de Madrid está constituida por el Ensanche de Castro, que viene definido por una malla ortogonal isótropa sin preferencia de orientación. En los desarrollos de medidados de siglo XX, que crecían hacia los municipios periféricos y en las 6 direcciones principales de salida de la ciudad, la trama viene determinada por tales orientaciones. En los edificios de los poblados dirigidos, sin embargo, encontramos predominancia de los edificios orientados con su fachada principal a sur (Martín-Consuegra et al, 2018), mejorando su comportamiento energético respecto a los anteriores. Aún así, en los edificios construidos entre 1950 y 1980 vemos como el criterio es muy diverso, primando criterios de adaptación al terreno o de seriación geométrica, o de aprovechamiento de los espacios disponibles. En este último caso, existen estrategias en las que se adaptan las fachadas para “mirar” hacia el sur, donde el control climático en las distintas épocas del año es más sencillo. De cara a los futuros desarrollos urbanos, la preminencia de la orientación sur, y sobre todo la negación de la nor-oeste (que solo recibe aporte solar en los momentos del año y del día en que menos se necesita calentar) deberían ser preferentes. Sin embargo, no vemos que esta estrategia se repita, primando en los desarrollos posteriores a 2000 manzanas cerradas

de grandes dimensiones que dificultan la implementación de una fachada bien orientada en muchos casos (de Lucio, 2017).

2.1.2 Distancia entre edificios.

La distancia no es un valor en sí mismo, como sí lo es el ángulo de obstrucción solar, que tiene en cuenta no solo esa distancia, sino la orientación que determinan dos edificios próximos. Aunque este factor tiene más relación con el control climático en invierno, por determinar las sombras arrojadas que dificultan las ganancias térmicas por energía solar en las viviendas, también puede ser determinante a la hora de controlar el estrés térmico urbano. Sin embargo, puede resultar un asunto de difícil manejo. En contra del efecto deseable en invierno, de maximizar las zonas soleadas, en verano se hace necesario la creación de porosidades urbanas -como patios- frescas y oscuras, que sirvan también para refrescar las viviendas por ventilación cruzada. Esto se puede conseguir combinando la distancia con la colocación de los edificios en las orientaciones menos requeridas en invierno. Sin embargo, generalmente no existen ordenanzas que detallen a tal respecto requisito alguno, siendo volcadas las exigencias hacia dentro de la parcela y no hacia las preexistencias circundantes.

2.1.3 Existencia de manzanas abiertas o cerradas con patio.

La ciudad de Madrid, como vimos en el capítulo 1, muestra un conjunto muy variado de tipologías de manzana, alternando zonas muy densas con patios pequeños -en el centro-, zonas semidensas de manzana cerrada con patio amplio -en el ensanche o las PAUS-, zonas de manzana abierta pública -en los poblados dirigidos- y zonas de manzana abierta privada -en desarrollos de 1990 en adelante. Esta diversidad hace inviable una propuesta urbana homogeneizante. Las zonas donde la densidad es mayor y se sufren mayores índices del efecto de la ICU pueden sin embargo ser provistas de ordenanzas reguladoras que faciliten la apertura de huecos en fachadas y patios para favorecer la ventilación cruzada de las viviendas (de Luxan et al, 2008). A nivel urbano resulta fundamental asegurar la circulación del aire, generando corredores frescos. Esta situación se hace más sencilla en las zonas de bloque abierto, principalmente si las zonas entre bloques están correctamente arboladas.

2.1.4 Densidad edificatoria.

Ya se ha comentado anteriormente el efecto de la densidad edificatoria sobre el sobrecalentamiento urbano. Para no repetir los argumentos, y en línea con la búsqueda de estrategias de adaptación que en este capítulo se persigue, conviene señalar que la densidad también puede ofrecer un mejor “arropamiento” de los edificios, al entenderse como compacidad urbana. Esto significa que las superficies de contacto con el exterior se minimicen, siendo más fácil mantener las viviendas en temperaturas de confort. Para los lugares donde la densidad es alta, la búsqueda de la compacidad a través, por ejemplo, de la supresión de calles al tráfico, puede resultar bioclimáticamente ventajosa. Si el intercambio de calor se establece con zonas exteriores con más cesiones que mantienen el frescor de la vivienda, se puede generar mayor compacidad, sin necesidad de disminuir la densidad. Entender la calle como una prolongación de la vivienda, que sirve como colchón térmico en lugar de como radiador, manteniendo las condiciones térmicas interiores, puede ser un argumento para implementar medidas de adaptación climática. Por otro lado, algunos aspectos relevantes de la densidad edificatoria, y por los que muchos arquitectos y urbanistas son más favorables a este modelo, es la minimización de los sistemas de instalación y abastecimiento, siendo un modo de consumo del territorio menos agresivo y expansivo. La densidad apropiada debe encontrar un balance, estableciendo zonas de amortiguación climática entre bloques y alternando tipologías edificatorias diversas (Mueller et al, 2020).

2.1.5 Edad de los edificios y grado de actualización.

Sobre la influencia de la edad del edificio en materia de aislamiento energético ya se ha señalado el aspecto más relevante: toda edificación construida en España -por tanto, en Madrid- que date de antes de 1979 no tuvo que cumplir requisitos de aislamiento, más allá de los que determinaran los arquitectos en su momento. A día de hoy, en la ciudad de Madrid, muchas de las mejoras de rehabilitación energética de los edificios se centran exclusivamente en atender a esta deficiencia, con lo que se llama un sistema SATE (Varela et al, 2018), que resulta más sencillo de integrar en edificios existentes. Estas soluciones mejoran notablemente el comportamiento de los edificios, y deben ser impulsadas en aras de reducir el estrés térmico de las viviendas. Una variable por tanto es el grado de actualización del parque edificado urbano a los criterios marcados por el CTE actual. Como veremos en el capítulo dedicado a las políticas urbanas, Madrid ha destinado ayudas a la rehabilitación de los edificios, sin embargo en muchas ocasiones se prima atender primero a la accesibilidad que al aislamiento térmico. Esto puede

ayudar en la reducción de situaciones de estrés térmico en población vulnerable obligada a subir escaleras de hasta 5 plantas, pero no soluciona las situaciones en el interior de las viviendas. Además, el ayuntamiento no cuenta con un conocimiento completo estado de las viviendas, la metodología para el cálculo del funcionamiento térmico y energético de las viviendas está suficientemente integrada en los protocolos oficiales de verificación.

2.1.6 Presencia de cubiertas planas.

Las cubiertas horizontales pueden suponer un argumento eficaz a la hora de adaptarse a las situaciones de estrés térmico urbano. Con la implementación de cubiertas ajardinadas o con la sencilla colocación de aislamientos se pueden mejorar notablemente los comportamientos de los edificios. Además, las cubiertas planas permiten una correcta colocación de paneles fotovoltáicos, orientados a sur y con inclinaciones óptimas, facilitando en los edificios la incorporación de energía eléctrica limpia. En Madrid, muchas edificaciones ineficientes tienen cubierta a dos aguas, aislada con cámara de aire, lo cual dificulta la implementación de estas estrategias.

Características extrínsecas.

2.1.7 Presencia de áreas verdes.

Hemos visto en distintos momentos la importancia de las zonas verdes como amortiguador térmico cuando se inserta correctamente en la trama urbana, generando zonas protegidas de la radiación solar en fachadas y calles. El atemperamiento generado por la masa arbórea es un fenómeno de doble dirección: por un lado, en verano, la sombra disminuye la energía calorífica que llega a las superficies urbanas, por otro lado, en invierno, esa misma sombra puede ser perjudicial para los objetivos de calefactar los espacios. En muchas ocasiones esta doble circunstancia se resuelve con árboles de hoja caduca, que en invierno permiten el paso de los rayos de sol por la pérdida de hojas y en verano cubren correctamente las calles y edificios. Las diferentes tipologías de árboles dan lugar a sombras de diferente calidad, influyendo notablemente no solo el tamaño de las hojas, sino el patrón de crecimiento de las mismas o su inclinación (Badarnah & Knaack, 2008).

Pero sin duda el fenómeno de refrigeración pasiva mediante arbolado tiene mucho que ver con el fenómeno de la evapotranspiración. La humedad acumulada en las hojas de

los árboles tiende a evaporarse, debido a las altas temperaturas y la radiación solar. Esta evaporación necesita captar energía del entorno, produciendo una bajada de temperatura. La suma de este fenómeno, de pequeña escala, en el follaje de miles de árboles, puede producir efectos significantes en la temperatura urbana, como atestiguan los datos de temperatura del Parque del Retiro en relación con su entorno (Figura 20). Algunos estudios sostienen que tal efecto puede ser de entre 2 y 8 grados de refrigeración (Shishegar, 2015).

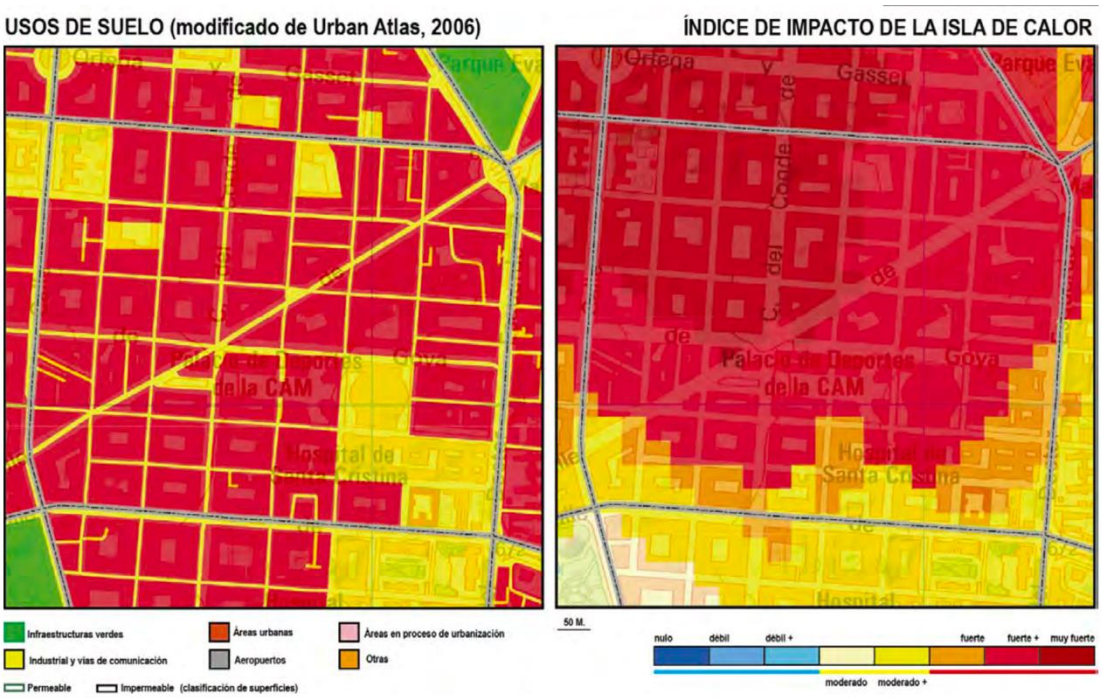


Figura 20. El efecto térmico del parque del Retiro -esquina inferior izquierda- en el distrito de Goya. (Madrid, 2016)

Para un mejor aprovechamiento del enfriamiento por evapotranspiración se debe hacer circular el aire, puesto que un aumento excesivo de los valores de humedad relativa puede no ser confortable, como vimos en el capítulo 1. En cualquier caso, en ciudades como Madrid, con un clima muy seco en verano, el riesgo de disconfort por saturación de humedad es prácticamente inexistente.

El aire en movimiento, al pasar entre las hojas, disminuye su temperatura y transporta partículas más frías a los lugares circundantes. Por ese motivo, las medidas de verdificación urbana pueden ser más efectivas si se combinan con corredores de viento, que permitan hacer penetrar los aires frescos de la periferia al interior de la ciudad. El verde urbano además se debe asociar con medidas de riego y mantenimiento, preferentemente con aguas reutilizadas -por el coste energético que supone-, para que

el funcionamiento de todo el mecanismo arboles-evapotranspiración-ventilación funcione correctamente. En Madrid se han puesto en marcha en los últimos años iniciativas de verdificación urbana, conectadas directamente con las necesidades de adaptación climática. Se detallan en el siguiente capítulo.

2.1.8 Existencia de infraestructura azul.

El comportamiento de la infraestructura azul puede ser notablemente diferente respecto al de las zonas verdes, dependiendo de la tipología del mismo. Así, en ciudades costeras, el mar tiene un efecto atemperante de las condiciones tanto de verano como de invierno. La masa térmica de los grandes cuerpos acuosos ejerce una acción de inercia, minimizando picos de temperatura muy marcados. Sin embargo, atendiendo a los riesgos de estrés térmico, podemos encontrar situaciones donde a pesar de tener temperaturas inferiores a ciudades como Madrid, algunos lugares costeros sean menos confortables por la alta humedad. En Madrid la infraestructura azul se inserta de manera discontinua: el río Manzanares es el cuerpo acuoso de mayores dimensiones, y sus efectos sobre la isla de calor ya han sido detallados anteriormente. Además, muchas plazas de Madrid cuentan con fuente, que produce el mismo efecto evapotranspirativo de los árboles urbanos. Otras estrategias bioclimáticas posibles utilizando el agua son el riego selectivo de zonas públicas y jardines, la instalación de vaporizadores en la vía pública o aumentar el número de fuentes en calles y plazas. La suma de múltiples intervenciones de pequeña escala que tengan en cuenta -como explicamos en el apartado anterior- los patrones de vientos dominantes pueden producir un efecto muy ventajoso para mitigar el estrés térmico urbano (Gunawardena, Wells & Kershawa, 2017). Esto es altamente recomendable en una ciudad como Madrid, con un clima seco que elimina los riesgos de disconfort por humedad relativa y que está alejado del efecto inercial de las masas acuosas marítimas.

2.1.9 Orografía y pendientes principales.

La ciudad de Madrid se asienta sobre un relieve medianamente acusado, con siete altos predominantes y, como vimos con anterioridad, dos vaguadas conectadas. Una tercera depresión se podría identificar bajo el Paseo de la Castellana, que prácticamente separa a Madrid en dos mitades. El resultado de esta orografía es una increíble diversidad de pendientes, no primando una orientación sobre otra -salvo en lugares concretos como las riberas del río. Esta situación complica la labor de situar edificaciones en orientaciones óptimas, puesto que la orografía -y la jerarquía de la trama concéntrica-

ha impuesto muy diversas orientaciones de calle. Sin embargo, si que se pueden fundamentar prácticas urbanísticas que tengan en cuenta esta situación y faciliten edificios “fáciles” de orientar, permitiendo en mayor medida aquellos ejemplos que ya tenemos en la ciudad y que han resuelto estos condicionantes de manera notable. Como vimos con anterioridad, las torres de la Colonia de Lourdes, de Saenz de Oiza, o la más celebrada Torres Blancas del mismo arquitecto, desconectan las dificultades de encontrar la mejor orientación gracias a su propia condición puntual. En cualquier caso, para la diversidad tipológica urbana serían necesarios mayores estudios que pronostiquen su mejor orientación y sirvan a las ordenanzas urbanas (Fernández-Antolin et al, 2019). Todo esto referido a la influencia de la orografía en el comportamiento bioclimático de los edificios. Respecto al microclima urbano y la acción de la orografía en los espacios públicos, el Ayuntamiento de Madrid ofrece en su Manual de Buenas Prácticas en Arquitectura y Urbanismo unos criterios de ubicación de zonas verdes y urbanizadas que tienen en cuenta tales condicionantes (Madrid, 2009).

2.1.10 Permeabilidad de los pavimentos

Figura 21. Permeabilidad de los pavimentos
(Madrid, 2009)

Otro condicionante de entorno, que puede resultar fundamental a la hora de refrescar los espacios públicos, es la permeabilidad de los pavimentos. La permeabilidad está relacionada con el paso de los fluidos a través de un material, siendo agua y aire los de mayor interés para el tema en cuestión. Los pavimentos permeables pueden absorver y almacenar humedad que, por efecto de la radiación solar, sea evaporada generando una sensación de frescor en el usuario de la ciudad. Esta estrategia se ha presentado en algunos lugares de Madrid, como parques y cunetas de carreteras intraurbanas. En

el *Manual de Buenas Prácticas en Arquitectura y Urbanismo de Madrid* se especifica la permeabilidad como uno de los factores físicos a considerar a la hora de medir la eficiencia de la evapotranspiración en verano en Madrid. Menores permeabilidades de los suelos provocan escorrentías, es decir, movimientos superficiales de agua pluvial, que son dirigidas a los sumideros y alcantarillados. Pueden funcionar como suelos permeables la hierba, la grava, bloques con juntas permeables, bloques porosos o pavimentos continuos porosos como el asfalto, el hormigón o resinas.

2.1.11 Acabados de las fachadas y pavimentos

Los acabados del paisaje urbano también juegan un papel importante en el comportamiento térmico de los entornos edificados. A grandes rasgos, tales acabados pueden ser sobre superficies pavimentadas, edificios o zonas verdes. Las superficies asfaltadas almacenan mucho calor durante el día, que es devuelto a la atmósfera en la noche, aumentando las posibilidades de sufrir estrés térmico. Lo mismo se puede decir de los edificios con acabados oscuros, o con materiales de alta masa térmica. Si atendemos a las diferencias térmicas que se pueden producir en un mismo barrio madrileño, podemos constatar saltos térmicos de 3 grados en distancias no superiores a 100 metros. Esta gran heterogeneidad térmica insiste en la inoperancia de los mapas térmicos de escala urbana para cuantificar el fenómeno de la ICU. En el estrato vertical, las diferencias térmicas se producen a pie de calle, donde los diferentes albedos de las superficies generan diferencias más notables. Las temperaturas a partir de los 6 metros de altura se van unificando, correspondiéndose en mayor medida a los valores genéricos que conocemos de la ICU (Tumini, 2012). De cara a la adaptación climática, una ciudad en la que se implementen cambios de superficies radiantes por aquellos de menor albedo es una posibilidad a explorar. Algunos proyectos, como veremos, están siendo orientados a tal efecto.

2.2 Escala arquitectónica

En la escala arquitectónica, o escala del edificio, también podemos identificar una serie de estrategias de adaptación climática para el caso específico de Madrid, que conviven con las mencionadas anteriormente en la escala urbana. En este punto, y partiendo de la situación actual de parque edificado consolidado, interesa evaluar la viabilidad de algunas medidas de adaptación que podrían ser diseñadas y puestas en práctica.

Si atendemos a la carta de Givoni para el clima madrileño (Figura 22), encontramos una variación climática bastante acusada entre los meses fríos y cálidos, debida en parte a la lejanía de las masas acuosas y su efecto de inercia. Así, en diciembre, enero y febrero se hacen necesarios sistemas activos de calefacción, incluyendo calefacción convencional en los días más fríos; los meses de otoño y primavera pueden presentar momentos de confort -en septiembre y mayo-, pero también necesitan de estrategias pasivas de confort, como masa térmica y ventilación en los momentos cálidos o ganancias internas en los momentos fríos; en los meses de verano es necesaria ventilación permanente, además de otras estrategias ya mencionadas como enfriamiento evaporativo e incluso refrigeración convencional. Esta serie de estrategias pueden ser muy efectivas a la hora de controlar el estrés térmico. Si nos centramos en las situaciones de sobrecalentamiento, podemos detallar las correspondientes al verano: ventilación natural, masa térmica, enfriamiento evaporativo y refrigeración convencional.

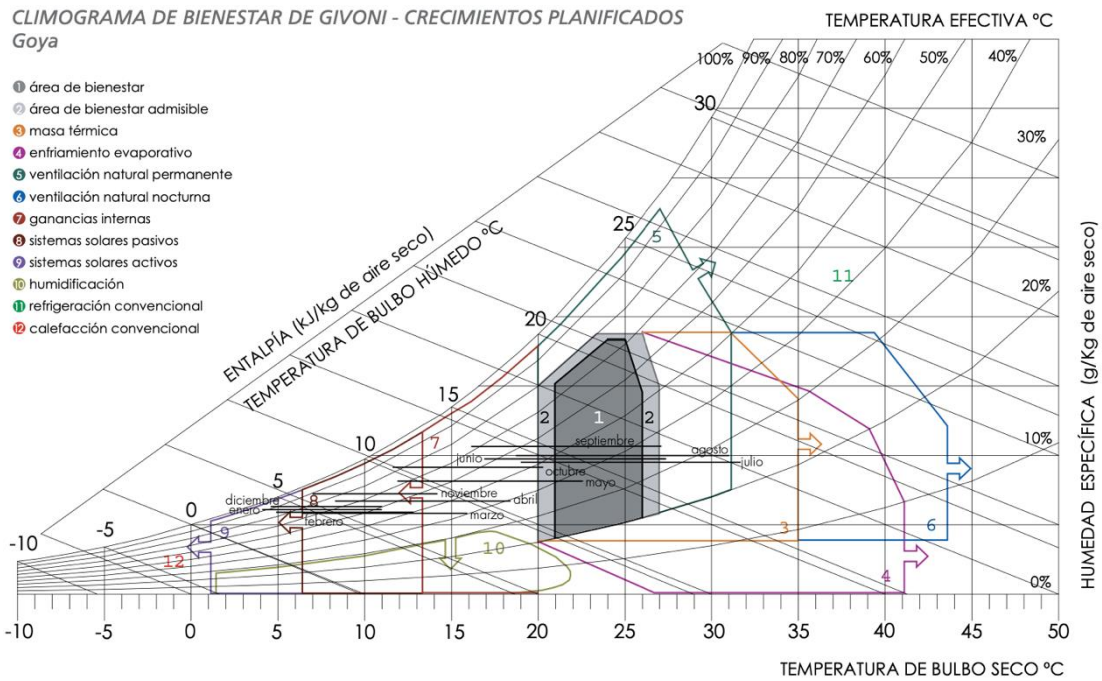


Figura 22. Diagrama de Givoni, Goya, Madrid
(Madrid, 2009)

2.2.1 Ventilación natural

La estrategia de refrigeración pasiva por ventilación natural es altamente recomendable en lugares de clima cálido seco. Dicha estrategia supone que es suficiente emplear el movimiento del aire, para lo que se consideran válidas las condiciones exteriores o,

debido a la velocidad del aire, se alcanza la sensación de confort, tal y como se recoge en el diagrama de Olgyay (Figura 3). En Madrid el salto térmico entre el día y la noche puede ser aplicado para ventilar de noche, incorporando el aire fresco y eliminando el sobrecalentamiento interior de las viviendas. En el momento más cálido del año, de mediados de junio a mediados de agosto, la necesidad de eliminar la radiación solar directa de los huecos, desde las 10:00 de la mañana hasta la noche obliga a tapar los huecos en este, sur y oeste. Las horas fuera de esta franja pueden servir para introducir aires frescos, a través de ventanas abiertas y bien ventiladas. La diferencia entre unos momentos del día y otros se resuelve con persianas y toldos, siendo más recomendable el uso de persianas en los momentos de mayor radiación, especialmente al oeste. La distribución interior y la ubicación de los huecos de ventilación en las viviendas juega un papel esencial, necesitando estar enfrentados y con recorridos de aire que no generen turbulencias interiores. Los recorridos del viento en Madrid pueden ser diversos, dependiendo de la trama urbana inmediata, por eso es difícil establecer una dirección principal para la incorporación de dichos aires periurbanos. Sí existen corrientes generadas en las direcciones de las vaguadas ribereñas, pero estos solo son apreciables en zonas cercanas a las mismas, y a cota de calle. La estrategia de orientación de huecos, por tanto, tiene más que ver con la necesidad de protección solar -en verano- y captación -en invierno. Un correcto manejo de radiación y ventilación puede dar lugar a sensación de confort cuantificable en 4-6ºC.

2.2.2 Masa térmica

Del mismo modo que la ventilación selectiva, la masa térmica de la edificación puede jugar un papel importante a la hora de atemperar los espacios interiores. Por un lado, es apreciable la diferencia en los sótanos y semisótanos de la ciudad, que mantienen temperaturas más constantes por su contacto con el terreno circundante. Pero en el caso de las viviendas, los efectos refrescantes de la inercia solo son apreciables en aquellas edificaciones muy masivas -como edificios institucionales o religiosos- en los que los muros pueden tener más de 50 cm de ancho y ser de mampostería. La gran mayoría del parque edificado de la ciudad de Madrid no cuenta con estas características térmicas. De hecho, la estrategia puede volverse en contra de los intereses de reducir el sobrecalentamiento, al devolver el calor acumulado las calles y edificios de las zonas densas. En ocasiones esta situación se resuelve colocando los materiales con inercia hacia el interior de la vivienda, lejos de la captación de radiación solar, y otros más ligeros y reflexivos al exterior. Esta situación puede favorecer que se retrase hasta 10 horas la onda térmica del interior respecto del exterior, y si se combina con enfriamiento

por ventilación nocturna, puede generar espacios que mantengan de manera casi pasiva el confort interior. En Madrid, encontramos estrategias que aprovechan distintas inercias para favorecer un comportamiento óptimo. Algunos ejemplos los encontramos en los edificios de oficinas del entorno del aeropuerto, donde a las fachadas ligeras y ventiladas se le unen pavimentos pétreos y contacto continuo con el terreno (Ayuntamiento de Madrid, 2009).

2.2.3 Enfriamiento evaporativo.

Previamente hemos atendido al funcionamiento del enfriamiento evaporativo a escala urbana, a través de la introducción de masas arbóreas o infraestructura azul en la ciudad. El enfriamiento evaporativo es una estrategia muy válida en Madrid, debido a su baja humedad relativa. Pero, ¿de qué manera se puede replicar esta estrategia en la arquitectura? Una interesante posibilidad es la incorporación de fachadas vegetales que, al rodear los huecos de ventana, generan una capa refrescante permanente en el entorno inmediato del edifico (Figura 23). Esto promueve menores intercambios con el entorno caliente también, al funcionar como colchón térmico en el que las diferencias de temperatura no son tan altas como con el exterior. La colocación de jardineras con riego automático en fachada es una estrategia similar y quizás más viable económicamente, y ha sido probada en algunos de los mejores ejemplos de arquitectura de vivienda de la ciudad. Encontramos la misma estrategia de enfriamiento en edificios de uso diferente al de vivienda, como en terrazas de bares, naves industriales u oficinas, con distintas tecnologías. Mientras en terrazas de bares se pueden encontrar pequeñas instalaciones de tipo riego por goteo, en las que se han sustituido las piezas de expulsión de agua por aspersores a presión, en las oficinas o naves industriales se utilizan máquinas que funcionan bajo el mismo principio. La introducción del agua en filamentos y su interacción con el aire circundante provoca intercambios de calor a escala microscópica, que resultan en el descenso de temperatura del aire y la evaporación del agua.

2.2.4 Refrigeración convencional

Pero, sin duda, la estrategia más utilizada para refrigerar los interiores domésticos madrileños es la instalación de aire acondicionado tradicional. Un paseo por Madrid, especialmente en los entornos construidos de la M-30 o entre los bloques de vivienda colectivo de la periferia de la mitad norte urbana muestra una gran cantidad de aparatos de bomba de calor. Y, aunque esta tecnología ha evolucionado notablemente en los

últimos años, el funcionamiento sigue siendo básicamente perjudicial para los objetivos de minimizar el efecto de isla de calor. Mediante la instalación de dos aparatos, uno al interior de las viviendas y otro al exterior, se establece un circuito cerrado en el que se producen intercambios de calor con el entorno. Gracias a la compresión y expansión de un fluido, se captura o expulsa energía del ambiente -refrigerándolo o calentándolo, respectivamente. Así, mientras en el interior de las viviendas, centros comerciales, bares, instalaciones deportivas o demás equipamientos las condiciones pueden ser de frescor, al exterior esto produce un aumento de temperatura. Por tanto, a efectos de conjunto, los sistemas de refrigeración son perjudiciales, generando sub-islas térmicas en aquellos lugares donde existe mayor densidad de los mismos. En Madrid esto sucede principalmente en las zonas industriales del sur, además de en aquellos lugares con grandes edificios comerciales (ver mapa). La sustitución de los aparatos de aire acondicionado es aún difícil de ver para la ciudad, al ser ampliamente utilizados por la población y proporcionar confort rápido en los días cálidos. Existen, no obstante, soluciones de refrigeración activa sostenible que podrían explorarse para un futuro urbano, consistentes en pozos de geotermia o sistemas de recuperador de calor.

2.3 Escala de usuario

La tercera escala en la que podemos encontrar estrategias de adaptación al clima urbano es la del usuario. Algunas de las recomendaciones de las autoridades madrileñas atienden precisamente a esta escala en sus planes de emergencia frente a las olas de calor. Ante la dificultad de implementar estrategias adaptativas en las dos anteriores escalas, por su difícil viabildiad técnica o económica, la atención se centra en pequeñas estrategias, modos de uso, rutinas, que pueden minimizar los riesgos de sufrir estrés térmico por parte de la población. Dichas rutinas tienen que ver con el entorno construido, y se pueden entender como comportamientos relacionales con lo arquitectónico. Aquí se dividen ese tipo de rutinas en 3 apartados, poniendo atención en los veranos madrileños: horarios, espacios y actividad. Es decir, el cuándo, cómo y qué actividades se pueden realizar para que, desde la experiencia personal, se pueda tener una menor sensación de calor.

2.3.1 Horarios

Los valores de temperatura horaria de la ciudad de Madrid en verano dan como resultado diferencias considerables en función de la localización del edificio. En las zonas más afectadas por la ICU las temperaturas nocturnas apenas guardan diferencia

con las diurnas, haciendo complicada la refrigeración por ventilación natural. En el resto de lugares, una correcta gestión de los huecos -sombreamiento y/o apertura- puede resultar crucial. Las viviendas madrileñas cuentan con el -climáticamente obligado- sistema de persiana y/o toldo. Por las noches, se recomienda abrir completamente las ventanas en las fachadas enfrentadas, para maximizar el efecto de ventilación cruzada, levantar persianas y toldos. A partir de las 10:00 AM, cuando las temperaturas empiezan a subir, se recomienda bajar los toldos y persianas, manteniendo las ventanas abiertas para producir una ventilación ligera. Para las personas mayores, se recomienda no salir a la calle en las horas más calurosas del día de -12h a 17h-. Resulta especialmente relevante la protección solar en el atardecer, al noroeste en verano, puesto que al sobrecalentamiento producido por la acumulación de radiación de todo el día se añade la propia radiación directa solar, generando situaciones de calentamiento excesivo. Las persianas de la vivienda donde ya no se espera radiación solar se pueden ir abriendo, manteniendo aquellas orientadas al atardecer cerradas, hasta que llegue la puesta de sol. Alrededor de las 23h la temperatura empieza a descender de nuevo.

2.3.2 Espacios.

Del mismo modo, la utilización de los espacios depende de la orientación de los mismos y de su grado de ventilación. En las casas tradicionales madrileñas es común ver a los vecinos en los patios, donde la sombra y la inercia de la edificación genera sensación ligeramente más refrescante durante el día. En algunas comunidades de vecinos se aprovecha esta circunstancia para regar el suelo del patio, o los zaguanes de acceso, generando un frescor por evapotranspiración. De nuevo, es recomendable evitar las zonas más sobrecalentadas, orientadas al atardecer, y evitar en todo momento la radiación directa. A escala urbana, esto se traduce en la elección de los trayectos más sombreados, por edificación o arbolado. También se recomienda a la población envejecida conocer los lugares más frescos próximos a sus domicilios, para poder acudir en caso de necesidad (cines, supermercados, bibliotecas, centros de día…). En ese sentido, los equipamientos públicos juegan un papel importante, cobijando a la población vulnerable en espacios más confortables.

Las estrategias de adaptación climática vistas en las páginas precedentes dan una idea de cuales pueden ser las prácticas a fortalecer desde las distintas escalas. Así, la responsabilidad de aplicarlas fluctúa entre políticos y administraciones -en el caso de las ordenanzas urbanas- técnicos y arquitectos -en el caso de las tecnologías del edificio- y los propios residentes de la ciudad -en el caso de las acciones cotidianas de

adaptación. Unas y otros niveles de acción están, en cualquier caso, muy relacionados: la posibilidad de tener un patio fresco, poblarlo de flores y riego autonático, depende tanto de las ordenanzas, de los diseños arquitectóncos, al mantenimiento responsable de los vecinos. La suma de estrategias puede dar lugar a saltos de temperatura sensible de 5 a 8º. Si partimos de los datos climáticos disponibles, esto produce una complejidad añadida a la hora de valorar el efecto de la ICU en la ciudad. Pequeñas estrategias, o la disponibilidad de determinadas instalaciones en el edificio, alteran la imagen genérica de la isla, transformándose hacia lo situado y lo concreto. Para analizar correctamente una ciudad, con su multiplicidad y casuística, se debería optar más bien por seleccionar una muestra, un grupo humano o un determinado escenario arquitectónico, y valorar desde los asuntos urbanos -grado de verdificación de la calle, orientación, tipología constructiva-, pasando por los asuntos arquitectónicos -aislamiento de fachadas, tipo de vidrios, sombreamiento de los huecos-, a los asuntos de uso -horarios, técnicas de adaptación empleadas, riego de plantas, gestión de la ventilación, actividad. Toda esta casuística genera efectos sobre la sensación final de estrés térmico, y habla de la riqueza y complejidad de la relación de los ciudadanos con el clima. La arquitectura y el urbanismo actúan como un agente en una cadena de acontecimientos, donde la escala individual a la escala mesoclimática se producen transferencias e interacciones.

Una vez realizado este levantamiento de la problemática de la gestión del calor en la ciudad de Madrid, en el que hemos visto cuál es la situación actual a nivel normativo, edificado y climático -en el capítulo 1- y cuáles son las posibles estrategias de adaptación en los lugares sobrecalentados de la ciudad -en el capítulo 2-, vamos a atender ahora a las iniciativas que se están sucediendo desde hace algo más de 10 años a nivel político y que tienen efecto en la interacción de la ciudad con el calor. Así, el tercer capítulo se encarga principalmente de eso: recoger y explorar las normativas, proyectos y planes de gestión climática que tienen efecto sobre la ciudad de Madrid.

Capítulo 3.
Políticas de adaptación al estrés térmico en Madrid

En este tercer capítulo se realiza un análisis sobre las medidas y políticas de adaptación climática impulsadas en los últimos años en la ciudad de Madrid, y que tienen efecto sobre la arquitectura y el urbanismo. El capítulo pretende entroncar con la siguiente cuestión: desde la perspectiva de la arquitectura de la ciudad, ¿cuáles han sido los proyectos, medidas e iniciativas públicas que acometan el problema del sobrecalentamiento urbano? Como hemos visto, el paisaje construido, las diferentes tipologías de edificios, la morfología urbana, las masas arbóreas o acuosas, generan un efecto sobre las comunidades humanas que habitan los espacios. Las interacciones con lo climático se establecen a través de múltiples escalas y las situaciones de sobrecalentamiento o confort térmico se dirimen en situaciones heterogéneas: desde normativa urbanística, a diseño arquitectónico o acciones cotidianas. La arquitectura no es un marco en el que las personas viven y "padecen", sino que forma parte de una cadena de acontecimientos y situaciones e interactúa con ellas. Es modificable, y puede comportarse de distintos modos en función de cuestiones como el uso o el contexto. Entender el parque edificado urbano no como algo estático, sino como algo dinámico, cambiante, provisto de una cierta inestabilidad, participante en asuntos controversiales (Yaneva, 2010), facilita el marco conceptual desde el que valorar las estrategias de adaptación. Si damos por buena la afirmación de que ya no hay fondos (o contextos, arquitectura) y objetos (o sujetos, sociedad), o lo que es lo mismo, que la arquitectura y la ciudad construida no es un marco estático en el que viven las sociedades (Jaque, 2011), sino que se insertan en la problemática del cambio climático a través de -entre otros asuntos- nuestras prácticas diarias de microgestión del calor, las políticas de rehabilitación edificatoria que socialmente validamos o las crecientes preocupaciones sobre el consumo energético, entendemos que la flexibilidad del panorama construido puede dar espacio a resiliencia y mitigación del cambio climático en la ciudad. Atender a las políticas urbanas sucede aquí por su condición de agente arquitecturizante, capaz de transformar algunas de las condiciones de ineficiencia explicadas en las páginas precedentes.

En primer lugar, atendemos a las iniciativas más interesantes dentro del marco europeo, así como a las directivas más relevantes en materia de transición energética y cambio climático en la ciudad. Posteriormente recogemos y explicamos la agenda española sobre los mismos temas, explicando brevemente el funcionamiento de las leyes de urbanismo en España. Por último, y con mayor nivel de detalle, repasamos el impacto

de los marcos previos sobre la ciudad de Madrid, atendiendo especialmente a tres niveles de trabajo, que marcan una línea ascendente en la materialización de las preocupaciones climáticas: desde informes públicos, pasando por planes de actuación a proyectos reales.

3.1 Marco europeo.

No es el objetivo del presente trabajo realizar un análisis exhaustivo de las medidas impulsadas desde la UE para hacer frente a las situaciones de sobrecalentamiento urbano, pero sí nombrar las iniciativas que se consideran más relevantes:

- Urban ERA-NET. En 2009 se realiza un estudio piloto a nivel europeo sobre la acción de la ciudad construida sobre las situaciones de estrés térmico. Tomando como escenario Gotemborg (Suecia) este experimento sirve para iniciar una serie de conversaciones e investigaciones simultáneas entre distintos grupos que consolida en la fomralización de la red de investigación Urban ERA-NET, dedicada al estudio del clima urbano, confort climático y riesgos y oportunidades desde el planeamiento urbano.

- De manera simultánea se desarrolla en Europa el Marco de Referencia para las Ciudades Sostenibles (RFSC), por mandato de los Ministros de Desarrollo Urbano de la UE. Resulta una herramienta -de uso voluntario- que sirve para guiar a desarrolladores y urbanistas en cuestiones de sostenibilidad integral urbana. Consta de una serie de indicadores y herramientas de visualización

- En 2016 se crea la iniciativa más ambiciosa en materia urbana de la UE: la Nueva Agenda Urbana. En ella se pone el foco en las ciudades como motores del desarrollo sostenible, poniendo el foco en algunos temas como la movilidad urbana, la transición energética, o la adaptación climática. El objetivo de la Nueva Agenda Urbana es ofrecer estándares y principios para la construcción en Europa y el desarrollo de las ciudades del futuro.

A día de hoy, las medidas más ambiciosas en respuesta al cambio climático tienen puesto el foco en 2030, con una reducción esperada de 55% de las emisiones de gases de efecto invernadero, para llegar a una neutralidad climática en 2050. Algunos países, como España, ya están legislando para cumplir con tales preceptos (BOE, 2021). En la

Directiva del 30 de mayo de 2018 del Parlamento Europeo, sobre la eficiencia energética de los edificios, fomentando energías renovables y edificios de consumo casi nulo.

3.2 Agenda española.

Como hemos visto a lo largo de este trabajo, las normativas técnicas de edificación españolas tienen un efecto incuestionable sobre la calidad y el confort térmico de los edificios de Madrid. Así, la sucesión de normativas cada vez más restrictivas (del NB-CT 79 al CTE HE 2019) da lugar a espacios más sostenibles y saludables. En la última versión del CTE HE, en el que se especifican los requisitos técnicos de obligado cumplimiento sobre el funcionamiento energético de los edificios, se buscan rendimientos de EECN (nZEB). Digamos que, con el paso de las décadas, las preocupaciones sobre el funcionamiento higrotérmico del edificio no solo han resuelto aumentar los requisitos de aislamiento térmico, sino que se han visto acompañadas de otras sobre eficiencia energética, que conllevan nuevas normativas sobre consumos máximos permitidos y tipos de energía incorporados a la vivienda. Esto tiene un efecto evidente -pero no inmediato- sobre las situaciones de sobrecalentamiento urbano. Como hemos visto, el estrés térmico sucede por la acción de múltiples elementos: aislamientos insuficientes, mala ventilación, orientación indeseada, trama urbana, etc. Las normativas que obligan a los nuevos edificios a consumir menos energía y ser más autosuficientes hacen prever entornos menos poblados de aparatos de aire acondicionado, resultando en menores índices de efecto ICU. Sin embargo, esta situación solo es esperable en aquellas promociones de vivienda nueva, situadas en las zonas periféricas donde precisamente la ICU es menos dañina. Para encontrar medidas más eficaces en el combate de las situaciones de sobrecalentamiento dentro de la ciudad es necesario atender a aquellas que se vuelcan sobre la ciudad edificada.

Entre 2010 y 2012 encontramos una serie de inciativas interesantes, que marcan la hoja de ruta del planeamiento urbanístico español, en las que se destacan aquellos principios, objetivos, guías o ejemplos para hacer las ciudades espacios más sostenibles medioambientalmente. En 2010 se publica el Libro Blanco de la Sostenibilidad en el Planeamiento Urbanístico Español, en el que se reflejan propuestas no vinculantes. El mismo carácter tienen la Estrategia Española de Sostenibilidad Urbana y Local (2011) y El Libro Verde (2012). Se pueden entender estos documentos como la constatación de un estado de la cuestión, una serie de preocupaciones, que se van consolidando hacia la Agenda Urbana Española (2019) y en forma de proyectos regionales de desarrollo local, en los municipios con EDUSI en España. Gracias a la

financiación europea se llevan a cabo numerosos proyectos de mejora que, si bien no tienen un efecto transversal sobre la gestión del calentamiento urbano, si sirven para ampliar zonas verdes, áreas peatonales o infraestructura urbana en numerosos lugares. La Agenda Urbana Española sirve como marco estratégico desde el que orientar a las diferentes ciudades en materia de sostenibilidad urbana, y es el reflejo de la Agenda Urbana Europea, en clave local.

El asunto es que, en España, el planeamiento urbano no está integrado en un organismo público centralizado, sino que depende de cada municipio. Atendiendo a las leyes estatales, cada ciudad española redacta sus normativas urbanísticas. Tales normativas se dividen en distintos tipos, de las que la de mayor jerarquía es el Plan General de Ordenación Urbana. En el PGOU se establecen cuestiones tan fundamentales como la trama y densidad urbana, espacialización de zonas verdes y viario, equipamientos, etc. Es por ello que a nivel estatal es difícil establecer normas sobre el diseño de la ciudad -nueva o consolidada-, siendo cada ayuntamiento responsable de tales decisiones. Esto deviene en una constelación interminable de planes urbanísticos, con mayores o menores sensibilidades hacia los temas que aquí tratamos. El asunto del calentamiento urbano se gestiona desde múltiples foros, con muy diversos intereses y conocimientos previos. Sin embargo, algunas leyes españolas dan un marco al que las distintas ciudades, también Madrid, deben atenerse. A continuación, se enuncian las dos legislaciones más relevantes en cuanto a la gestión del estrés térmico urbano:

RDL 7/2015.

Heredera de la Ley de rehabilitación urbana de 2012, en 2015 se aprueba la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana, cuyo objetivo es impulsar y facilitar la rehabilitación de edificios y la regeneración del tejido urbano existente para asegurar a los ciudadanos calidad de vida y derechos a la vivienda digna. En relación a las viviendas sobrecalentadas de las ciudades, se facilitan las obras de instalación de aislamiento térmico para reducir la demanda de calefacción o refrigeración, y se facilita la instalación de instalaciones renovables en cubierta para minimizar el gasto energético. Otro asunto de interés es que se obliga a atender a las personas con riesgos de mortalidad y morbilidad derivados de las altas temperaturas en la ordenación de los usos del suelo. Esto puede significar, por ejemplo, priorizar distritos con personas de mayor edad a la hora de proponer nuevas zonas verdes en la ciudad (BOE, 2015).

Ley 7/2021.

La Ley de cambio climático y transición energética suma en algunas de las medidas descritas en la anterior ley, además de orientarse con más hincapié a la producción y consumo de energía en España. Fijado por los objetivos del Acuardo de París de 2015, moviliza fondos para mejorar la eficiencia energética de los edificios, lo cual supone facilitar de nuevo la instalación de aislamientos y sistemas de energía renovable y de bajo consumo. La Ley anuncia un Plan de Rehabilitación de Vivienda que debe especificar y operativizar estos objetivos (BOE, 2021).

3.3 Informes, planes y proyectos de Madrid.

Una vez analizado el estado de la cuestión en materia de adaptación al cambio climático y el estrés térmico en las ciudades, cabe preguntarse qué nivel de apropiación han tenido estas premisas, planes y objetivos en la ciudad de Madrid. Con el objetivo de revisar aquellas iniciativas públicas que se han llevado a cabo o se están llevando a cabo en la ciudad, conviene organizarlas según su naturaleza. En el cuadro adjunto se consignan una serie de propuestas impulsadas por las administraciones locales (Ayuntamiento de Madrid o Comunidad de Madrid) en función de si se trata de informes, planes o proyectos.

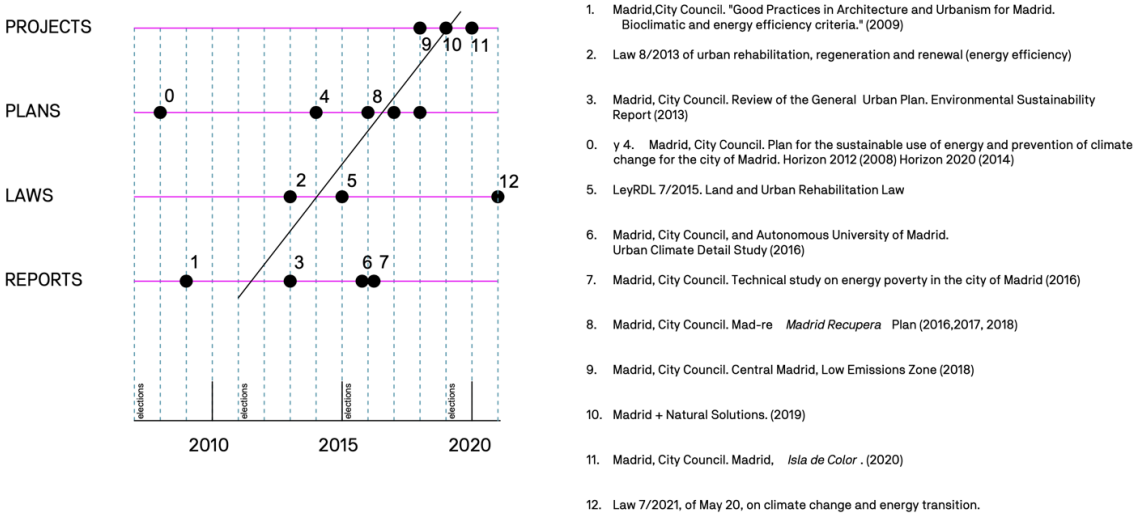


Figura 23. Informes, leyes, planes y proyectos públicos para Madrid en materia de sostenibilidad.

Esta división permite trazar una trayectoria creciente de materialización de las preocupaciones públicas en materia de calentamiento urbano, y más en general, de sostenibilidad del modelo de ciudad (Figura 23). La naturaleza de los informes es, precisamente, informar sobre una determinada situación que resulta necesaria conocer,

y en cuyo objeto basa su estudio. Los planes urbanos se destacan como documentos marco que fijan una determinada estrategia que debe regir las decisiones sobre la gestión de la ciudad en sus múltiples dimensiones. A partir de ahí, los proyectos concretos muestran materializaciones con carácter definitivo, que van re-dibujando el panorama urbano y con ello la relación del mismo con las los asuntos en cuestión. En nuestro caso destacaremos de las iniciativas recogidas aquellos aspectos más relevantes en cuanto a la adaptación al sobrecalentamiento, valorando su pertinencia y nivel de adecuación a la problemática. En ello, por la falta de datos concluyentes, nos servimos de las nociones recogidas en las páginas referentes, en cuanto a lo que debe ser entendido como medidas eficaces para minimizar el sobrecalentamiento en los diferentes escenarios de la ciudad.

La figura 23 nos permite intuir tres etapas en cuanto a la gestión pública del sobrecalentamiento urbano: una primera etapa, de primeros pasos, entre 2009 y 2014; una segunda etapa, de planeamiento, entre 2014 y 2018; y una tercera etapa, de acciones, de 2018 a la actualidad. Esta identificación nace de la naturaleza de iniciativas impulsada por las administraciones en los diferentes segmentos temporales. Entre 2009 y 2014 se dieron a conocer una serie de informes, que marcarían el desarrollo del planeamiento entre 2014 y 2018, siendo en la actualidad un momento donde se identifican mayor cantidad de proyectos ligados con la problemática en cuestión.

Primeros pasos 2009-2014

Como se ha señalado con anterioridad, a nivel europeo no es hasta 2009 que se realizan los primeros estudios sobre estrés térmico en la ciudad, teniendo en cuenta diferentes escenarios (Thorsson et al, 2009). La bioclimática urbana todavía es un asunto emergente, que se plasma por primera vez en Madrid en un documento-guía publicado en 2009. En él participan algunas de las personas con mayores conocimientos del tema en la ciudad, responsables de las primeras ordenanzas bioclimáticas de España (Higueras, 2009). El objetivo del libro es servir como guía conceptual para futuros desarrollos de planificación urbana en Madrid. Por primera vez en un documento de las autoridades municipales se habla de temas como la carta de Givoni, el ángulo de obstrucción solar o la inercia térmica. Sirve como una recopilación de estrategias y pautas de diseño que resultan fundamentales para sustentar prácticas arquitectónicas que minimicen la demanda energética, apostando por funcionamientos pasivos de los edificios. El libro, aunque novedoso para su momento, se queda no obstante en la mera presentación de la caracterización del clima madrileño, la acción de su arquitectura y su

urbanismo y posibles líneas de mejora, plasmadas como ejemplos de edificios construidos. Al tratar los asuntos de un modo más genérico, pierde potencia como herramienta de diseño, que en última instancia estaría condicionado por una casuística compleja y concreta. El libro se destaca como la recopilación de un conjunto de *buenas prácticas*, que pueden ser útiles de manera genérica para la gestión del clima en el ámbito de la arquitectura y el urbanismo.

Otro documento destacable de esta primera etapa es, sin duda, la Revisión del Plan General, Informe de Sostenibilidad Ambiental, de 2013. Como su propio nombre indica, se trata de un documento de revisión del plan de 1997, que es el documento normativo que regula el urbanismo de la ciudad de Madrid. Desde un punto de vista medioambiental, este informe se presenta como una actualización de las premisas que deben regir el desarrollo de la ciudad, incorporando asuntos de sostenibilidad urbana, que en la redacción del Plan del 97 no resultaban tan apremiantes como 25 años después. El objeto de la Revisión es evaluar los efectos medioambientales del Plan General, teniendo en cuenta aspectos como la biodiversidad, la población, la salud pública, etc. proponiendo medidas para reducir el impacto medioambiental de la ciudad e integrando criterios de sostenibilidad.

En relación con el estrés térmico, el documento señala una serie de polígonos “polivulnerables” de la ciudad, en donde se tienen en cuenta aspectos como el grado de exposición al efecto ICU, factor verde del entorno, población envejecida o de bajo recurso, o la calidad constructiva del parque edificado. Como se ha reiterado en distintos momentos del presente informe, este último criterio se analiza con acuerdo al año de construcción -anterior a 1980- y por el valor catastral del inmueble. Es de suponer que los edificios con mayor valor tienden a ser mejor conservados, independientemente de su año de construcción. Sobre los factores de vulnerabilidad social por mayor exposición a la Isla Térmica, el informe señala aquellas areas más castigadas (Arganzuela, Vallecas, Usera y Villaverde), y apunta someramente a algo que ya se ha señalado en este trabajo: las diferentes escalas de afectación en el problema del estrés térmico: mientras la localización geográfica es marca un primer nivel de riesgo, otros deben ser tenidos en cuenta, como la presencia de arbolado urbano o la calidad de la edificación.

Otro análisis relevante que realiza el Informe es cartografiar aquellos edificios más ineficientes -Figura 19-, entendiendo como tales aquellos cuyo intercambio de energía con el entorno genera las mayores diferencias térmicas sobre sus cubiertas. Esto sucede por la acción de los aparatos de aire acondicionado, que para refrigerar los

espacios interiores expulsan aire caliente al exterior. Los edificios más ineficientes son aquellos que necesitan más energía para mantener el confort térmico interior, y cuyo funcionamiento pasivo no es suficiente. Esto se puede deber a factores como la falta de aislamiento térmico, las superficies acristaladas excesivas o mal orientadas, o la mala ventilación, entre otros factores. Al requerir de aparatos para asegurar el confort, y consumir mucha energía, disipan mucha energía a su entorno, calentando las zonas aledañas. La geolocalización de este tipo de sucesos en la ciudad es un punto muy importante para las propuestas de atenuación del calor en la ciudad. En ese sentido, el Informe aporta una propuesta de medidas de incremento de factor verde a escala urbana, que tiene en cuenta precisamente la localización de estos sumideros de energía, además de los mencionados polígonos polivulnerables. Por primera vez vemos una propuesta de planeamiento integral, en la que se están teniendo en cuenta diversos factores de riesgo. El debe que se presenta en este documento es un análisis de la viabilidad de ese incremento de factor verde que, si bien se estima oportuno y acertado, presenta dudas en cuanto a su materialización. En cualquier caso, el Informe de Sostenibilidad Medioambiental de 2013 es un hito para el desarrollo posterior de políticas concretas y la movilización de recursos materiales e inmateriales, como veremos a continuación.

Dentro de esta primera etapa, en la que se desarrollan informes y estudios sobre el comportamiento térmico y energético de la ciudad, encontramos también los Planes para el Uso Sostenible de la Energía, de 2008 y 2014. En ellos, las administraciones locales se comprometen a las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero exigidas por Europa, en los horizontes 2012 y 2030. Los objetivos que se presentan en estos planes afectan de manera evidente al efecto ICU, ya que la reducción de dichos gases no solo tiene efectos positivos sobre la salud, sino también sobre la capacidad de la atmósfera urbana de disipar el calor.

2014-2018 Planeamiento

Una vez levantado en la ciudad de Madrid el estado de la cuestión sobre los asuntos mediambientales más acuciantes, como es el tema del sobrecalentamiento urbano, las administraciones pasan a una segunda etapa que podemos denominar de planeamiento. En este momento lo que interesa es empezar a trabajar con la ciudad, desde una óptica concreta y situada, basada en el uso de la misma y las experiencias vividas de sus habitantes. El cambio de administración produce un cambio de interés hacia la periferia, que pasa a ser más reconocida en los planes municipales en diversos

sectores, como cultura, turismo, movilidad… En cuanto a la gestión del fenómeno ICU, surgen las primeras ayudas directas a la rehabilitación de edificios, a través del plan *Mad-Re, Madrid Recupera*.

Mad-Re surge como un plan anual de apoyo a proyectos de rehabilitación energética, de accesibilidad o edificatoria para comunidades de vecinos en zonas vulnerables. Para identificar las zonas más necesitadas, el plan parte del trabajo de cartografía realizado por el Informe de 2013, ajustándose en gran medida a las zonas polivulnerables que vimos con anterioridad. En este caso, se denominan Áreas Preferentes de Impulso a la Regeneración Urbana, y vienen determinadas por indicadores socioeconómicos (como personas en paro, sin estudios o envejecidas), indicadores económicos, indicadores de la edificación (el valor según catastro, accesibilidad, año de construcción, índice de hacinamiento) e indicadores urbanos (zonas verdes, accesibilidad urbana, confort acústico). En esas APIRUS el municipio subvenciona, por convocatoria anual, medidas de regeneración como la instalación de ascensores, el aislamiento de las fachadas, cambio de cubiertas o reparaciones. La primera convocatoria fue en 2016, la segunda en 2017 y la tercera en 2018. Aprovechando la memoria justificativa en la que se mostraron los resultados, el ayuntamiento redactó en 2018 un documento en el que se propone un modelo de ciudad, basado en la programación de una serie de actuaciones, que supone un paso más respecto al Informe Medioambiental de 2013.

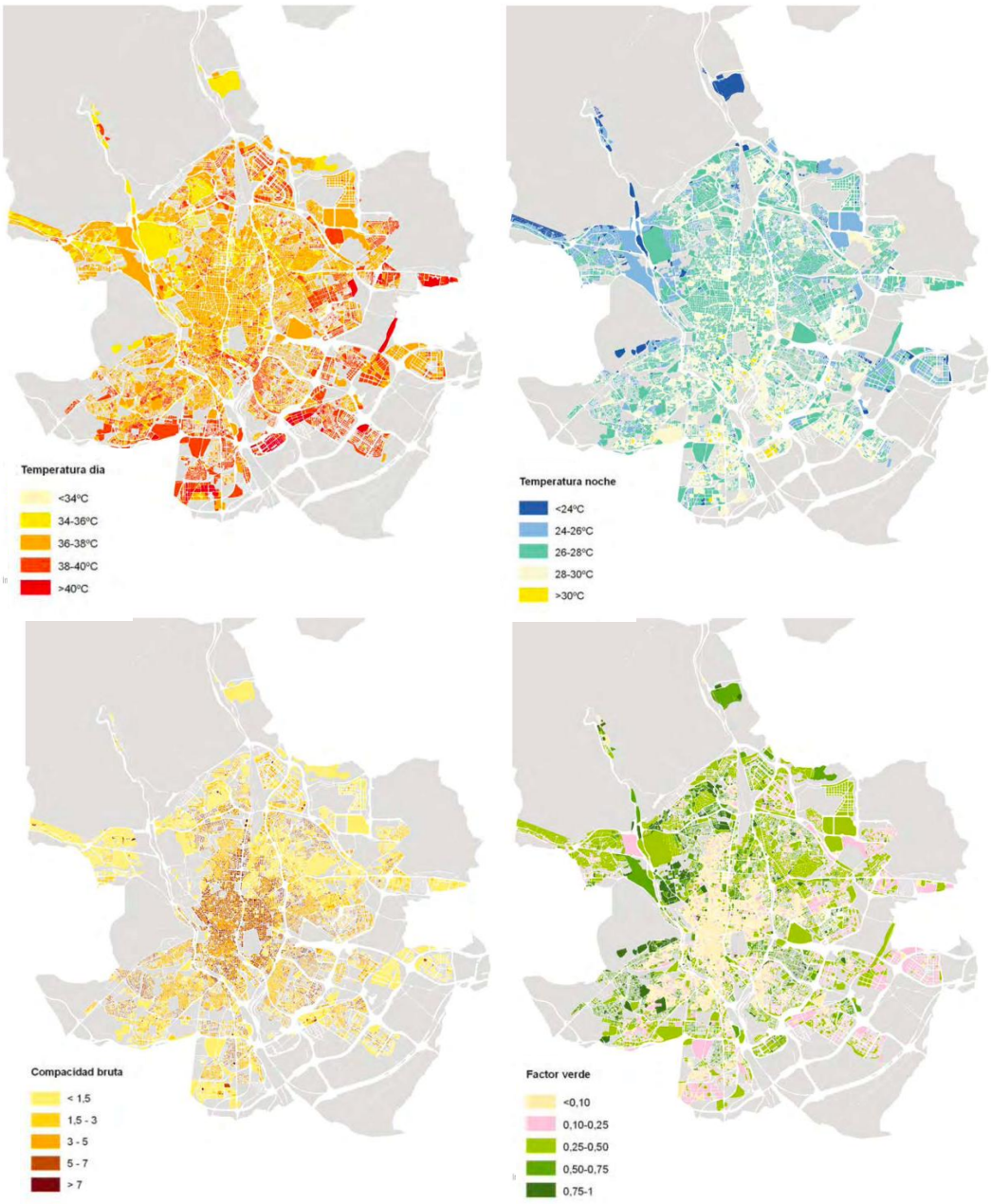


Figura 24. Cartografías Mad-Re. Temperatura diurna, temperatura nocturna, compacidad y factor verde. (Madrid, 2018)

En relación a la ICU, el plan se basa en una nueva lectura de la isla de calor urbana y una serie de indicadores relacionados (Figura 24). Así, identifica las zonas más compactas y aquellas con mejores superficies arboladas, para constatar que las areas más densas con menor factor verde se sitúan en el centro urbano y en algunas periferias con tipología de manzana cerrada -que se suelen corresponder con edificios de planta en H que vimos anteriormente- donde la isla de calor se hace más extrema. En ello señala los entornos de la M-30 como los lugares más expuestos, en lo que también

juega un papel importante el asfalto de la autovía. De nuevo, distritos como Arganzuela, Vallecas o Usera y Villaverde son señalados. También aporta una cartografía que localiza en la trama urbana la densidad de personas envejecidas.

En su análisis de los resultados de las ayudas de 2016 y 2017, llama la atención que, a pesar de estar repartidas por toda la ciudad, el tipo de ayuda es de manera mayoritaria para la accesibilidad, es decir, para la instalación de ascensores exteriores (Figura 25). Esto puede indicar un mayor grado de afección, en las experiencias corporeizadas de los vecinos, de la limitación de no disponer de este tipo de medios, y un mayor alejamiento hacia las cuestiones de confort térmico en el interior de las viviendas, que en última instancia puede ser resuelto aumentando la factura de la luz. Desde luego, accesibilidad y aislamiento de fachadas pueden afectar por distintos motivos a la sensación de estrés térmico en el interior de los edificios, por factores derivados de la actividad física -en el primer caso- y el comportamiento energético del edificio -en el segundo. La mejora de la accesibilidad también puede ser priorizada por la mayor facilidad técnica de su ejecución, siendo la colocación de todo un aislamiento continuo un asunto más complicado, en el que interviene de manera más generalizada el grado de conservación del edificio existente. También, sin duda, pudo animar a la solicitud de este tipo de ayudas el hecho de que el porcentaje cubierto de la operación ascendiera hasta un 70%, siendo las de mejora energética de un 55% de media.

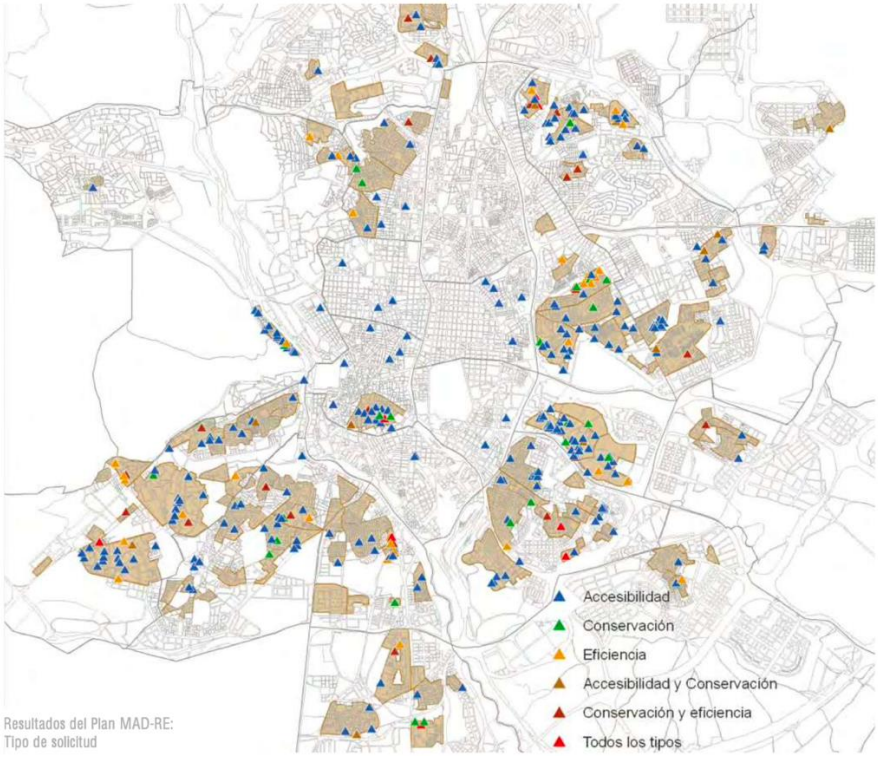


Figure 25. Zonas APIRUS, ubicación de los edificios rehabilitados y tipo de subvención. (Madrid, 2018)

Otro asunto que llama la atención es la poca participación de los distritos del sur en este tipo de ayudas, quizás por estar integrados por comunidades menos cohesionadas o más marginales. Se puede observar como en algunos distritos anteriormente mencionados -principalmente en Vallecas- son numerosas las concesiones de ayudas. El importe de las ayudas para las APIRUS, en cualquier caso, no superaría nunca un máximo de 10.000 euros, para las ayudas a la accesibilidad, y 8000 para aquellas a la rehabilitación energética, pudiendo privar de esta posibilidad a comunidades con menor nivel de ingresos del sur de la ciudad.En cualquier caso, el Plan realiza un diagnóstico propio -similar al de 2013, pero con mayor nivel de detalle- e identifica una serie de redes que deben guiar el desarrollo urbano de las periferias, para dotarlos de mayor calidad urbana. Estas redes son las de proximidad -que unen equipamientos de barrio- las de identidad -que unen hitos y espacios relevantes del barrio- las de caracter medioambiental -que unen parques y bulevares-, y de movilidad -que unen estaciones de metro, autobuses y demás medios de transporte público.

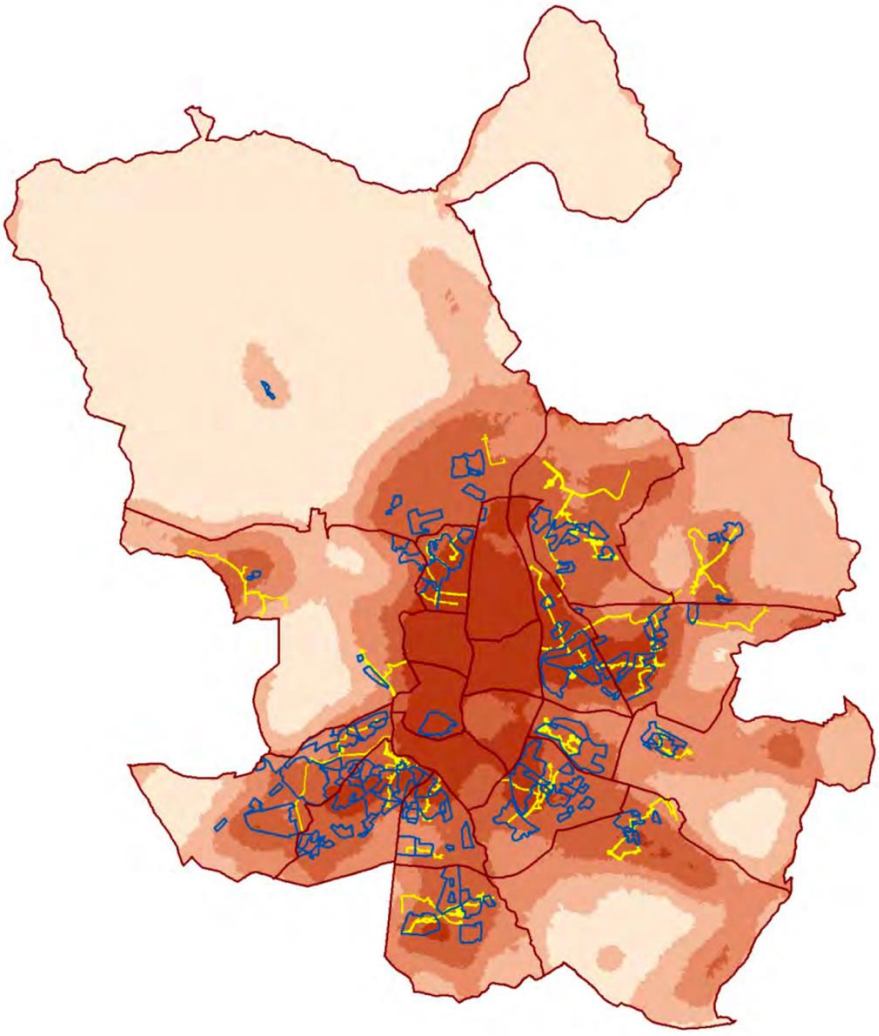


Figura 26. Cartografía de ICU, corredores verdes (amarillo) y zonas APIRUS (azul). (Madrid, 2018)

Estas redes se convierten en el plan en *Itinerarios Habitables,* que son paseos con un doble objetivo: “conseguir una ciudad más paseable y la estrategia bioclimática de mejorar las condiciones de la isla de calor urbana” (Ayuntamiento de Madrid, 2018, p.80). A través de la recuperación de la escala del peatón, el plan busca garantizar una movilidad de proximidad que además funcionen como corredores verdes que pongan en contacto parques y zonas verdes, utilizando recorridos arbolados y pavimentos permeables. Estas medidas tienen un amplio potencial para minimizar los efectos de la ICU, como vimos en el capítulo anterior. Las zonas verdes, por su capacidad para minimizar la radiación en el asfalto y aceras y, del mismo modo que los suelos permeables, por la acción refrescante de la evapotranspiración del agua que capturan. Los itinerarios que se plantean en Mad-Re atraviesan las áreas urbanas más compactas y mejorar las condiciones de confort, influyendo en los parámetros de temperatura y humedad. Es especialmente relevante el plano que a tal efecto se aporta, en la página 82 del documento, en el que se superponen las APIRUS, la ICU y los itinerarios propuestos (Figura 26). El nivel de ejecución del ambicioso plan de itinerarios es, sin embargo, bastante dispar. El cambio de alcaldía ocurrido poco después de la elaboración del Plan Mad-Re produjo un cambio de prioridades respecto a la periferia urbana. Si son apreciables, sin embargo, algunas iniciativas en el itinerario Del Río a Pradolongo, el itinerario Miradores o el itinerario Madrid-Río -Parque de San Isidro. Para una correcta evaluación de esta estrategia, se debería realizar un estudio detallado de dichos proyectos.

En los últimos años del mandato de Manuela Carmena se sucedieron algunas intervenciones urbanas encaminadas a la consecución de los planes presentados. A partir de 2018 podemos hablar, en materia de lucha contra el sobrecalentamiento urbano, de que pasamos a la etapa de las acciones.

Acciones. 2018-2021

Sin duda la acción más controversial y transformadora del Ayuntamiento de Manuela Carmena fue la materialización de la Zona de Bajas Emisiones Madrid Central. No es el objetivo de este trabajo realizar un análisis exhaustivo de la controversia asociada al plan, su grado de implementación y apropiación o sus repercusiones, pero sí señalar que la medida se tomó con el objetivo de mejorar la calidad del aire, pero también de otorgar al centro urbano de zonas más peatonales, reducir ruidos y, mejorar el comportamiento microclimático del centro. La contaminación atmosférica de la ciudad de Madrid era, y es, un asunto preocupante que genera un aumento considerable de la

mortalidad (Khomenko et al. 2021), y el proyecto se presentó como una medida eficaz para minimizar la acción de una de las grandes chimeneas urbanas: la zona centro. Actualmente se encuentra en estado de transformación, habiendo sido recurrido frente a la justicia por el actual Ayuntamiento para instaurar otro proyecto de muy similares características. Las cartelerías y señaléticas urbanas serán reemplazadas, si todo sigue según lo presentado, por la nueva “marca”.

También debemos destacar entre las acciones de esta última etapa, aunque no todas pertenezcan a esa orquilla temporal, los proyectos desarrollados dentro del paraguas del programa Madrid + Natural. En 2016, dentro de la estrategia local de adaptación al cambio climático que hemos visto con anterioridad, en la que se identificaron las APIRUS y se empezaron a conceder ayudas directas a la rehabilitación, el programa Madrid + Natural fue presentado como una inciativa para promover acciones que implementaran soluciones basadas en la naturaleza en tres escalas: edificio, barrio y ciudad. El objetivo del programa fue el de integrar la naturaleza como un mecanismo para mitigar los impactos derivados del cambio climático, las largas sequías y la creciente duración e intensidad de las olas de calor. La colección de acciones que se recogen en la memoria justificativa del programa -un total de de casi 50- ejemplifican algunos de las estrategias ya mencionadas en este trabajo: más zonas verdes en calles, fachadas y cubiertas, urbanismo resiliente, infraestructuras naturalizadas, microclimas con agua, sombreado estacional, superficies permeables, cambio de materiales de azoteas, etc.

Para una correcta evaluación de estos proyectos serían necesarias mediciones de las que no disponemos, y cuya obtención se antoja fuera de las capacidades de este trabajo. Sin embargo, la geolocalización de los proyectos recogidos dentro de Madrid+Natural sí que permite hacer las primeras valoraciones a priori. Al contrario que en la cartografía presentada en el Plan Mad-Re, relativa a los *Itinerarios Habitables*, encontramos en los proyectos de Madrid+Natural una clara preminencia del centro urbano, así como de las zonas más exteriores y nuevas de la ciudad. La corona de edificios construidos entre 1940 y 1980 se mantiene inaudita para este tipo de operaciones. Esto se puede deber a la dependencia de la iniciativa privada de las mismas que tienden a localizar sus intervenciones en lugares con mayores valores de mercado. En los distritos sobrecalentados mencionados, de Vallecas, Usera o Villaverde, no existen proyectos de M+N.

Más recientemente se ha dado a conocer el plan del nuevo Ayuntamiento para hacer frente a la situación del sobrecalentamiento urbano. En él no se hace mención a los planes precedentes, ni a los proyectos de Madrid + Natural ni al plan Mad-Re. En la comunicación gráfica se refleja la mancha de la Isla de Calor Urbana sobre una foto aérea de la ciudad, colocando a su derecha otra imagen en la que los naranjas y rojos se sustituyen por verdes. “De la Isla de Calor a la Isla de Color”, anuncia el lema del plan. El proyecto habla de “dejar atrás la idea de Madrid como un espacio afectado por el cambio climático, contaminado y que agota sus suelos mediante usos no sostenibles. Anamdonar la *isla de calor* y transformarla en *isla de color* verde”. Esta misma comunicación resulta un tanto confusa, pues parece considerar la UCI una idea, negando de manera tácita sus efectos. Sin embargo, como hemos podido entrever a lo largo de las páginas precedentes, el asunto de la Isla de Calor resulta algo muy tangible y cuya mitigación es sin duda más compleja que un asunto cromático. El calor, como agente corporeizado, que se expresa en las experiencias vividas y situadas de los habitantes de la ciudad, guarda muchas diferencias con el color, verde, que sin embargo se instrumentaliza en la comunicación oficial del Ayuntamiento.

Madrid Isla de Color tiene varias líneas de acción, entre la que destaca el Bosque Metropolitano, una propuesta de recuperación ecológica de los márgenes de la ciudad, en los entornos de la autovía M-40, que circunvala la ciudad (Ayuntamiento de Madrid, 2020). Los proyectos inscritos en en Bosque Metropolitano fueron los ganadores de un concurso internacional, donde equipos de arquitectura y urbanismo participaron. La calidad de las propuestas ganadoras es evidente, queda por ver el nivel de desarrollo que tendrán en los próximos años. En cualquier caso, a efectos de los intereses de este trabajo, los proyectos de Bosque Metropolitano no atacan la problemática del estrés térmico urbano, al situarse muy alejados de los lugares de máxima afección del fenómeno. Pero, como hemos visto, la formación de microclimas urbanos tiene relación con multitud de factores, y sin duda establecer cordones verdes, aunque alejados del centro, puede generar efectos positivos a nivel de calidad y frescor del aire periurbano, que accede a la ciudad con las corrientes de aire de la zona. Si atendemos a propuestas de mejora energética y climática dentro de los límites de la ciudad, en los barrios donde el efecto de la ICU es mayor, solo encontramos una breve infografía que, bajo el lema Barrios Productores, propone recuperar vacíos urbanos, espacios interbloque y cubiertas planas de los edificios. Sin embargo, no existe en esa documentación planimetría específica que desarrolle tales propuestas, ni análisis de los posibles efectos de las mismas.

3.4 Personas mayores y estrés térmico en Madrid.

Si atendemos a la gestión del sobrecalentamiento específico de las personas mayores, la Comunidad de Madrid dispone de un Plan de Emergencia, de aplicación anual entre los días 1 de junio y 15 de septiembre, cuando se esperan los valores máximos de temperatura (Comunidad de Madrid, 2019). El plan resalta el incremento de personas mayores de 80 años, que obligan a "una mejora continua de los planes de vigilancia y control de los efectos de las olas de calor" (Idem, 2019. p.5). Por ese motivo, los contenidos del plan se trasladan de forma pormenorizada a residencias de mayores y profesionales de servicios sociales de la ciudad. Considerados como "población diana" del plan de intervención, se presta especial atención a aquellos que reúnen algunos de las características de mayor fragilidad (vivir solo, tener problemas cognitivos, estar entratamiento médico, bajo nivel socio-económico, etc.). Desde el punto de vista arquitectónico, interesa señalar que también se consideran especialmente frágiles a aquellos ciudadanos mayores que "viven en los últimos pisos de viviendas sin ascensor y sin aire acondicionado" (p.15). Como hemos visto con anterioridad, las condiciones de estrés térmico se pueden agravar por, entre otros, esos tres condicionantes del edificio: las plantas altas como aquellas en las que tiende a acumularse el calor, la ausencia de ascensor como factor de incremento de la tasa metabólica y la necesidad de frescor, y el aire acondicionado como garante de condiciones de frescor a pesar de las consecuencias perjudiciales para el comportamiento térmico del espacio público. Algunas de las recomendaciones y consideraciones del plan también resultan interesantes desde un punto de vista de arquitectura y ciudad. Las recomendaciones tienen mucho que ver con aquellas estrategias de adaptación desde la escala del usuario, que se señalaron con anterioridad: uso de persianas y toldos para minimizar la radiación solar, conocimiento de los lugares refrigerados más próximos a la vivienda para acudir en caso de necesidad (supermercados, cines, museos, etc.), adecuación de los horarios de paseo a las horas con menor incidencia solar, utilización del agua para refrescar el cuerpo, etc.

En cualquier caso, más allá de aquellas aproximaciones a la gestión del calor desde el urbanismo y la arquitectura, señaladas en los distintos planes y proyectos municipales, no existe nada parecido a una "arquitectura orientada a la adaptación al calor en las personas mayores", o un urbanismo a tal efecto. Evidentemente, la arquitectura bioclimática, bajo estándares como el *Passivehaus*, se ha dedicado en muchos casos a nuevas construcciones de Residencias de personas mayores. Los efectos de este tipo

de arquitectura en el confort interior y en la reducción de la demanda energética del edificio son probadas. Para una población vulnerable, espacios diseñados que eliminen factores de incomodidad térmica como los que vimos en el comienzo del informe (no solo la temperatura o la humedad relativa, sino también el correcto equilibrio de superficies radiantes, la gradiente vertical de temperatura o la ausencia de corrientes de aire indeseadas) son muy deseables. Sin embargo, en la ciudad construida y consolidada, dicha atención es, hasta la fecha y a tenor de los planes y proyectos presentados por las administraciones locales, inexistente. Algunas investigaciones recientes señalan la diferencia entre la percepción subjetiva de las personas mayores con las mediciones reales del clima urbano, señalando el riesgo de sufrir estrés térmico. Muchas personas mayores pueden percibir el entorno como agradable a pesar de encontrarse en situaciones extremas (Larriva e Higueras, 2020). La necesidad de iniciativas de mitigación y adaptación microclimática en las ciudades es una cuestión urgente, de cara a mejorar la vida de las personas más vulnerables.

Conclusiones

Este trabajo se ha orientado a identificar la interacción de la arquitectura y el urbanismo de Madrid con el efecto de la ICU, con el objetivo de delimitar qué influencia las experiencias de calor en la ciudad. A pesar de que el efecto de la ICU es ampliamente reconocido, tanto científica como sociopolíticamente, y de que forma parte del imaginario urbano y que los efectos del calor urbano forman parte de las preocupaciones de los ciudadanos, sigue siendo un objeto de estudio esquivo, difícil de identificar y delimitar. Los múltiples agentes -tanto humanos como no humanos- que operan en la formación de la ICU lo convierten en una entidad difusa. En su definición intervienen diferentes escalas, que van desde la regional y urbana hasta la arquitectónica e individual.

Hemos reconocido, en este sentido, estrategias para mitigar el sobrecalentamiento urbano que operan a diferentes escalas. En este informe se han señalado las más importantes para la ciudad de Madrid, desde el comportamiento térmico de los materiales hasta la presencia de vegetación o las costumbres de ventilación.

Sin embargo, en lo que respecta a los planes y proyectos municipales, el urbanismo madrileño aún no está preparado para hacer frente al fenómeno del sobrecalentamiento. Esto se debe, fundamentalmente, a tres aspectos clave:

- Un elevado número de edificios no rehabilitados se construyeron sin requisitos técnicos de aislamiento, debido al retraso de la primera normativa de aislamiento en la construcción en España (1979).

- La rehabilitación energética, aunque técnicamente fácil de acometer, ha sido muy escasa en los últimos años, y se desarrolla lentamente en el presente.

- Los planes a escala urbana para paliar los efectos del sobrecalentamiento están esbozados por la administración, pero no desarrollados, y mucho menos ejecutados.

Y, lo que es más llamativo, las iniciativas municipales tienden a afrontar toda acción mitigadora del sobrecalentamiento desde una perspectiva exclusivamente descendente, dejando de lado muchas estrategias que, desde la escala del edificio y la de ciudadano-usuario, podrían ser de gran ayuda. El único plan que está directamente relacionado

con las experiencias de los ciudadanos frente al calor sigue siendo demasiado escueto y genérico.

La multiplicidad del fenómeno del estrés térmico, que se enmarca dentro del efecto de la ICU pero que se concreta en diversos parámetros (presencia de verde urbano, sombra, movimiento del aire, actividad física, masas de agua, etc.) hace necesarios estudios comparativos en diferentes escenarios localizados. Aunque se han realizado algunas aproximaciones, y algunas de ellas se han recogido en este documento (Tumini, 2013; Larriva e Higueras, 2020), queda mucho por investigar. Una investigación situada, a través de experiencias personales, en la que se evaluaran las variables de la arquitectura, la ciudad y el territorio podría dar lugar, como consecuencia a prácticas arquitectónicas más precisas para hacer frente al sobrecalentamiento en el entorno construido.

Referencias

Badarnah, L., & Knaack, U. (2008). Organizational features in leaves for application in shading systems for building envelopes. *WIT Trans. Ecol. Environ*, *114*, 87-96.

Barral, B. C. (2015). *El Madrid burgués: el ensanche Este de la capital,(1860-1931)* (Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid).

Basu, R. (2009). High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. *Environmental health*, *8*(1), 1-13.

BOE, Boletín Oficial del Estado, Gobierno de España (2021). Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética.

BOE, Boletín Oficial del Estado, Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana.

Borrallo-Jiménez, M., LopezDeAsiain, M., Esquivias, P. M., & Delgado-Trujillo, D. (2021). Comparative study between the passive house standard in warm climates and nearly zero energy buildings under spanish technical building code in a dwelling design in seville, spain. *Energy and Buildings*, 111570.

Cervero Sánchez, N., & Agustín-Hernández, L. (2018). Evaluación gráfica de la rehabilitación urbana del poblado dirigido de Caño Roto.

Chumillas, I. R. (2001). *Vivienda y promoción inmobiliaria en Madrid* (Vol. 43). Universitat de Lleida.

Córdoba-Hernández, R., Carmona-Mateos, F., Álvarez, D. M., Román-López, E., & Sánchez-Guevara, C. Área de Regeneración Urbana Ciudad de los Ángeles de Madrid. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales (CyTET)*, *52*(204), 349-356.

C. T. E. Código Técnico de la Edificación(2019). Documento Básico Ahorro de Energía HE1: Limitación de la Demanda Energética. Madrid. December.

Cuerda, E., Pérez, M., & Neila, J. (2014). Facade typologies as a tool for selecting refurbishment measures for the Spanish residential building stock. *Energy and Buildings*, *76*, 119-129.

Esteban-Maluenda, A. M. (2000). Madrid, años 50: La investigación en torno a la vivienda social. Los poblados dirigidos.

Fanger, P. O. (1970). Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering*.

Fernández, F., Allende, F., Rasilla, D. Martilli, A.,Alcaide, J. (2016). Estudio de Detalle del Clima Urbano de Madrid. Universidad Autónoma de Madrid, Aynutamiento de Madrid.

Fernandez-Antolin, M. M., del Río, J. M., Costanzo, V., Nocera, F., & Gonzalez-Lezcano, R. A. (2019). Passive design strategies for residential buildings in different Spanish climate zones. *Sustainability*, *11*(18), 4816.

Fernández Garcla, F., López Gómez, A., & López Gómez, A. (1996). La influencia del relieve en la isla de calor de Madrid: las vaguadas del Manzanares y del Abroñigal. *Estudios Geográficos*, *57*(224), 473–494. https://doi.org/10.3989/egeogr.1996.i224.682

Fernández Nieto, M. A. (2006). *Las colonias del hogar del empleado: la periferia como ciudad* (Doctoral dissertation, Arquitectura).

Rubio, F. D., & Fogué, U. (2015). *Unfolding the political capacities of design.* eScholarship, University of California.

Gunawardena, K. R., Wells, M. J., & Kershaw, T. (2017). Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of the Total Environment*, *584*, 1040-1055.

Hernández, A., Suárez, C. and Zuli, M., (2021). *¿De qué año es tu casa? El mapa que muestra cómo se ha construido España*. [online] Elconfidencial.com. Available at: <https://www.elconfidencial.com/vivienda/2019-11-26/mapa-espana-urbanismo-edificios-historia_2348415/> [Accessed 11 June 2021].

Higueras García, Ester (2009). "La ordenanza bioclimática de Tres Cantos, Madrid. Últimos avances en planificación ambiental y sostenible." *Revista de Urbanismo 20.*

Humphreys, M. (1978). *Outdoor temperatures and comfort indoors. Batiment International, Building Research and Practice, 6(2*), 92-92.

JAQUE, A. J. (2011). Eco-ordinary: etiquetas para la práctica cotidiana de la arquitectura= Eco-ordinary: codes for everyday architectural practices/Eco-ordinary. *Oficina de Innofación Política Universidad Europea de Madrid*.

Khomenko, S., Cirach, M., Pereira-Barboza, E., Mueller, N., Barrera-Gómez, J., Rojas-Rueda, D., ... & Nieuwenhuijsen, M. (2021). Premature mortality due to air pollution in European cities: A health impact assessment. *The Lancet Planetary Health*, *5*(3), e121-e134.

Larriva, M. T. B., & Higueras, E. (2020). Health risk for older adults in Madrid, by outdoor thermal and acoustic comfort. *Urban Climate*, *34*, 100724.

De Luxán, M., & Gómez, G. (2006). Dos bloques de viviendas y locales comerciales en San Cristóbal de los Ángeles, Madrid. *Informes de la Construcción*, 58(502), 5-16.

De Luxán, M. Vázquez, M., Román, E., & Barbero, M. (2008). Criterios de sostenibilidad para la rehabilitación privada de viviendas en los barrios de Hortaleza, Jacinto Benavente, y sector 1 de Lavapiés de Madrid. *Empresa Municipal de la Vivienda, Madrid*.

López Gómez, A., López Gómez, J., Fernández García, F., & Arroyo Ilera, F. (1988). El Clima urbano de Madrid: La isla de calor. Madrid: CSIC

de Lucio, R. L. (2017). El "Ecobulevar" del PAU de Vallecas, 1995-2016 Un caso paradigmático de fracaso del planeamiento y el diseño urbanos y de la arquitectura| The 'Eco-boulevard'of the Vallecas Urban Action Programme, 1995–2016 A paradigmatic case of the failure of urban planning, urban design and architecture. *ZARCH*, (8), 42-61.

Madrid, Ayuntamiento de (2009). Buenas prácticas en arquitectura y urbanismo para Madrid. Criterios bioclimáticos y de eficiencia energética. *Área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda.* Subdirección General de Planificación General y Periferia Urbana.

Madrid, Ayuntamiento de (2013) Revisión del Plan General, Informe de sostenibilidad ambiental. *Area de Gobierno de Urbanismo y Vivienda*.

Madrid, Ayuntamiento de (2018) Plan Regenera, Mad-Re. *Área de Gobierno de Desarrollo Urbano Sostenible.* Dirección General de Planificación Estratégica

Madrid, Ayuntamiento de (2020). LA ISLA DE COLOR. Las infraestructuras verdes como oportunidad estratégica en el modelo de ciudad. *Área de Gobierno de Desarrollo Urbano.* Dirección General de Planificación Estratégica.

Madrid, Comunidad de (2019). Vigilancia y control de los efectos de las olas de calor 2019. Plan de respuesta ante los riesgos. Dirección General de Salud Pública

Martín-Consuegra, F., de Frutos, F., Oteiza, I., & Agustín, H. A. (2018). Use of cadastral data to assess urban scale building energy loss. Application to a deprived quarter in Madrid. *Energy and Buildings*, *171*, 50-63.

Mueller, N., Rojas-Rueda, D., Khreis, H., Cirach, M., Andrés, D., Ballester, J., ... & Nieuwenhuijsen, M. (2020). Changing the urban design of cities for health: The superblock model. *Environment international*, *134*, 105132.

Nuñez Peiró, M. N., López, E. R., Sánchez, C. S. G., & González, F. J. N. (2016). Hacia un modelo dinámico para la isla de calor urbana de Madrid. Towards a Dynamic Model for the Urban Heat Island of Madrid. *Anales de edificación,* 2(1), 49-58.

Núñez Peiró, M., Sánchez-Guevara Sánchez, C., & Neila González, F. J. (2017). Actualización de la isla de calor urbana de Madrid y su influencia en la simulación energética de edificios. In Proceedings of the 3rd International Congress on Sustainable Construction and Eco-Efficient Solutions.(2017), p 890-901. Universidad de Sevilla. Escuela Técnica Superior de Arquitectura..

Pombo, O., Rivela, B., & Neila, J. (2014). Modelo de edificación para el análisis multicriterio de la rehabilitación del parque residencia madrileño de los años 1950-1980. *Archit. Res. Find. Build. Constr. Manag. Technol., Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, Madrid*, 412-416.

Salamanca, F., Martilli, A., & Yagüe, C. (2012). A numerical study of the Urban Heat Island over Madrid during the DESIREX (2008) campaign with WRF and an evaluation of simple mitigation strategies. *International Journal of Climatology*, *32*(15), 2372-2386.

Sambricio, C. (Ed.). (2003). *Un siglo de vivienda social: 1903-2003*. Madrid: Nerea.

Sánchez, C. S. G., Mavrogianni, A., & González, F. J. N. (2017). On the minimal thermal habitability conditions in low income dwellings in Spain for a new definition of fuel poverty. *Building and Environment, 114,* 344-356.

Shishegar, N. (2015) The Impact of Green Areas on Mitigating Urban Heat Island Effect: A Review. *The International Journal of Environmental Sustainability*, Vol. 9, Issue 1, 119-130

Thorsson, Sofia, et al. "POTENTIAL INCREASE IN HEAT STRESS IN SWEDISH CITIES DUE TO CLIMATE CHANGE: THE IMPACT OF BUILT STRUCTURE ON THERMAL COMFORT." *The seventh International Conference on Urban Climate, Yokohama, Japan*. 2009.

Tumini, I. (2013). *El microclima urbano en los espacios abiertos: estudio de casos en Madrid* (Doctoral dissertation, Arquitectura).

Varela, S., Viñas, C., Rodríguez, A., & Aguilera, P. (2018). Analysis of the thermal behaviour of the ETICS system: Rehabilitated building in Madrid. *Anales de Edificación*, *4*(4), 35-41.