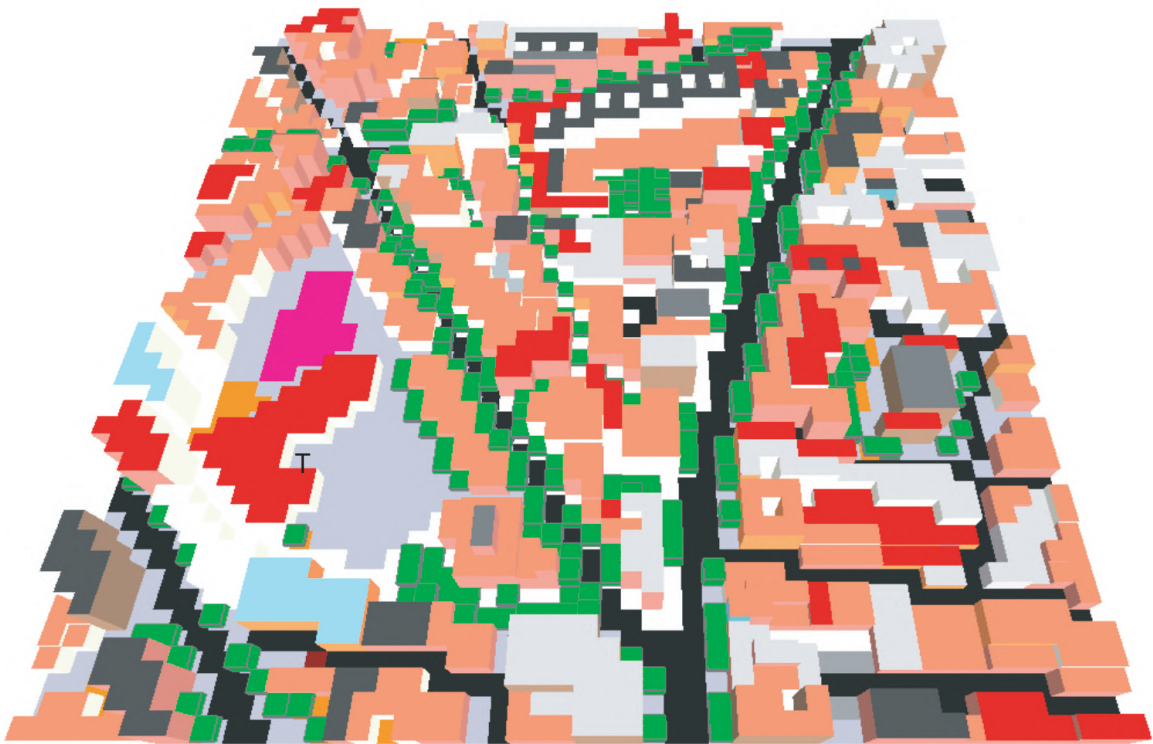


LA SUPERMANZANA

POTENCIAL REFUGIO PARA COMBATIR LA ISLA DE CALOR



Autor: Javier Naranjo Jiménez

Tutora: Carmen Sánchez-Guevara Sánchez

TFG ETSAM Aula 2

11 de enero de 2021

LA SUPERMANZANA
POTENCIAL REFUGIO PARA COMBATIR LA ISLA DE CALOR

Trabajo de Fin de Grado
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid
Universidad Politécnica de Madrid

Autor: Javier Naranjo Jiménez
Tutora: Carmen Sánchez-Guevara Sánchez
Aula 2, cuatrimestre de otoño 2020-2021

Agradecimientos

Me gustaría agradecer brevemente a mi familia por el esfuerzo y apoyo recibidos durante todos estos años y por darme la posibilidad de poder formarme en esta escuela. También quería agradecer encarecidamente a mi tutora Carmen Sánchez-Guevara Sánchez por su dedicación y entrega durante estos meses.

Índice

Resumen y objetivos	06
Metodología	07
1. El reto de la sostenibilidad urbana	
1.1. Urbanismo ecosistémico	08
1.2. La supermanzana	13
2. La isla de calor urbana	
2.1. Definición y características	18
2.2. Estrategias de mitigación bioclimática	22
3. Escenario de estudio: Madrid	
3.1. Incidencia de la ICU. Origen y condicionantes	26
3.2. Selección de la supermanzana	31
3.3. Análisis y diagnóstico de la supermanzana	36
3.4. Propuesta de rehabilitación	46
4. Simulación y evaluación de la propuesta	
4.1 Metodología del software ENVI-MET	52
4.2. Evaluación y comparativa de la simulación	60
4.3. Comentario de los resultados	71
Conclusiones	74
Fuentes bibliográficas	78
Procedencia de las figuras	81

Palabras clave

Supermanzana

Urbanismo ecosistémico

Isla de calor

Diseño bioclimático

Resiliencia urbana

Confort térmico

Simulación ambiental

Resumen

En un contexto donde las amenazas derivadas del Cambio Climático son ya una realidad, las ciudades tienen el gran desafío de adaptarse e implantar planes de desarrollo centrados en la sostenibilidad y la resiliencia urbana. La mitigación de los efectos de la isla de calor urbana se presenta como uno de los desafíos más complejos a resolver, dada la cantidad de variables que influyen en su formación. Con el esperado aumento de las temperaturas en las próximas décadas y un envejecimiento progresivo de la población en el caso de España, harán que aumente la vulnerabilidad de la población frente a este fenómeno.

Es por tanto necesario repensar los modelos de ciudad actual para construir ciudades más habitables, en las que se fomente un mayor contacto con la naturaleza y que cuenten con infraestructuras verdes sólidas, garantizando espacios públicos saludables y de calidad. Así es cómo la implementación de modelos urbanos como la supermanzana o la aplicación de estrategias de diseño bioclimático son cada vez más recurrentes en los planes urbanos de algunas ciudades, los cuales se estudiarán durante el presente trabajo.

Objetivos

El objetivo fundamental de este trabajo de investigación, es demostrar la validez de la supermanzana como un modelo de ordenación urbana favorable para la implementación de soluciones bioclimáticas efectivas que ayuden a mitigar los efectos de la isla de calor urbana (ICU).

Para la consecución de este objetivo se plantean también alcanzar los siguientes objetivos secundarios:

Relacionar los principios del urbanismo ecosistémico en los que se basa el modelo de la supermanzana, con las estrategias de diseño bioclimático urbanas centradas en combatir el estrés por calor en los meses sobrecalentados

Elaborar una propuesta de rehabilitación bioclimática urbana de una supermanzana en base a los parámetros ecosistémicos y bioclimáticos estudiados, y comprobar sus efectos en el microclima urbano.

Metodología

Para alcanzar los objetivos propuestos, se plantea:

1. Un acercamiento a los retos de la sostenibilidad urbana planteados por el urbanismo ecosistémico, centrándonos en los principios relacionados con el confort térmico y la habitabilidad del espacio público.
2. Estudiar el modelo urbano de la supermanzana y su funcionamiento en relación a los principios ecosistémicos en los que se basa, además de cómo ha sido su implementación en algunas ciudades españolas.
3. Profundización sobre los conceptos y variables más significativas que condicionan el fenómeno de la isla de calor urbana y las estrategias de mitigación de sus efectos, estas últimas expuestas en el Manual de Diseño Bioclimático.
4. Caso de estudio de Madrid, en el que se seleccionará una zona en función de la incidencia geográfica de la isla de calor urbana y que además presente índices de habitabilidad urbana bajos. En la zona escogida se estudiará en detalle una unidad de supermanzana, de la que tras su análisis y diagnóstico, se elaborará una propuesta de rehabilitación bioclimática.
5. Con el fin de probar la eficacia de la propuesta, se utilizará el software de simulación ambiental ENVI-MET, que nos permitirá generar mapas del microclima urbano actual y el rehabilitado, pudiendo finalmente evaluar los efectos de la intervención en relación al confort térmico y probar así su validez como potencial refugio climático.

1. El reto de la sostenibilidad urbana

Según un informe de las Naciones Unidas, se estima que en tan solo dos décadas, dos tercios de la población mundial vivirá en ciudades. En el caso de España esa proporción a día de hoy ya se ha superado, haciendo que las áreas urbanas concentren al 80% de la población y que en el conjunto del territorio estas tan solo supongan el 20% de la superficie total (Ministerio de Fomento, 2019).

Estos datos muestran la magnitud y el protagonismo de la ciudad frente al medio rural, haciendo que los retos globales a los que se enfrenta la sociedad contemporánea tengan que abordarse en gran medida desde la perspectiva urbana. En este sentido y en un contexto donde las políticas urbanas han de estar enfocadas necesariamente al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Moran M, 2020), son muchas las administraciones públicas que han puesto en marcha nuevos planes integrales para la regeneración y mejora de los sistemas urbanos existentes.

Todos estos retos pasan por revertir el aumento de la desigualdad, corregir los desequilibrios demográficos tanto dentro como fuera de las ciudades, adaptar y actualizar las infraestructuras de movilidad a las nuevas necesidades o mitigar los esperados efectos del cambio climático y la pérdida de biodiversidad entre otros.

1.1. Urbanismo ecosistémico

Muchos de estos planes recogen gran parte de las ideas y fórmulas planteadas por el urbanismo ecosistémico, que se postula como un nuevo instrumento para “producir ciudad desde el punto de vista de la ecología” (Rueda. S, 2018) capaz de anticiparse a las nuevas amenazas derivadas de un modelo social y productivo insostenible, que ha acrecentado las desigualdades y una progresiva disminución de la calidad urbana. Su principal impulsor es Salvador Rueda Palenzuela, ac-

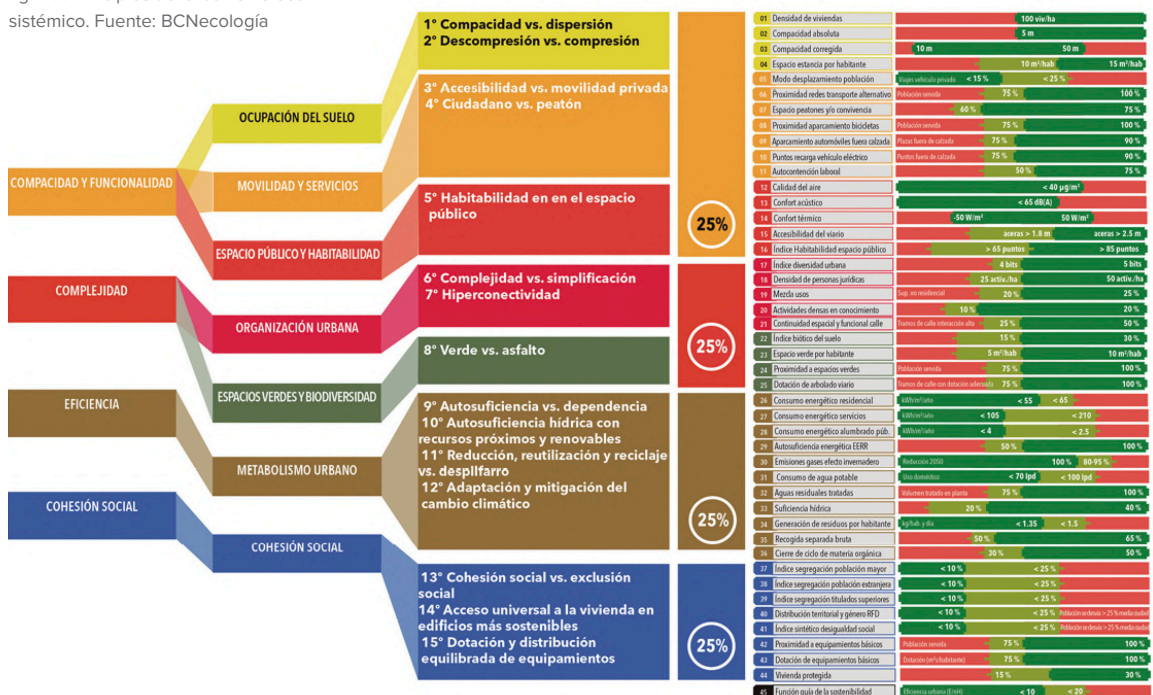


fig. 1.1. Objetivo de desarrollo sostenible nº11. Fuente: Naciones Unidas

tual director de la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. En sus inicios como técnico director del área de medio ambiente del ayuntamiento, Rueda fue consciente de las carencias y desequilibrios de una ciudad invadida por coches y motocicletas, donde prima el factor económico e inmobiliario frente al bienestar y la calidad de vida de sus habitantes. Crítico con las ideas de zonificación de los modelos de ciudad planteadas en los CIAM (Rueda. S, 2016), siempre ha defendido la ciudad de los espacios múltiples y complejos, en la que no existe la segregación social y donde se refuerza el sentimiento vecinal y de proximidad.

Este nuevo urbanismo, cuya apuesta es firme por la regeneración de los tejidos urbanos existentes, está basado en unos quince principios fundamentales con el fin de garantizar un equilibrio económico, social, am-

fig. 1.1.1. Principios del urbanismo ecosistémico. Fuente: BCNecología



biental y cultural justo en la ciudad (fig. 1.1.1). Si aplicamos la perspectiva de la rehabilitación bioclimática urbana, base de este trabajo de investigación, podemos encontrar hasta 9 principios coincidentes (BCNecología, 2018):

I. Compacidad vs Dispersión. Reducir el consumo de suelo aumentando la proximidad y la masa crítica de personas para garantizar “la vitalidad y habitabilidad urbana”. La compacidad urbana expresa la proporción de usos y funciones urbanas en la ciudad, pudiendo distinguir dos tipos: la compacidad absoluta, que expresa la relación entre el volumen total edificado y la superficie total de suelo de una unidad urbana determinada, y la compacidad corregida, que nos habla de la relación entre el volumen total edificado y los espacios estanciales como parques o calles peatonales de una unidad urbana (fig. 1.1.2.).

II. Descompresión vs Compresión. Corregir la compacidad urbana reside en la búsqueda de un equilibrio entre la “tensión” necesaria para generar ciudad y la descompresión adecuada para proporcionar un grado suficiente de espacios destinados al esparcimiento. Los tejidos urbanos objeto de mejora, han de valerse del indicador de compacidad corregida, el cual permite establecer la proporción adecuada entre espacio construido y espacio público.

III. Accesibilidad vs Movilidad privada. Actualmente entorno al 80% del espacio público en las ciudades está destinado a la movilidad de paso, y casi en exclusiva a la motorizada, lo que limita las posibilidades de destinar ese espacio a otros usos. Es necesario adaptar y actualizar las infraestructuras urbanas a otras formas de movilidad como la de la bicicleta, a la par de destinar más viales exclusivos al transporte colectivo. Estas medidas junto con la recuperación de espacio para el peatón, generarán un impacto medioambiental positivo, al reducirse tanto las emisiones de efecto invernadero a la atmósfera como la disminución de los niveles de ruido.

IV. Habitabilidad en el espacio público. Se precisa un control de las variables del entorno en los diferentes ecosistemas urbanos. Las nuevas propuestas de intervención han de garantizar el confort ambiental

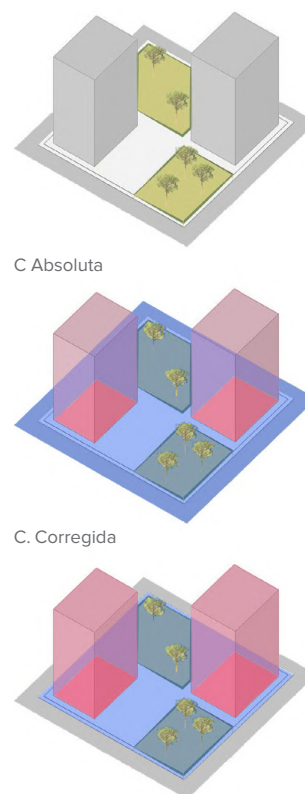


fig. 1.1.2. Diagramas explicativos: compacidad absoluta y compacidad corregida. Fuente: elaboración propia

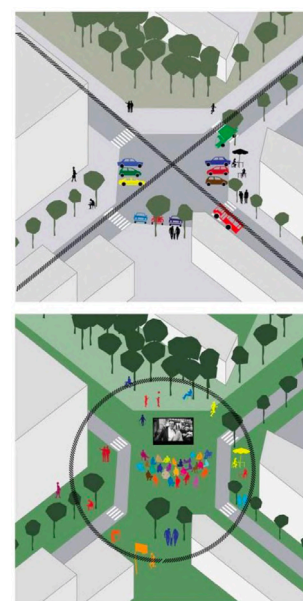


fig. 1.1.3. Diagrama de reconversión de la calle en zona verde. Fuente: BCNecología



fig. 1.1.4. Semáforo de riesgo por niveles de contaminación atmosférica en ppm. Fuente: equipo 11 calidad del aire

del espacio público (ruido, calidad del aire y confort térmico) junto con la integración de servicios básicos para residentes.

V. Verde vs Asfalto. El medio urbano supone una “artificialización” con implicaciones muy significativas para el entorno natural en el que se asienta, alterando el suelo, la calidad del aire, el régimen hidrológico e incluso el propio clima. Es por esto necesario reverdecer las ciudades para aumentar la permeabilización, permitiendo así la regulación y equilibrio de las variables relativas al confort térmico y mejorar a su vez el grado de biodiversidad urbano. Se habrá de garantizar el acceso a zonas verdes a menos de 300 metros y unos 5 m²/hab de zona verde.

VI. Autosuficiencia vs Dependencia. Las áreas urbanas son los principales consumidores de energía en el planeta y por ende las responsables de gran parte de las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, causantes en parte de la degradación del patrimonio construido o el aumento del efecto invernadero de la isla de calor. Por otro lado, la reducción del consumo energético en edificios es de vital importancia, y para ello es fundamental la rehabilitación energética. Con esto se evita la excesiva pérdida de cargas internas en los meses más fríos, a la par que se reduciría la producción de calor antropogénico que tiene especial afección durante el período estival.



fig. 1.1.5. Ejes estratégicos del Plan Clima de la ciudad de Barcelona. Fuente: Plan Clima 2018

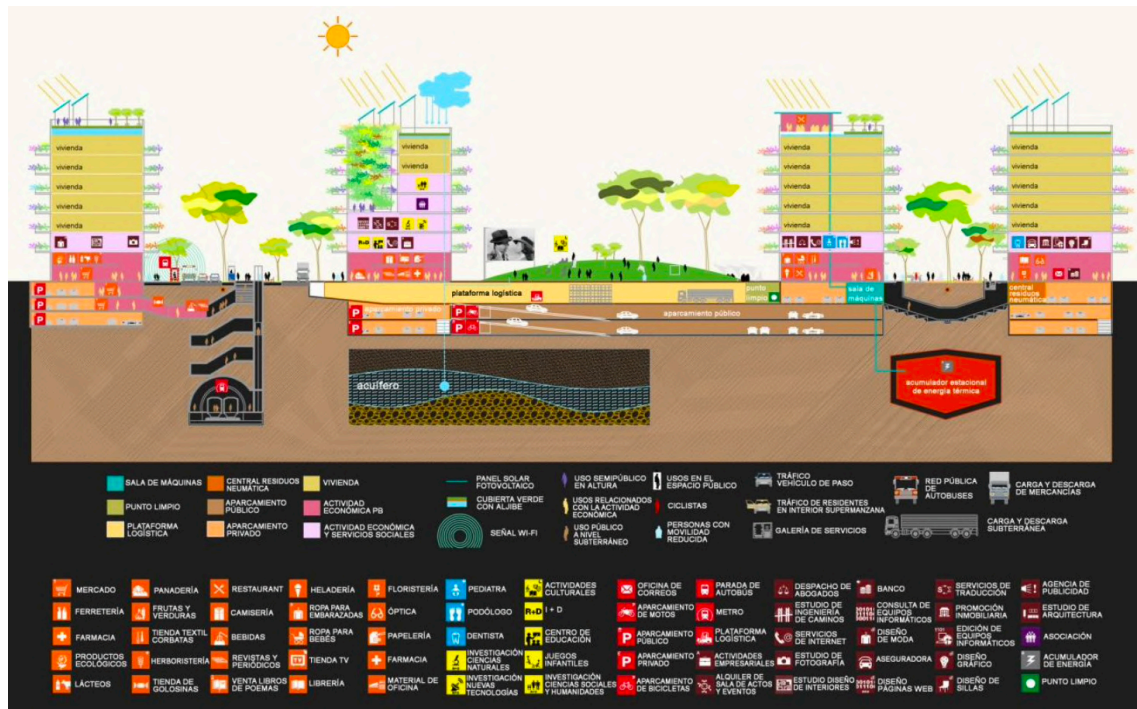
VII. Autosuficiencia hídrica. La gestión del agua en la ciudad ha de garantizar el abastecimiento y suministro de agua de calidad, la recuperación de los recursos hídricos subterráneos y la protección de los acuíferos destinados al abastecimiento. Se ha de contemplar la recogida de aguas pluviales con el aumento de la permeabilidad del suelo, haciendo posible que se aumente la capacidad de infiltración de los acuíferos provenientes del agua de lluvia. Se estima así un 15% mínimo de superficie permeable respecto al total.

VIII. Adaptación y mitigación del Cambio Climático. Con el aumento de las temperaturas debido al calentamiento global y sus esperadas consecuencias en forma de inundaciones, sequías extremas y olas de calor más persistentes, la adaptación de las infraestructuras y la edificación es fundamental para reducir su vulnerabilidad ante estos fenómenos. En ambos escenarios la eliminación de superficies impermeables o favorecer las áreas de retención de agua con zonas de vegetación y arbolado, serían las estrategias a seguir para una mayor resiliencia frente a dichas amenazas.

IX. Acceso universal a la vivienda en edificios más sostenibles. La ciudad consolidada se presenta como soporte para la edificación sostenible mediante su rehabilitación y adaptación a las nuevas necesidades de sus habitantes, mediante implementación de elementos ecosistémicos tales como las cubiertas vegetales o elementos de captación renovable.

A estos principios, se le suman los otros seis no mencionados relativos a los ámbitos de la organización urbana. Todos ellos están interrelacionados unos con

fig. 1.1.6. Sección del Urbanismo Ecosistémico. Fuente: BCNecología



otros y de su grado de aplicación y retroalimentación dependerá el que se alcancen o no los objetivos propuestos y llegar así a una sostenibilidad urbana real y tangible. Para ello se contemplan unos valores de referencia, algunos ya mencionados anteriormente, con los que se determinará el equilibrio ecosistémico de las áreas que se quiera analizar. Estas áreas objeto de análisis pueden ser de distintas escalas, aunque la superficie de referencia establecida es de entre 16 y 20 hectáreas, al ser estas unidades de ciudad “el ecosistema urbano mínimo capaz de integrar el conjunto de los quince principios ecosistémicos” (Rueda S, 2018).

1.2. La supermanzana

El urbanismo ecosistémico define el ecosistema urbano mínimo cómo la supermanzana. La idea original se remonta al año 1987 cuando Salvador Rueda estaba elaborando un mapa de ruido de la ciudad condal. En esos mapas la influencia del coche era la principal variable en cuanto a la existencia o no de niveles de ruido diurno admisibles. Con el fin de reducirlos y partiendo de la idea de que la calle ha de ser vecinal, planteó liberar de coches las calles interiores de grupos de manzanas en la ciudad y llevar esos flujos de tráfico a las calles perimetrales.

fig. 1.2.1. Esquema de una célula de supermanzana. Fuente: El País



La idea de planificar la ciudad en pequeñas entidades urbanas no es nueva y se remonta a propuestas de ciudad como las planteadas por Ildefonso Cerdá en el Ensanche de Barcelona o por Le Corbusier en su propuesta para la ciudad de Chandigarh en India (Tarragó, S., 1988). Estas unidades se plantearon como una respuesta a pequeña escala a las necesidades urbanas de su época, repitiéndose de forma expansiva por toda la ciudad y dando lugar a un nuevo modelo urbanístico. En ambos casos, el modelo estuvo fuertemente ligado a las dinámicas de movilidad impuestas por el vehículo privado, el cual se ha posicionado como “el artefacto” (Rueda S, 2018) más privilegiado dentro del escenario urbano.

En este contexto, la supermanzana sigue esta lógica por repetición tanto si hablamos de nuevos tejidos como de áreas urbanas ya consolidadas. En los primeros, unas dimensiones de entre 400 a 500 metros de lado son las más adecuadas, ya que son el tamaño mínimo capaz de integrar todos los modos de transporte urbano, mientras que en tejidos ya existentes, las dimensiones se adaptan al viario y la morfología urbana dados.

Su formalización en la ciudad se basa por tanto en dos ejes fundamentales:

1. Nuevo modelo de movilidad. Este parte de la redistribución del tráfico en vías básicas que rodean perimetralmente las células de supermanzana y por las cuales circulan las redes de transporte urbano: autobuses, vehículo privado, emergencias y también vías ciclables. Valiéndose de la jerarquía viaria existente, se logra mantener la funcionalidad y organización del sistema de movilidad actual, priorizando en la medida de lo posible una red ortogonal que garantice la rapidez en los desplazamientos. Con estos cambios se pretende expandir de manera “isomorfa y equitativa” el servicio de transporte público y la infraestructura de la bicicleta, sin renegar el papel importante que tiene

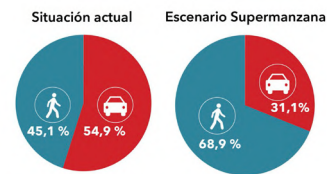


fig. 1.2.2. Porcentaje de espacio peatonal y tránsito de vehículos. Fuente: Elaboración propia

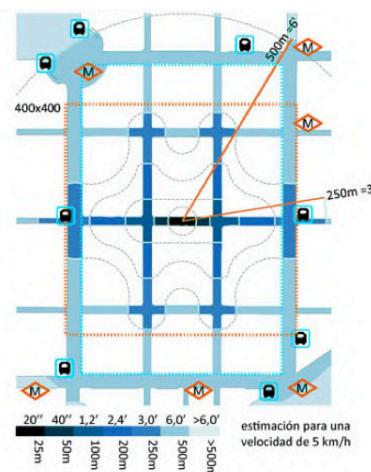


fig. 1.2.3. Esquema de desplazamientos a pie al transporte público. Fuente: Proyecto Madrid Centro (PMC), Estudio Herreros



fig. 1.2.4. Esquema tipo de la red viaria de la supermanzana. Fuente: Proyecto Madrid Centro (PMC), Estudio Herreros

el vehículo privado en la ciudad. Ciertamente es así que aun reduciéndose de forma considerable el viario destinado a tráfico de paso en la ciudad de Barcelona, esto no conllevaría una disminución proporcional de vehículos en circulación (Rueda S, 2016).

fig. 1.2.5. Comparación del esquema de circulación actual y el de la supermanzana. Fuente: "La supermanzana, nueva célula urbana para la construcción...", pp. 1"

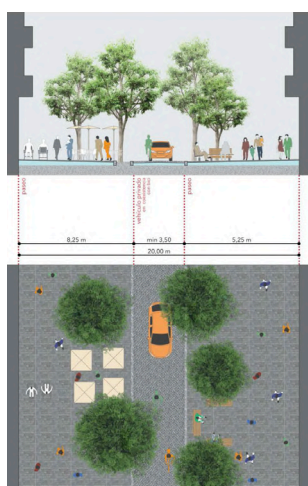
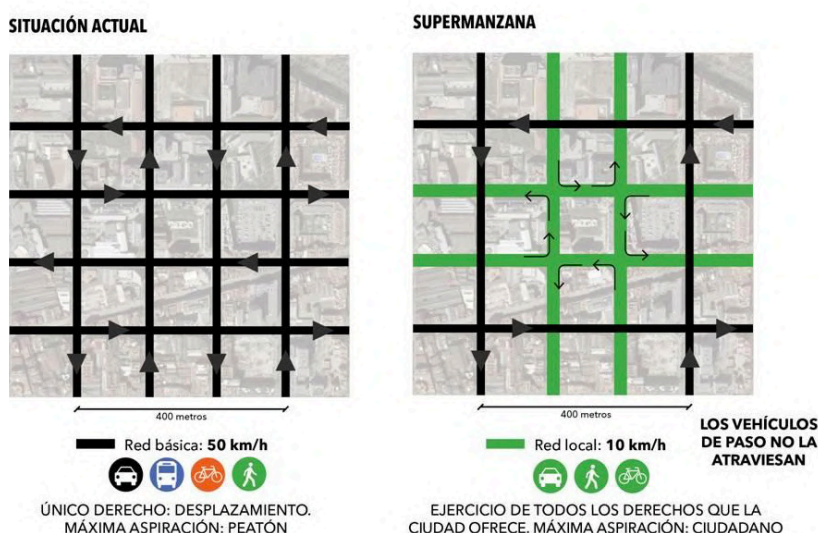


fig. 1.2.6. Planta y sección tipo de intervía dentro de la supermanzana. Fuente: BCNecología

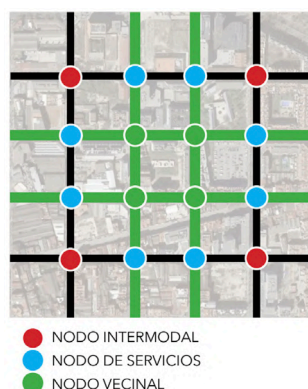


fig. 1.2.7. Nodos estructurantes de la supermanzana. Fuente: BCNecología

Ya en el interior del perímetro de la supermanzana, se reorganiza el sentido del tráfico en un esquema centrífugo, de tal forma que los vehículos que entran no pueden atravesarla y son redirigidos nuevamente al exterior (fig 1.2.5). La velocidad máxima en estas vías se reduce a 10km/h, al ser los desplazamientos a pie los que tienen máxima prioridad.

2. Nuevo modelo urbanístico. Basado en la célula urbana como entidad funcional de la ciudad, este modelo tiene como finalidad convertir la supermanzana en una unidad autosuficiente dotada de los equipamientos y servicios esenciales. Se fomenta así la economía y actividad de proximidad, factor fundamental para conseguir un modelo de ciudad más sostenible, al igual que se corrigen las desigualdades geográficas en términos de accesibilidad. Su implementación ha de extenderse a toda la ciudad generando un tejido urbano equilibrado que ofrezca a todos sus ciudadanos niveles semejantes relativos a la calidad urbana. En aquellas áreas consolidadas donde los valores ecosistémicos estén por debajo de los deseados, se plantearán modifica-

ciones para conseguir mejoras que pueden ser en términos de movilidad, servicios, ambiental, etc.

Pasaríamos de un modelo basado principalmente en el factor movilidad, a uno donde el espacio público adquiere mayor protagonismo y en el que se pueden explotar mucho más sus potencialidades al no estar condicionado por el tráfico rodado. La liberación del interior de las supermanzanas mejora los valores de compacidad urbana, lo cual se traduce en más espacio para el desarrollo tanto de actividades al aire libre como lugares de esparcimiento, más espacio peatonal y la posibilidad de aumentar el arbolado y las zonas verdes. Por consiguiente se multiplican los usos y derechos del peatón tanto residente como transeúnte, transgrediendo los límites espaciales más allá de los impuestos tradicionalmente por edificación y asfalto.

La transformación que supone este nuevo urbanismo, precisa de una implantación progresiva del modelo en la ciudad para poder evaluar periódicamente el grado de aceptación por parte de vecinos y agentes locales, para así introducir cambios equitativos que no anulen las potencialidades de ese espacio en un futuro, pero que tampoco perjudiquen negativamente los intereses de la población.

En España el modelo de supermanzana ya se ha puesto en marcha en las ciudades de Barcelona y Vitoria, y está contemplado en otras como Madrid (Medina M.A, Zafra M, 2020). Todos ellos están más bien enfocados en la reorganización de la movilidad y garantizar los derechos ciudadanos. La mejora de la habitabilidad se presenta más como un potencial a explorar desde el punto de vista de la experiencia del peatón, donde se establecen unos valores de referencia como por ejemplo el porcentaje de espacio verde y estancial por habitante o los niveles de ruido admisible, siendo todos ellos valores más bien orientativos. La habitabilidad en términos de confort térmico también se contempla en estos planes, pero en términos globales no es el prin-

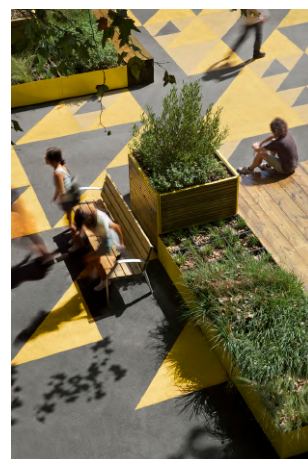


fig. 1.2.8. Introducción de verde urbano y mobiliario en la Supermanzana de Sant Antoni, Barcelona. Fuente: Del Río Bani



fig. 1.2.9. Recuperación del espacio de la calle en la Supermanzana de Sant Antoni en Barcelona. Fuente: Del Río Bani

principal objetivo a conseguir y sus planteamientos quedan relegados a fases de diseño posterior. Para explorar esta cuestión en relación a la isla de calor urbana, será necesario profundizar en ella para posteriormente poder sacar conclusiones aplicadas al modelo de supermanzana.

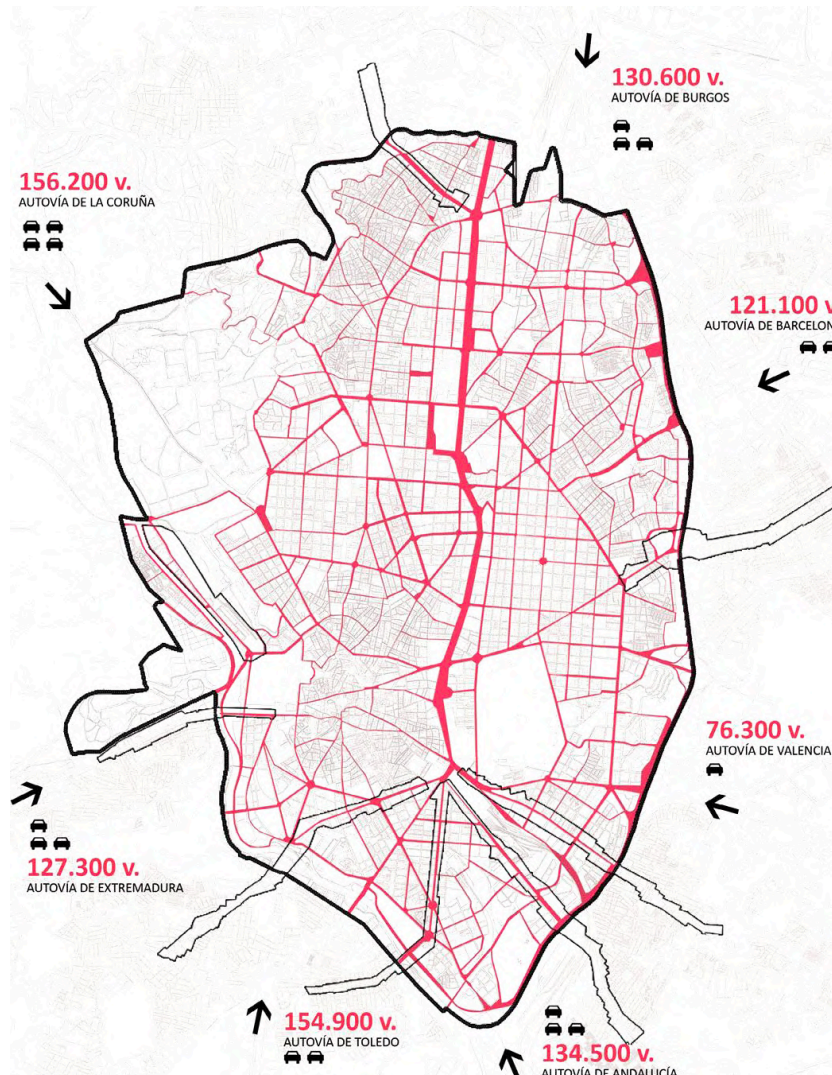


fig. 1.2.10. Distribución de supermanzanas para la ciudad de Madrid. Fuente: Proyecto Madrid Centro (PMC), Estudio Herreros (2010)

2. La isla de calor urbana

2.1. Definición y características

La isla de calor urbana o ICU (Urban Heat Island, UHI) es un fenómeno propio de las ciudades referido a la variación de temperaturas que se produce entre los núcleos urbanos densamente edificados y las zonas rurales. Esta modificación térmica de la atmósfera urbana tiene diferentes intensidades, dándose la máxima intensidad cuando existe una mayor diferencia de temperatura del aire entre dos puntos de medición distintos dentro la ciudad. Dichas intensidades se representan mediante mapas de isotermas con los que se muestra la distribución espacial de la isla de calor, la cual suele ajustarse de forma concéntrica al tejido urbano.

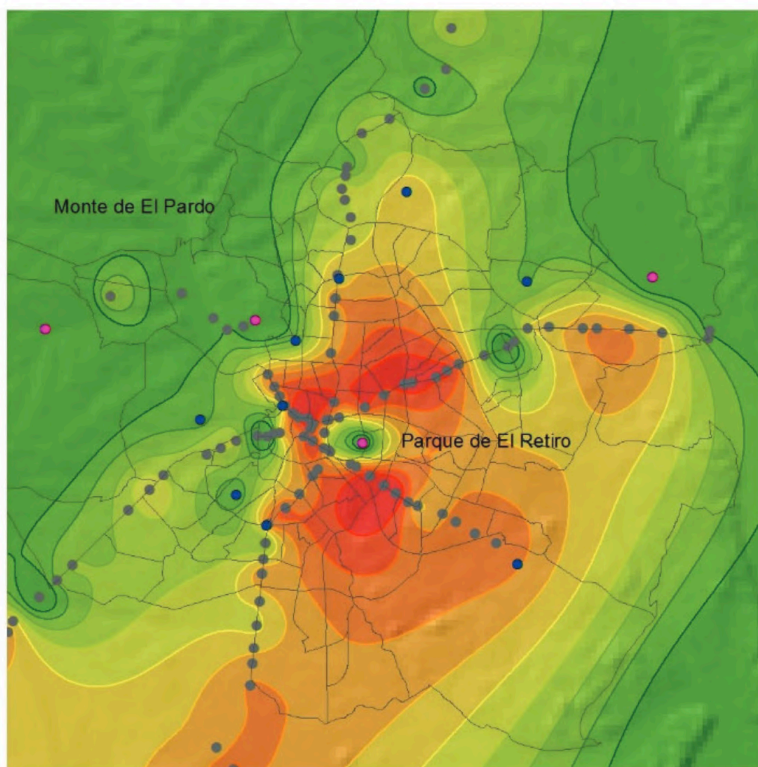
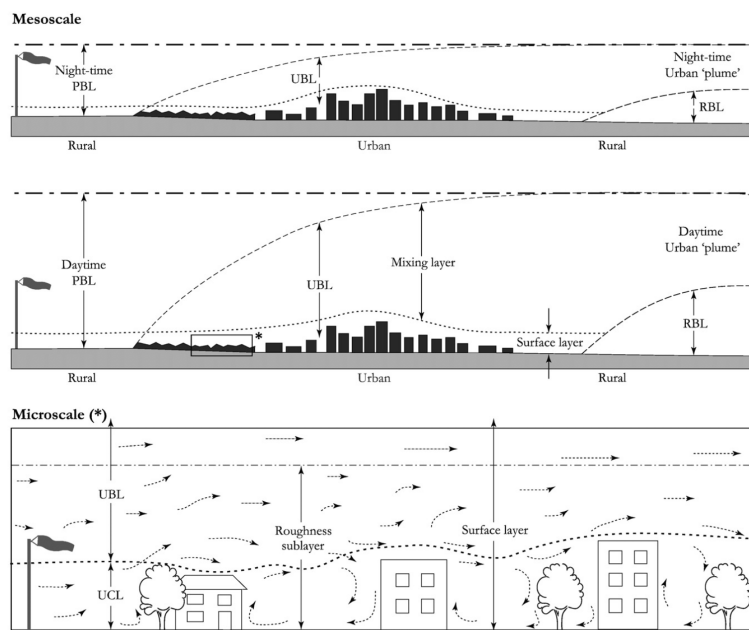


fig. 2.1.1. Mapa de isotermas nocturnas en Madrid con datos del 15 de Julio del 2015. Fuente: Proyecto MODIFICA

Para entender esta distribución espacial de la ICU es necesario considerar su configuración tridimensional, cuyos límites están definidos por los fenómenos que se producen en las dos escalas de la atmósfera urbana: la microescala y la mesoescala.

La primera de ellas está directamente influenciada por las características del tejido urbano y la actividad antropogénica característica de las ciudades. Estos fenómenos configuran la capa canopial urbana (Urban Canopy Layer, UCL) la cual se desarrolla desde el suelo hasta la altura de los edificios (Martilli A, 2010) de ahí la importancia de cómo puedan alterar las construcciones a las condiciones locales de temperatura, viento o radiación entre otras. Justo por encima y en contacto con la UCL se encuentra la capa límite urbana (Urban Boundary Layer, UBL) la cual se desarrolla desde la altura de las cubiertas hasta un nivel donde las condiciones atmosféricas se encuentran alteradas por la ciudad en superficie (Cuesta, J, 2020). La UCL y la UBL están directamente relacionadas y ambas son variables tanto por las condiciones que se dan en ellas y su interacción, como por los fenómenos meteorológicos como el viento o la precipitación.

fig. 2.1.2. Estructura de los niveles de la atmosfera urbana (UBL y UCL) y su interacción con el entorno construido. Fuente: "Utilising green and bluespace to mitigate UHI intensity"



A la hora de su estudio podemos distinguir dos tipos de isla de calor: la isla de calor atmosférica (ICUa) que representa las diferencias en la temperatura del aire entre la ciudad y el campo, y la isla de calor superficial (ICUs), que considera las diferencias térmicas entre los materiales urbanos (pavimento, aceras, tejados de los

edificios, etc.) y las superficies naturales y orgánicas.

Tanto una como otra están muy influenciadas por los usos del suelo y las diferentes tipologías urbanas, lo que determina que durante el día la temperatura superficial presente importantes oscilaciones, provocadas, tanto por los contrastes entre zonas expuestas al sol y las sombras creadas por los edificios, como por la gran variedad de materiales presentes en el escenario urbano; durante la noche ambas curvas siguen un ritmo similar con los picos más altos en las zonas de mayor densidad edificatoria (Fernández F, Allende F, Rasilla D, Martilli A, Alcaide J, 2016).

Según diversos autores (Martínez J, 2014), las causas que contribuyen a generar este fenómeno son:

1) Un mayor almacenamiento del calor durante el día en la ciudad, debido a las propiedades térmicas y caloríficas de los materiales de construcción urbanos y su devolución a la atmósfera durante la noche. Durante el día estos materiales se van calentando progresivamente, si bien de un modo más lento que el suelo de ámbitos rurales, desnudos o con vegetación, y durante la noche, se va enfriando, también muy lentamente, a diferencia de estos suelos. Este diferente enfriamiento explica la mayor intensidad nocturna del fenómeno.

2) La producción de calor antropogénico procedente de las diferentes actividades y procesos de combustión que se llevan a cabo en las áreas urbanas e industriales, como el transporte, la calefacción, etc.

3) La disminución de la evaporación, debido a la sustitución de la superficie natural por un suelo asfaltado o pavimentado, de características diferentes y a la eficacia de los sistemas de drenaje urbanos. Esto propicia una rápida escorrentía de las aguas caídas con un episodio de lluvias, mientras que por otra parte, se impide el almacenamiento de esta en la superficie.

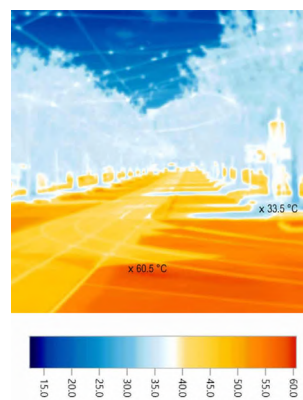


fig. 2.1.3. Imágenes térmicas tomadas en una ola de calor de enero de 2017 en Melbourne. Fuente: The Guardian



fig. 2.1.4. Alta contaminación derivado del tráfico de vehículos en Beijing. Fuente: Mundo coches

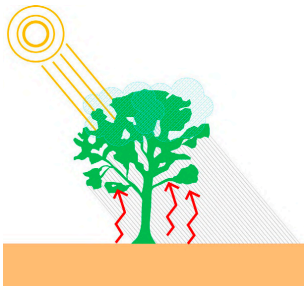


fig. 2.1.5. Efectos de la vegetación en el microclima. Fuente: Manual de Diseño Bioclimático

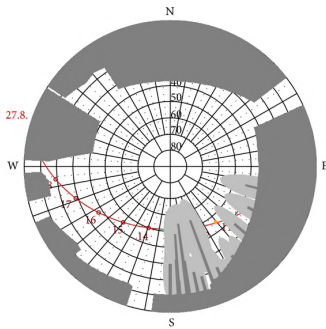


fig. 2.1.6. Factor de cielo abierto (Sky View Factor, SVF). Fuente: Hindawi

4) Una menor pérdida del calor sensible, debido a la reducción de la velocidad del viento por rozamiento de los flujos aéreos contra las diferentes formas y estructuras de la ciudad, que ofrecen una mayor resistencia a éste, actuando como parapetos.

5) Un aumento de la absorción de radiación solar, debido al efecto de captura que produce la singular geometría que presentan las calles y los edificios y que contribuye, a su vez, a un albedo relativamente bajo. La radiación solar incidente sufre múltiples reflexiones en las fachadas y en el suelo, quedando atrapada entre las calles, generando lo que se conoce como “cañón urbano” (Moreno García, 1993).

6) Reducción del factor de visión del cielo, incidiendo sobre la pérdida de calor durante la noche por irradiación, debido de nuevo a las características geométricas de calles y edificios.

7) La radiación de onda larga es emitida del suelo hacia la atmósfera y ante el obstáculo que representa la presencia de partículas contaminantes en la atmósfera urbana, es absorbida en parte de esta radiación por dicha capa, volviendo a remitir dicha capa hacia el suelo. Esto impide el paso de la radiación de onda larga hacia niveles atmosféricos superiores y su pérdida al espacio.

Como ya se ha mencionado, la isla de calor es un fenómeno que si bien se da durante todo el año, no lo hace por igual ya que esta depende de múltiples factores. Dichos factores atienden a variables temporales muy cambiantes como la meteorología, variables cíclicas de carácter más estacional como la radiación solar o las fuentes de calor antropogénico, y otras que son intrínsecas al entorno urbano como los materiales de construcción o la presencia de arbolado y zonas verdes.

2.2. Estrategias de mitigación bioclimática

Como ya hemos comprobado la realidad del clima urbano es compleja, por lo que es necesario repensar las formas de diseñar ciudad y el cómo esta se relaciona con su entorno natural. En este sentido el diseño bioclimático ofrece una perspectiva basada en las técnicas de acondicionamiento pasivo como eje vertebral para construir y rehabilitar ciudad, entre las que se definen estrategias de mitigación de la isla de calor. Estas estrategias de mitigación se centran en la mejora de las condiciones microclimáticas y podemos agruparlas en 3 bloques distintos:

1. Morfología y estructura urbana. La configuración del escenario urbano está estrechamente ligada a algunas características microclimáticas, como el viento, el soleamiento y la temperatura del aire. Las estrategias se basan en la definición de condicionantes del entorno construido que favorezcan el sombreado de los espacios exteriores, evitando la absorción de la radiación solar directa (Hernández, A., Fariña, J., Fernández, V., Gálvez, M., Urrutia, N., 2013).

Para ello hay que tener en cuenta 3 variables fundamentales: la anchura y orientación de las calles y la altura de las edificaciones. La relación entre el ancho de calle y el alto edificado (H/W) define la cantidad de radiación directa que recibe ese espacio urbano, también conocido como “cañón urbano”. Para medir esta relación se utiliza el factor de cielo abierto (Sky View Factor, SVF) el cual se define como el porcentaje de cielo que se ve desde un punto de ese espacio urbano, respecto de la semiesfera celeste. Cuanto mayor es la proporción (H/W) menor es el SVF, al igual que lo es la radiación reflejada dentro del cañón urbano. Por su parte, la orientación de los espacios será determinante para saber qué estrategias serán necesarias aplicar. Si hablamos de meses sobrecalentados, las orientaciones sur y oeste presentan más desventajas al tener mayor exposición a la radiación solar.

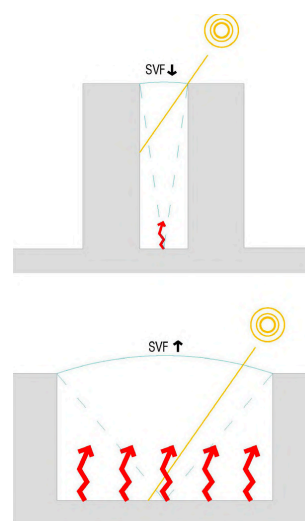


fig. 2.2.1. Ganancias de radiación directa de onda corta y pérdidas por radiación de onda larga. Fuente: Manual de Diseño Bioclimático

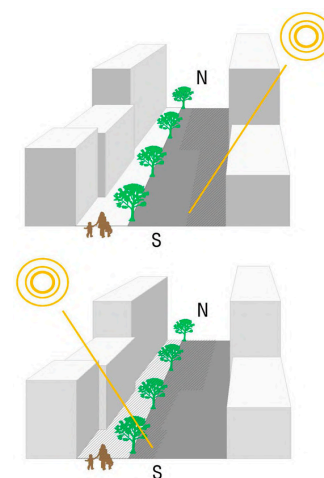


fig. 2.2.2. Captación y obstrucción solar en una calle con orientación N-S. Fuente: Manual de Diseño Bioclimático



fig. 2.2.3. Corredor verde urbano del paseo de Sant Joan en Barcelona. Fuente: Archdaily



fig. 2.2.3. Efectos de la humectación de diferentes tipos de plantas. Fuente: Manual de Diseño Bioclimático

2. Introducción de vegetación y verde urbano.

La vegetación tiene un gran efecto en las condiciones del clima urbano a todas las escalas. Obviando los beneficios psicológicos y de contacto con la naturaleza de los espacios verdes en la ciudad, estos son importantes termorreguladores gracias a su capacidad de absorción de la radiación solar sin que ello implique un incremento de temperatura. Esto es gracias a la transformación de parte de la energía absorbida en biomasa por medio de la fotosíntesis, a la que se le suma la evapotranspiración que transforma el calor sensible en latente. Otro factor importante son las sombras arrojadas del propio arbolado sobre el espacio de la calle y las fachadas. Además de todos estos condicionantes que ocurren exclusivamente durante el día, los árboles son capaces de absorber la radiación de onda larga procedente de las superficies que conforman el cañón urbano, irradiada especialmente durante la noche.

Estos beneficios se incrementan sobretodo en parques y zonas verdes al contar con más masa arbórea y suelos orgánicos. Se produce así un “efecto oasis” el cual varía en función del tamaño del área verde y factores meteorológicos como el viento. Un estudio de los jardines de Kensington de Londres (Doick, K., Hutchings, T., 2013), reveló que esta zona verde producía un enfriamiento nocturno de entre 1-4°C y su influencia se extendía en algunos casos hasta 440 metros más allá de los límites del parque durante la noche.

En contraposición, los espacios verdes menores de 0.05 km² ofrecen una contribución de enfriamiento insignificante a las zonas urbanas colindantes (Doick, K., Hutchings, T., 2013).

También es importante saber que los árboles tienen un mayor efecto en el clima urbano general en lo que a evapotranspiración se refiere, al producirse la transferencia de vapor en la parte superior de las plantas. Es por esto por lo que es imprescindible introducir arbustos y plantas herbáceas que contribuyan a una hu-

mectación que en su caso sí es perceptible a nivel de la calle.

3. Adecuación de los materiales y acabados superficiales. Las ciudades están configuradas principalmente por materiales de construcción, que tienen una influencia clara en el clima urbano. Los suelos naturales permeables se han sustituido por aceras, calzadas y edificios, creando un paisaje artificial cuya disposición y configuración espacial ha propiciado gran cantidad de intercambios energéticos de materiales de construcción muy absorbentes hacia la atmósfera urbana. Además de absorber la radiación solar de onda corta, los materiales de construcción emiten radiación de onda larga, la cual varía en función de la temperatura exterior. Ante este escenario, la utilización de materiales con alto albedo (reflectancia) o el aumento de las superficies permeables o semipermeables contribuyen a la mejora del balance de energía urbano (Santamauris, 2001).

El albedo o reflectividad es el porcentaje de radiación solar que cualquier superficie refleja respecto a la radiación que incide sobre ella. En consecuencia, el albedo de los materiales condiciona la temperatura superficial del material. En condiciones sobrecalentadas se aumentará el albedo global de las superficies en contacto directo con el peatón. En este sentido, los materiales de colores claros reflejan una mayor proporción de la radiación que reciben. Este factor es especialmente importante a nivel de las cubiertas de los edificios, mientras que el efecto de las reflexiones múltiples en el espacio de la calle es menor.

En cuanto a la absorptividad y emisividad de los materiales, estos son los otros dos factores que influyen en la temperatura del aire y por ende en el confort térmico de los usuarios. Por un lado la absorptividad es la fracción de energía radiante absorbida por una superficie respecto de la radiación total que incide sobre ella, mientras que la emisividad es el porcentaje de ra-

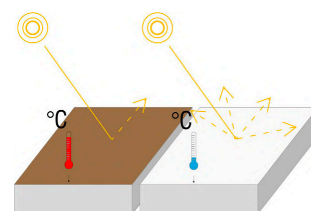


fig. 2.2.4. Albedo y temperatura superficial diferentes superficies. Fuente: Manual de Diseño Bioclimático

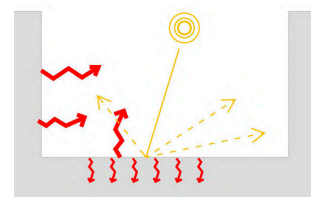


fig. 2.2.5. Intercambios radiantes en el cañón urbano

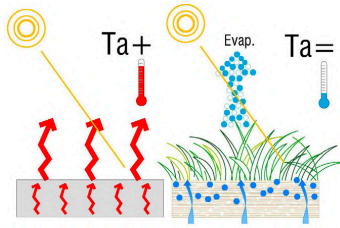


fig. 2.2.6. Comparativa entre suelo impermeable y suelo orgánico. Fuente: Manual de Diseño Bioclimático

diación térmica emitida por un cuerpo respecto de la que emitiría el cuerpo negro a la misma temperatura. A mayor reflectividad del material, menos absorbivo y emisor será. En los meses sobrecalentados, será preferible la utilización de materiales con menor inercia térmica (menor absorbividad y emisividad) y mayor albedo al ser capaces de enfriarse con una mayor rapidez. Es importante destacar que a mayor SVF mayor será el calentamiento y absorción de radiación de los materiales, pero también lo es la energía irradiada o emisividad durante la noche, por lo que el proceso de enfriamiento de las superficies se acelera.

Por último nos encontramos con la permeabilidad de los materiales. Las superficies impermeables como el asfalto o los pavimentos de las aceras no son capaces de retener el agua de lluvia y almacenar la humedad, lo que favorecería reducir la temperatura superficial gracias al enfriamiento evaporativo. Esos suelos además podrían albergar vegetación, lo que reduciría aún más su temperatura.

3. Escenario de estudio: Madrid

3.1. Incidencia geográfica de la ICU. Origen y condicionantes

Como ya hemos visto, el fenómeno de la isla de calor está fuertemente influenciado por las características del medio físico y urbano, por lo que su condición está sujeta a las alteraciones que se produzcan en ellos. A esto, se le suman las variables climáticas y estacionales, siendo estas tres en su conjunto las que principalmente determinan el grado de incidencia de la isla de calor.

Ocupación del suelo

En el caso de Madrid, la transformación urbana que tuvo lugar durante el siglo XX supuso un cambio radical en su fisonomía urbana, pasando de ser una ciudad modesta en términos demográficos y económicos a una gran ciudad al mismo nivel que otras capitales europeas. Un signo de esta transformación es la ocupación del suelo. En el período comprendido entre 1939 y 1961, la superficie urbanizada fue de 10.465 hectáreas.

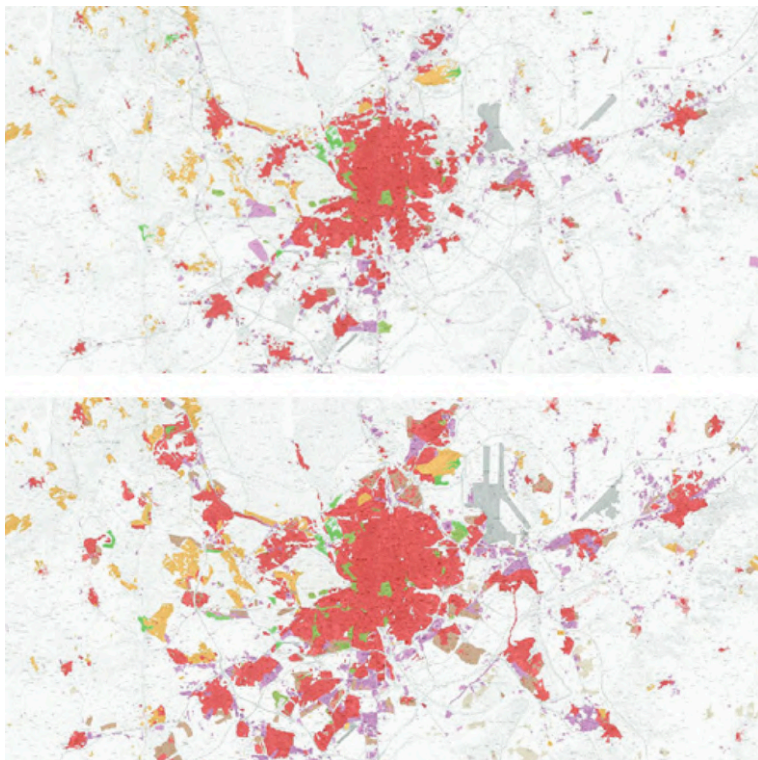


fig. 3.1.1. Ocupación del suelo en la Comunidad de Madrid. Arriba situación en 1985 y abajo situación 2005. Fuente: Proyecto MODIFICA

Esta rápida expansión se vio reflejada en un aumento exponencial de la población, que pasó de los 1.926.300 habitantes en 1950 a los 3.792.600 en 1970 (Otero, L.E., 2010). Ya más recientemente, otras 8.000 hectáreas de suelo se han urbanizado en los últimos 20 años. Muy reseñable es también la pérdida de zonas vegetales, que se ha visto reducida un 25% desde los años 80 con unas 18.000 hectáreas menos de suelos orgánicos (Núñez, M., Sánchez-Guevara, C., Neila, F.J., 2017). El aumento de suelo urbano es fácilmente visible en los mapas del visor urbanístico de la Comunidad de Madrid (fig. 3.1.1.).

Clima y estacionalidad

El otro factor fundamental para comprender la dinámica de la isla de calor urbana en Madrid es el clima. Según la clasificación Köppen, la región tiene un clima templado con veranos secos y calurosos. La temperatura media ronda los 15°C, siendo los inviernos moderadamente fríos, con temperaturas de 6°C de media en enero y donde las heladas son frecuentes. Por contra, los veranos son calurosos, con una temperatura media de 25°C en el mes de julio, mes donde se registran las temperaturas máximas anuales que superan los 32°C de media.

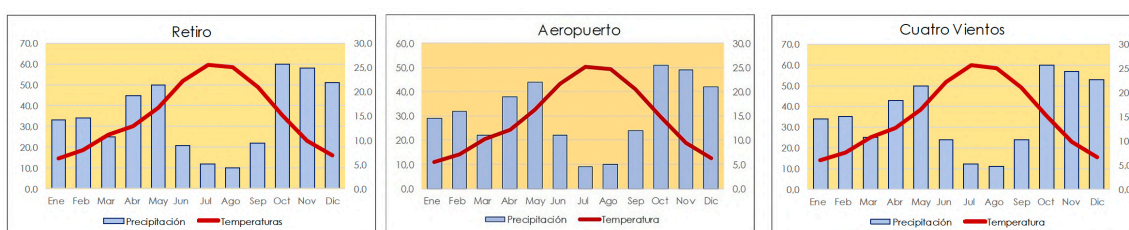


fig. 3.1.2. Climograma estaciones de Madrid con datos de la AEMET. Fuente: Plan A de Calidad del aire Ayto. de Madrid

Respecto al soleamiento, en los meses de junio, julio y agosto se superan las 300 horas mensuales, al corresponderse a los meses con más horas de luz y estabilidad atmosférica. Es por esto, por lo que en el período comprendido entre los meses de octubre y marzo se dan los valores mínimos en cuanto a intensidad de isla de calor, mientras que con la llegada de la primavera comienzan a detectarse los primeros focos considerables de ICU, que aumentan progresivamente hasta

llegar a los máximos de intensidad en el mes de Julio.

Este comportamiento de la isla de calor puede verse alterada debido a los efectos del Cambio Climático que serán especialmente sensibles en los países del entorno del Mediterráneo (Fernández F, Allende F, Rasilla D, Martilli A, Alcaide J, 2016). Las previsiones apuntan a que aumentarán tanto los días considerados como “cálidos”, como la intensidad y duración de los episodios de olas de calor, acompañados de una disminución de los valores de precipitación media anual. En el peor de los escenarios previstos por la AEMET, las temperaturas máximas anuales podrían aumentar hasta 6°C con respecto al período 1961-2000 (fig. 3.1.4.).

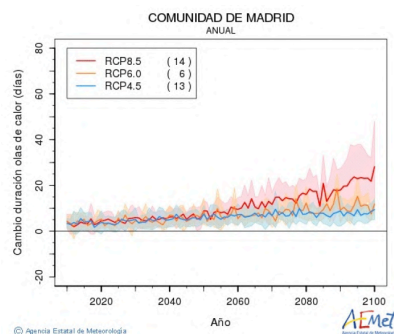
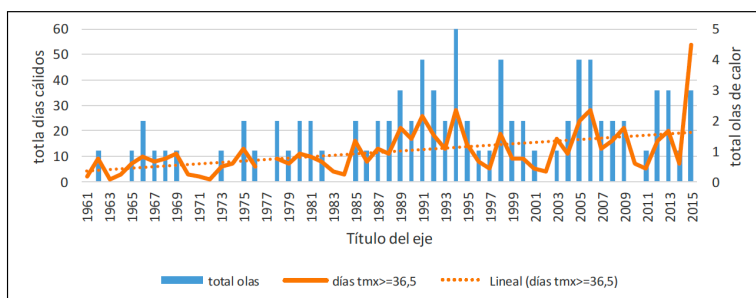


fig. 3.1.3. Tendencia futura de la duración de las olas de calor con 3 escenarios previstos. Fuente: Estudio de detalle del clima urbano de Madrid

fig. 3.1.4. Total de días cálidos, olas de calor y líneas de tendencia en el Aeropuerto de Baraja desde 1961 a 2015. Fuente: Estudio de detalle del clima urbano de Madrid

Desde el punto de vista del urbanismo bioclimático, estaríamos hablando de más días al año en los que el estrés térmico se prolongaría durante las 24 horas, con noches cálidas más frecuentes que imposibilitarían la regulación térmica que normalmente ocurre durante la noche y las primeras horas del día gracias al descenso de las temperaturas y el aumento de la humedad relativa.

Incidencia geográfica de la ICU

En este escenario, la ciudad de Madrid es un área vulnerable en el que ya se ha comprobado ese potencial incremento de la intensidad del fenómeno de la isla de calor urbana. Esto ha sido gracias a los mapas de isoterms recientemente elaborados por varios investigadores de la Universidad Politécnica de Madrid dentro del proyecto MODIFICA, entre los que se encuentra la tutora del presente trabajo Carmen Sanchez-Guevara Sanchez.

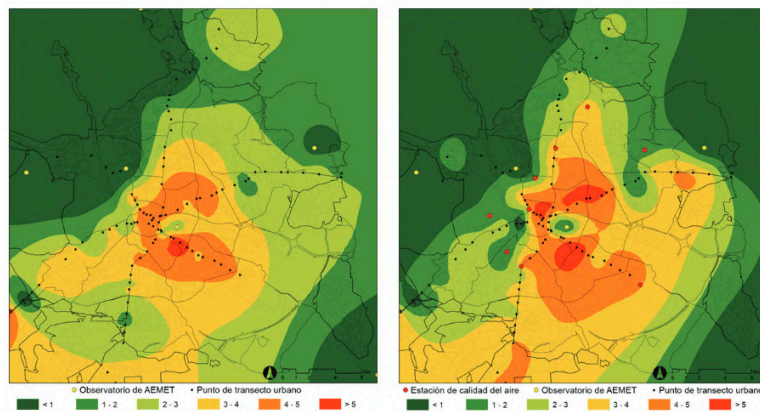


fig. 3.1.5. Puntos de medición empleados en la generación de mapas de isotermas. Fuente: Actualización de la isla de calor urbana de Madrid y su influencia en la simulación energética de edificios

Este proyecto partió de los mapas realizados por López Gomez en el año 1991, que al igual que en el proyecto MODIFICA fueron elaborados mediante transectos urbanos (fig. 3.1.5.) y con los datos de las estaciones meteorológicas, con los que se midieron los cambios de temperatura en la ciudad. En ambos estudios, se comprobó que la distribución tenía unas características similares: una distribución más o menos concéntrica en la que las temperaturas disminuyen conforme nos alejamos del centro urbano, unas temperaturas más altas concentradas en el eje NE-SO y la presencia de “islas de frescor” en zonas con masas arbóreas y vegetales destacables, como es el caso del Parque del Retiro o Ciudad Universitaria.

Una de las conclusiones del proyecto fue que la presencia de focos calientes no era tanto por las características urbanas concretas de la zona en la que se daban, sino que existía una interdependencia espacial entre las distintos focos de calor, por lo que se establece un nexo entre las alteraciones urbanas en una zona y el aumento de temperaturas en otra.

fig. 3.1.6. Mapas de isotermas de verano (medianoche). A la derecha situación del día 11/07/1985 y a la izquierda situación del día 15/07/2015. Fuente: Proyecto MODIFICA



Otra de las características de la ICU es su variabilidad horaria, donde las temperaturas máximas y mínimas evolucionan de forma desigual. Durante el día su intensidad es menor debido a la absorción de la radiación solar del entorno construido, provocando una “isla de frescor” en la ciudad durante las horas centrales del día. Ya al anochecer, la radiación acumulada se disipa lentamente durante la noche, creando así una isla de

calor nocturna. Esto explica porqué las zonas rurales presentan temperaturas máximas más elevadas durante el día y mínimas nocturnas inferiores respecto a la de las zonas urbanas. Esta dinámica dispar fue estudiada en el proyecto MODIFICA, que con la colocación de hasta 20 medidores de temperatura y humedad en diferentes localizaciones de la ciudad, se comprobó cómo el descenso de temperaturas es mucho menos acusado en las estaciones del centro (Embajadores, Retiro) que en las más periféricas (fig. 3.1.7).

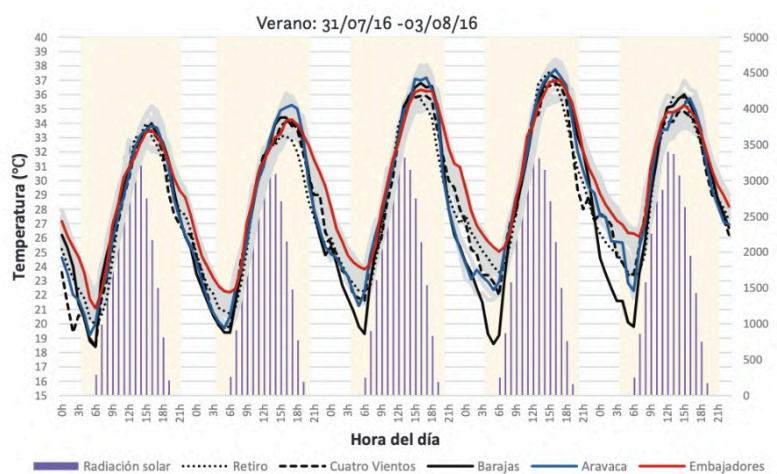


fig. 3.1.7. Evolución horaria de los datos de la red climática de Madrid y los observatorios de la AEMET en verano. Fuente: Proyecto MODIFICA

En verano las diferencias de temperatura entre la capital y las zonas no urbanas son más acusadas, mientras que en invierno el gradiente de temperaturas entre ambas es menor (fig. 3.1.8)

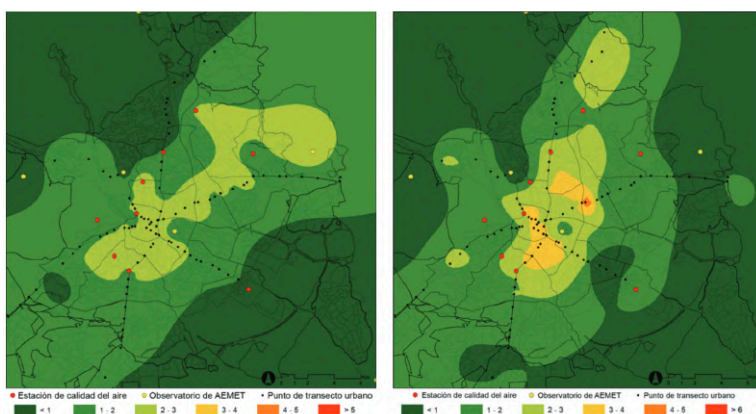


fig. 3.1.8. Mapas de isotermas de verano (medianoche). A la derecha situación del día 11/07/1985 y a la izquierda situación del día 15/07/2015. Fuente: Proyecto MODIFICA

Existen algunas excepciones ya comentadas anteriormente como lo son el entorno de la Casa de Campo y el parque del Retiro, a las que también se suma la vaguada del río Manzanares. Estas zonas aun siendo céntricas, registran temperaturas inferiores gracias a la

presencia de agua y vegetación, y contrastan mucho con el casco histórico y los distritos del Ensanche, donde el mayor cañón urbano y la alta concentración de actividades y tráfico dificultan la disipación del calor.

3.2 Selección de la supermanzana

La isla de calor y sus efectos sobre la población son una evidencia de los retos a los que se han de enfrentar las ciudades en los próximos años. Habiendo múltiples enfoques relativos a la sostenibilidad y la resiliencia urbana, mi interés por el modelo de supermanzana está motivado por ser un modelo que es flexible, adaptativo y cuya implementación puede hacerse de forma gradual y progresiva, sin modificar los tejidos urbanos existentes, y que deja cabida a la participación de todos los agentes involucrados. Así mismo, sus particularidades abren un amplio abanico de posibilidades desde el punto de vista social, cultural y sobretodo medioambiental. Es precisamente este último en el cual se centrará el diagnóstico y propuesta de intervención y mejora expuesto a continuación, y el cual está enfocado principalmente en la rehabilitación bioclimática urbana.

Criterios para la selección

Para alcanzar los objetivos propuestos, nos centraremos en el análisis y diagnóstico de una célula de supermanzana. La supermanzana escogida se encuentra en el barrio de Berruguete, que es uno de los seis barrios que conforman el distrito de Tetuán.

Para su selección se han establecido cinco criterios los cuales se exponen a continuación:

1. Proyecto Madrid Centro (2010). Como marco de referencia urbanístico, se ha tomado la organización en supermanzanas planteado en el proyecto.

2. Mapas de incidencia por barrios de la isla de calor urbana de Madrid. Proyecto MODIFICA (2015) y

Estudio de Detalle del Clima Urbano de Madrid (2016). Para hacer la selección, nos hemos centrado en las zonas más vulnerables y con mayor incidencia de la isla de calor urbana. Como ya sabemos, dicha incidencia es mucho más perjudicial durante el período estival, por lo que solamente se han estudiado las situaciones de ICU más desfavorables en los meses de verano.

En la figura (fig. 3.2.1.) se muestra la distribución espacial de isla de calor fisiológica (PET) típica de verano. Desde la perspectiva bioclimática, se define la temperatura fisiológica como “la temperatura del aire a la que, en un entorno interior típico, el balance energético del cuerpo humano se equivale a la misma temperatura corporal en las complejas condiciones exteriores que se van a evaluar” (Höppe, 1999). Es una forma más eficaz de medir la sensación térmica percibida por nuestro cuerpo, al tener en cuenta otras variables como la temperatura del aire, el viento, la humedad y la temperatura radiante media de los materiales presentes en el entorno urbano.

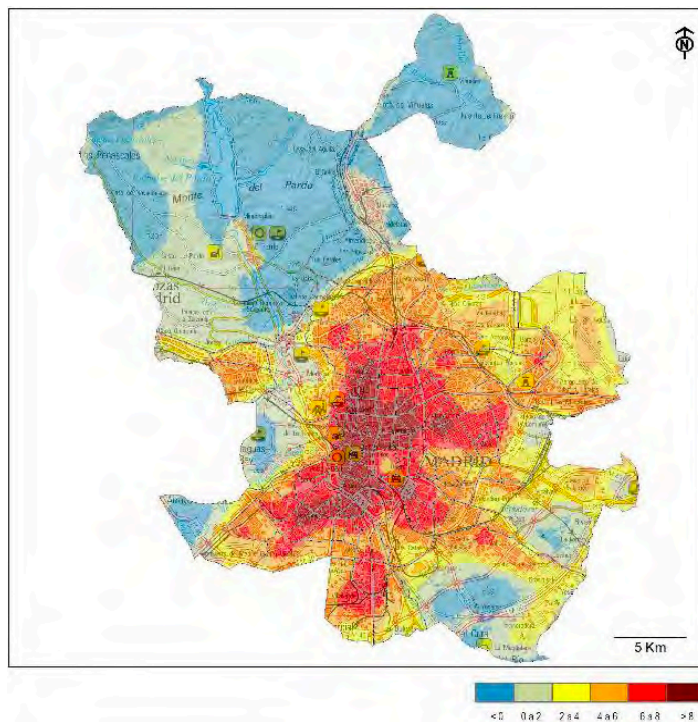


fig. 3.2.1. Distribución de la isla de calor fisiológica (PET). Fuente: Estudio de detalle del clima de Madrid

En el caso de Madrid, si tomamos la temperatura media de julio (25,6°C, fuente datos: Estación Retiro AEMET) y un arropamiento de 0,5 clo típicos para condiciones

de verano, aplicando la lógica del climograma de Olgay obtenemos que el rango de temperaturas que conforma el área de bienestar climático se encuentra entre los 25,82°C y los 31,38°C, estando por defecto el rango de humedad entre el 20% y el 80% como valores recomendados (fig. 3.2.2).

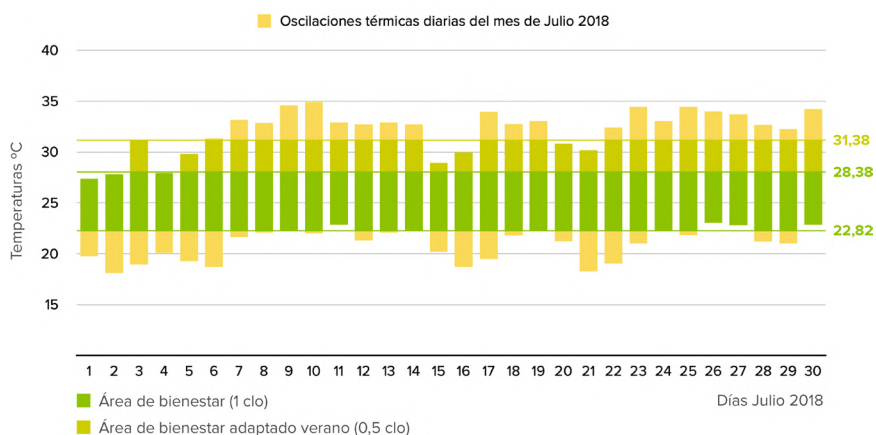


fig. 3.2.2. Gráfico de oscilaciones térmicas durante el mes de Julio de 2018 y área de bienestar a 0,5 y 1 clo. Fuente: elaboración propia

En el mapa podemos apreciar cómo los distritos que conforman la conocida como “almendra central” registran las intensidades de isla de calor más elevadas, como es el caso del distrito Centro, Salamanca, Retiro y Arganzuela, además de otras zonas pertenecientes a los distritos de Chamberí, Chamartín y Tetuán. Más concretamente en el barrio de Berruguete, la intensidad sentida en cuanto a isla de calor es variable, siendo más elevada donde se localiza la supermanzana escogida (fig 3.2.3).

19. BERRUGUETE

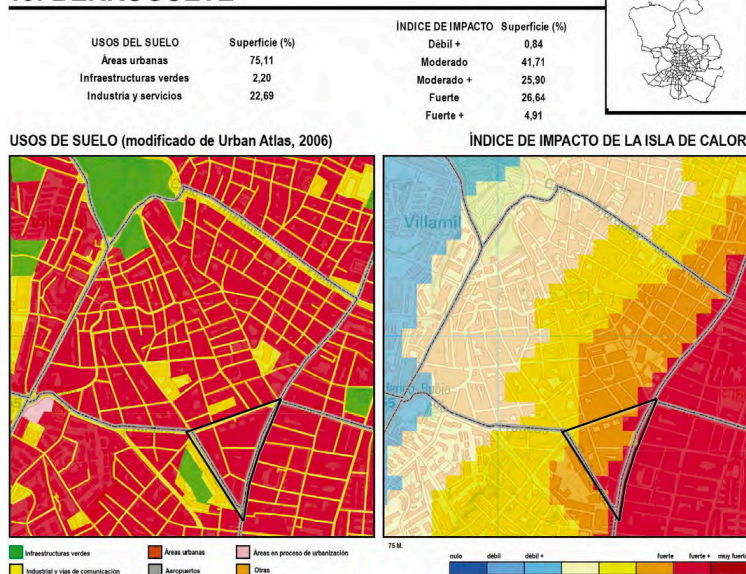


fig. 3.2.3. Mapas de usos del suelo e índice de impacto de la isla de calor para el barrio de Berruguete. Fuente: Estudio de detalle del clima urbano de Madrid

Este factor unido al elevado porcentaje de población extranjera, un nivel socioeconómico de las familias medio-bajo y un alto porcentaje de población envejecida, hacen que el perfil de residente de este barrio sea más vulnerable a los efectos de la ICU.

3. Red Climática del proyecto MODIFICA. Se ha procurado seleccionar una célula de supermanzana próxima a una de las 20 estaciones de medición instaladas (fig. 3.2.4), cuyos registros horarios de temperatura y humedad utilizaremos posteriormente en la simulación, con el fin de obtener unos resultados lo más precisos posible. La estación nº9 “Cuatro Caminos” es en este caso la más próxima a la supermanzana escogida, situándose apenas a 100 metros de distancia.

4. ENVI-MET Lite. Con el fin de comprobar la eficacia de la intervención de rehabilitación bioclimática de la supermanzana, se utilizará el programa de simulación ambiental ENVI-MET en su versión de prueba. Dadas sus limitaciones relativas a las dimensiones del modelo, la célula de supermanzana a escoger ha de ser inferior a 16 hectáreas y los anchos de calle serán en todo caso múltiplos de 8 metros aproximadamente.

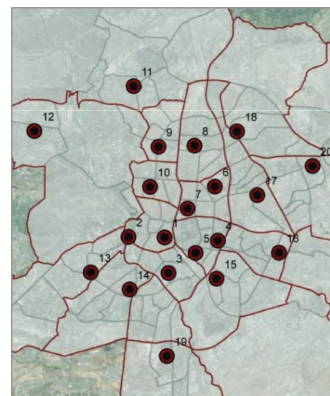


fig. 3.2.4. Localización de las 20 estaciones de la red climática instalada. Fuente: Proyecto MODIFICA

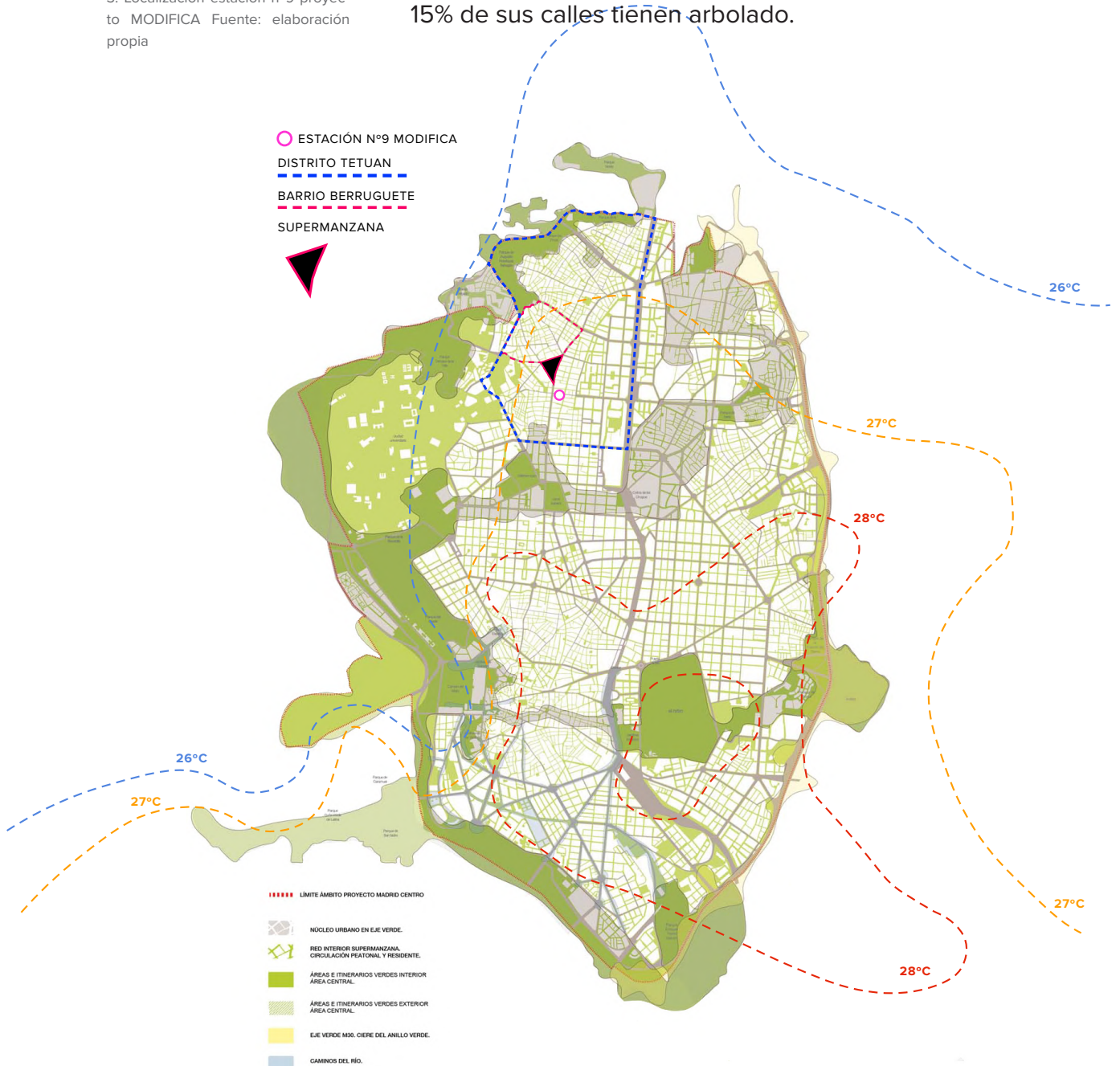


fig. 3.2.5. Vista satelital y subdivisión de la supermanzana escogida. Fuente: elaboración propia

El porqué de esta cuestión y otras relativas a la simulación se detallarán más adelante en el punto cuatro del trabajo.

5. Arbolado viario y zonas verdes por habitante. Según las bases de datos del Ayuntamiento de Madrid, el barrio de Berrugete cuenta con tan solo 4.924 m² de zona verde para sus 25.803 habitantes (0,19 m²/hab). En relación al arbolado viario, Tetuán cuenta con 0,1 árboles de viario por habitante, por lo que habría que triplicar ese número para llegar a los índices recomendados. Además en el barrio de Berrugete solo el 15% de sus calles tienen arbolado.

fig. 3.2.6. Resumen de los criterios de selección: 1. Plano distribución supermanzanas, 2. Isotermas significativas 3. Localización estación n°9 proyecto MODIFICA Fuente: elaboración propia



3.3. Análisis y diagnóstico de la supermanzana

Una vez seleccionado el ámbito de estudio, hemos de determinar las actuaciones que sean necesarias para acometer una rehabilitación bioclimática y de mejora de la habitabilidad urbana. Para ello nos valdremos de los principios del urbanismo ecosistémico, que serán nuestro instrumento para la medición de los índices de calidad urbana, prestando especial atención a aquellos que se encuentren por debajo de los mínimos deseables. Una vez hecho este análisis, realizaremos un diagnóstico para detectar las carencias de la supermanzana desde el punto de vista bioclimático. Finalmente se presenta una propuesta de intervención, centrada en la mejora de los índices ecosistémicos deficientes y mejora del confort térmico para la que se tomarán como referencia las recomendaciones que se recogen en el Manual de Diseño Bioclimático, (Hernández, A., Fariña, J., Fernández, V., Gálvez, M., Urrutia, N., 2013).

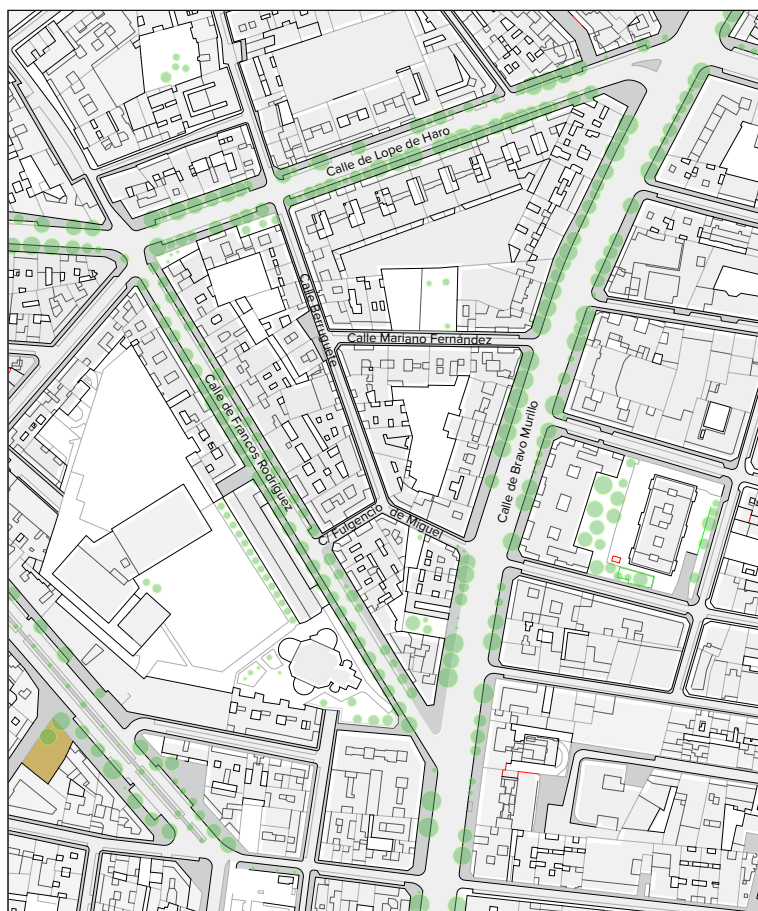


fig. 3.3.1. Plano de la supermanzana y viario. Fuente: elaboración propia



Parámetros de morfología y estructura urbana

La supermanzana escogida se encuentra en el sur del barrio y está formada por cuatro manzanas edificadas, las cuales se agrupan en forma de polígono de tres lados. Dicho polígono define los límites físicos de la supermanzana, los cuales se corresponden a tres arterias principales de comunicación de la ciudad. Estas son:



fig. 3.3.2. Calle de Bravo Murillo.
Fuente: Wikimedia Commons

- Calle de Bravo Murillo. Esta delimita el lado derecho de la supermanzana y está orientada al eje N-S. Es la calle más amplia de todas, con unos 28-30 metros de ancho y con edificaciones a ambos lados. Los anchos de acera rondan los 5 metros y medio, siendo el ancho restante de la calle asfalto. Las alturas edificadas son variables pero en general rondan los 20-22 metros; ($H/W \approx 0,8$). Destacar que dando a esta calle, en el extremo sur derecho de la supermanzana, existe un solar de 242 m² sin edificar.

- Calle de Lope de Haro. Con una orientación NE-SO, esta delimita el lado superior de la supermanzana. Todo su tramo tiene un ancho de unos 20 metros con edificaciones entorno a los 18-20 metros de alto y unos anchos de acera de 3,80 metros; ($H/W \approx 1$). Existen además dos solares vacíos de 145 y 138 m² respectivamente en el extremo noroeste de la supermanzana y que dan a esta calle.

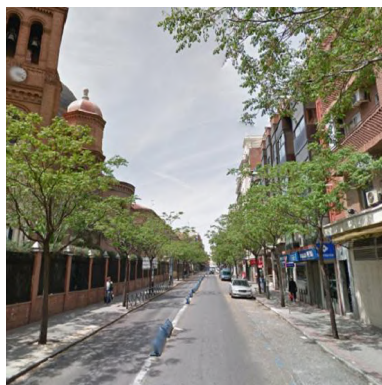


fig. 3.3.3. Calle de Francos Rodríguez.
Fuente: Gacetín Madrid

- Calle de Francos Rodríguez. Delimitando el lado izquierdo, la calle está orientada según el eje NO-SE y cuenta con un ancho de calle en torno a los 16 metros y cuyas aceras son de 3 metros de ancho. Las edificaciones cuyas fachadas están orientadas a SO cuentan con alturas comprendidas entre los 15 y los 24 metros, mientras que las del lado opuesto cuentan con alturas inferiores comprendidas entre los 9 y 20 metros.

Ya en el interior de la supermanzana, nos encontramos con otras 3 calles:

- Calle Fulgencio de Miguel. Está dividida por 2 tramos. El primer tramo está orientado según el eje SO-NE, tiene algo más de 7 metros de ancho, 45 de largo y cuenta con edificaciones de 15 a 18 metros de altura a los lados; ($H/W \approx 0,45$). El segundo tramo de 50 metros de largo, sigue la orientación SE-NO y tiene el mismo ancho de calle que el primero. Las fachadas que dan a este tramo están comprendidas entre los 15 y los 21 metros de altura y existe un solar vacío sin edificar de unos 162 metros cuadrados. En ambos tramos las aceras tienen un metro de ancho y los 5 metros restantes son superficie asfaltada para el paso y estacionamiento de vehículos.

- Calle Berruguete. Con 170 metros de largo y 7 de ancho, sigue la orientación NO-SE y cuenta con aceras de un metro de ancho a ambos lados. Las fachadas tienen alturas comprendidas entre los 12 y 18 metros; ($H/W \approx 0,5$). Destaca el retranqueo de unos 3-4 metros de 2 edificaciones a mitad de la calle.

- Calle Mariano Fernández. Orientada según el eje E-O, tiene 110 metros de largo y 8 metros de ancho. Las fachadas que dan a esta calle tienen en su mayoría una altura de unos 12 metros, a excepción de las dos edificaciones al final de la misma, de unos 20 metros aproximadamente. Se sigue la misma lógica de acera y asfalto que en las otras dos calles y destacan los dos solares sin edificar en la parte central y que suponen más de 1.200 m² de superficie libre.

De las cuatro manzanas, solo 2 cuentan con patios de manzana accesibles y solo uno de ellos está sin construir. Los fondos edificados varían entre los 15 a 25 metros. Si trasladamos estos datos a los parámetros ecosistémicos relativos a la morfología y estructura urbana, obtenemos que:

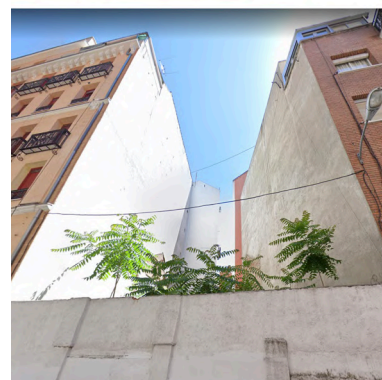


fig. 3.3.4. Solares vacíos en el interior de la supermanzana. Fuente: Google Maps (street view)

I) *Compacidad absoluta.*

Objetivo mínimo (5 metros)

$Ca = \text{Volumen total edificado (m}^3) / \text{Superficie urbana total (m}^2)$

Las 4 manzanas construidas suponen un total de 396.833 m³, volumen el cual se ha hallado consultando las superficies construidas sobre rasante disponibles en la sede del Catastro, y por otro lado se han considerado 3 metros como la altura de planta por defecto. Si dividimos este volumen por la superficie urbana, unos 45.642,64 m², obtenemos un valor de 8,69 metros de compacidad urbana (cumple).

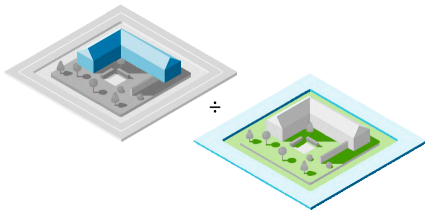


fig. 3.3.5. Diagrama compacidad absoluta. Fuente: elaboración propia

II) *Compacidad corregida.*

Objetivo (10-20 m)

$Cc = \text{Volumen total edificado (m}^3) / \text{Espacio verde y estancial accesible (m}^2)$

Partiendo del mismo volumen construido, este lo dividimos por la superficie de acera y los patios de manzana accesibles que suman un total de 5.623,74 m². Obtenemos una compacidad corregida de 70,56 metros (cumple).

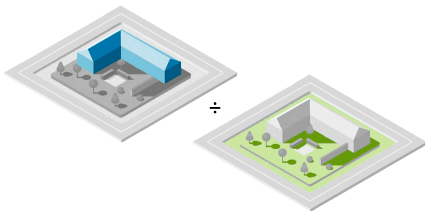


fig. 3.3.6. Diagrama compacidad corregida. Fuente: elaboración propia

III) *Edificabilidad bruta.*

Objetivo mínimo (> 1,5 m²c/m²s)

$\text{Edif. Bruta} = \text{Superficie total edificada (m}^2) / \text{Superficie urbana (m}^2)$

La superficie total edificada son unos 132.278 m²c, que dividida entre los 45.642,64 m²s total de la supermanzana, obtenemos una edificabilidad de 2,90 m²c/m²s (cumple).

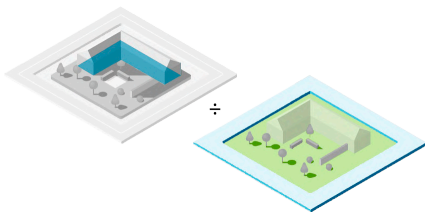


fig. 3.3.7. Diagrama edificabilidad bruta. Fuente: elaboración propia

IV) *Espacio construido por habitante.*

Objetivo (50-60 m²c/hab)

$Ec = \text{Superficie total edificada (m}^2) / \text{Número de habitantes}$

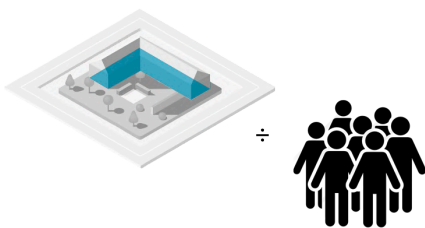


fig. 3.3.8. Diagrama espacio construido por habitante. Fuente: elaboración propia

Contando con unos 2.729 habitantes censados en Octubre de 2020, obtendríamos unos 48,47 m²c/hab (no cumple)

V) *Espacio uso público estancial por habitante.*

Objetivo mínimo (10 m²s/hab)

$E_e = \text{Espacio público estancia (m}^2\text{)} / \text{Número de habitantes}$

Si volvemos a esos 5.623,74 m² de espacio público estancial, obtenemos unos 2,06 m²s/hab (no cumple).

Parámetros de movilidad sostenible

Para este análisis se ha considerado relevante la proporción de espacio peatonal y estancial respecto a la superficie asfaltada. En el caso de esta supermanzana, no existe ningún tipo de espacio público y de encuentro vecinal, quedando este reducido a las propias aceras.

VI) *Espacio viario peatonal y usos compartidos.*

Objetivo mínimo (> 60%)

$E_p = (\text{Superficie viaria peatonal y convivencia} / \text{Superficie viaria total}) \times 100$

La superficie viaria peatonal y de estancia se corresponde a la superficie total de acera, unos 5.029,43 m²s. Si la dividimos entre la superficie viaria total (acera + calzada), obtenemos que tan solo el 36,46% de la superficie de la calle está destinada a peatones y viandantes (no cumple)

Espacios verdes y biodiversidad

El arbolado se concentra en el perímetro de la supermanzana, tratándose de arbolado viario situado en alcorques. Estos cuentan con una altura media y un diámetro de copa de entre los 4 a 10 metros, siendo todos ellos de hoja caduca, distinguiendo principalmen-

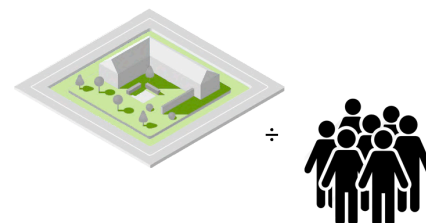


fig. 3.3.9. Diagrama espacio público por habitante. Fuente: elaboración propia

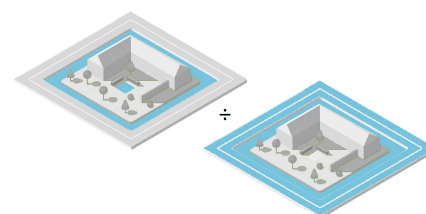


fig. 3.3.10. Diagrama espacio viario peatonal y de usos compartidos. Fuente: elaboración propia

te dos especies: *Melia azedarach* y *Platanus x hybrida*.

En el interior de la supermanzana solo existen suelos orgánicos y permeables, los cuales se corresponden a los solares vacíos y patios de manzana mencionados anteriormente.

En relación a los parámetros ecosistémicos de biodiversidad y espacios verdes, obtenemos:

VII) Zona verde por habitante.

Objetivo mínimo ($> 5 \text{ m}^2$ verde urbano/hab)

$D_{\text{verde}} = \text{Superficie total espacios verdes} / \text{Número de habitantes}$

Al no contar con ninguna zona verde, se incumple el objetivo mínimo propuesto. Teniendo en cuenta los 2.729 habitantes y el mínimo de 5 m^2 de verde urbano/hab, estaríamos hablando de 13.645 m^2 de verde urbano deseables.

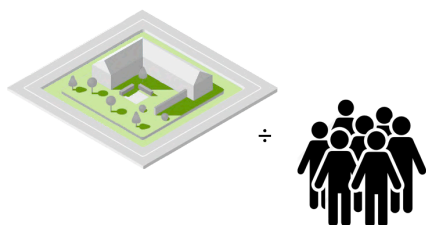


fig. 3.3.11. Diagrama de zona verde por habitante. Fuente: elaboración propia

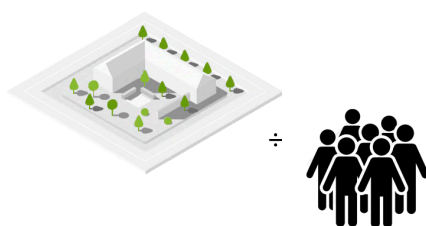


fig. 3.3.12. Diagrama de arbolado por habitante. Fuente: elaboración propia

VIII) Arbolado viario por habitante.

Objetivo mínimo (1 arb/3 hab)

$D_{\text{arb}} = \text{Número de arbolado viario} / \text{Número de habitantes}$

Hay un total de 95 árboles de tipo viario y 13 no viario localizado en los solares vacíos o patios de manzana, con los que obtenemos 0,12 árboles por cada 3 habitantes. Por tanto, para alcanzar los niveles deseados, habría que multiplicar por 8 el número de árboles actual.

IX) Índice biótico del suelo.

Objetivo mínimo ($> 15\%$)

Este índice establece la relación entre los suelos naturales ($f_i = 1$) en los que se puede desarrollar tanto fauna como flora, y suelos impermeables ($f_i = 0$) que son aquellos que no pueden realizar funciones ecológicas, como pueden ser las superficies asfaltadas.

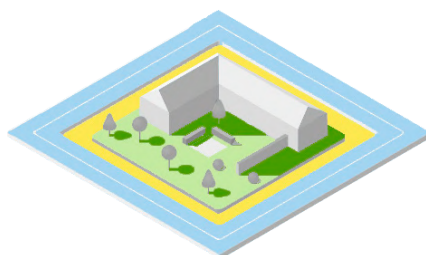


fig. 3.3.13. Diagrama índice biótico del suelo. Fuente: elaboración propia

El factor de permeabilidad (f_i) varía de 0 para suelos impermeables, a 1 para los permeables. Además, en la clasificación se han de añadir los suelos semipermeables ($f_i=0.5$), que tan solo permiten el traspaso de aire y agua.

$IBS = \Sigma (f_i \text{ permeabilidad}) \times \text{superficie de cada suelo} / \text{superficie total}$

En este sentido, nos encontramos con que tan solo el 4,59% de la superficie total son suelos permeables, seguidos de un 2,12% de superficies semipermeables. El resto de la superficie es permeable, siendo la edificada la predominante con un 60,03% del total. Las aceras suponen el 11,02% del total, mientras que la superficie asfaltada ocupa el 19,20%. Obtenemos así un IBS del 5,65%, muy por debajo del 15% mínimo deseable.

Además de la permeabilidad del suelo, se han analizado los acabados de fachada tanto de las edificaciones de la supermanzana como del ámbito más próximo a esta. Hay principalmente cuatro tipos de fachada, las cuales se han subdividido en función del color. Si las ordenamos de mayor a menor presencia, nos encontramos con:

1. Ladrillo cara vista cerámico
 - a. Rojo liso
 - b. Marrón
2. Enlucido y revocado
 - a. Blanco
 - b. Ocre
3. Aplacado de gres
4. Vidrio tintato

Toda esta información se recoge en las fichas expuestas a continuación, donde se resume de forma gráfica las condiciones actuales de la supermanzana.



Estado actual supermanzana. Análisis y medición de índices ecosistémicos



Análisis. Morfología y estructura urbana

Área total de la Supermanzana	45 642,64 m ² (4,56 ha)	100%
Área ocupada total	29 327,65 (2,93 ha)	64,25%
Área no ocupada total	16 314,90 m ²	35,75%
Acera	5 029,43 m ²	11,02%
Calzada	8 763,62 m ²	19,20%
Patios de manzana y parcelas vacías	2 522,02 m ²	5,53%

Análisis. Movilidad Sostenible

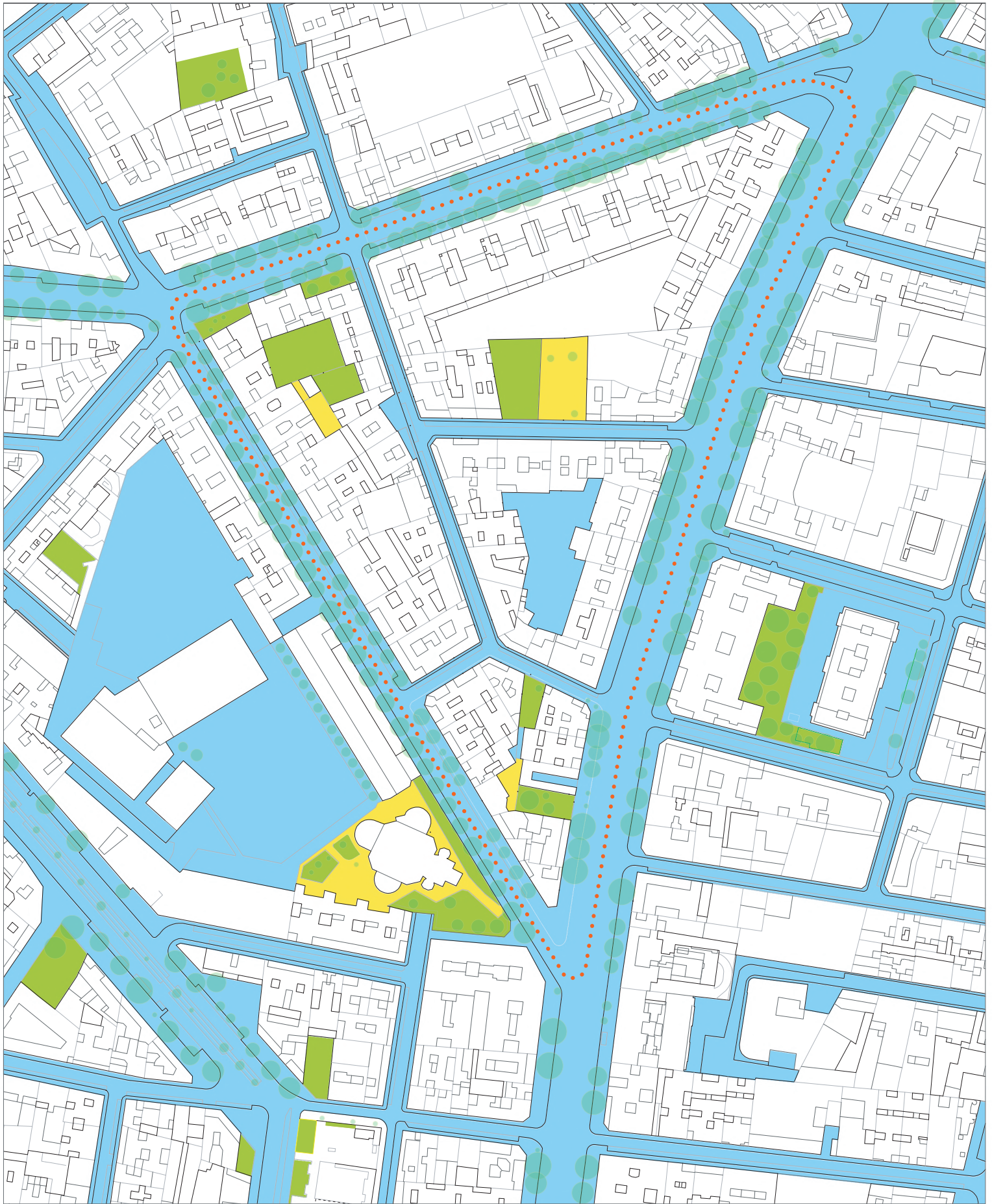
Espacio peatonal y usos compartidos	36,46% (> 60%)	
Espacio viario motorizado	53,54% (< 40%)	

Volumen construido total (m ³)	396 833 m ³	
Índice de edif. bruta (m ² c/m ² s)	2,90 m ² c/m ² s (> 1,5 m ² c/m ² s)	
Compacidad absoluta	8,69 m (>5m)	
Compacidad corregida	70,56 m (10 - 20m)	
Espacio construido/habitante	48,47 m ² c/hab (50 - 60m ² c/hab)	
Espacio uso público/habitante	2,06 m ² s/hab (10 - 20m ² s/hab)	

Espacios verdes y biodiversidad

nº de árboles/habitante	0,04 arb/hab	108 árboles
Índice biótico del suelo	5,65 %	

Cumple índice ecosistémico mínimo	■
No cumple índice ecosistémico mínimo	■
Arbolado	● Arbolado ●●● Límites de la supermanzana
Acabados superficiales	■ Asfalto ■ Acera ■ Suelo orgánico
Acabados de fachada	■ Ladrillo cerámico rojo ■ Ladrillo cerámico marrón
	■ Fachada revoco y acabado pintura
	■ Fachada de vidrio oscuro
	■ Fachada aplacado gres



Estado actual supermanzana. Análisis y medición del índice biótico del suelo

Tablas de permeabilidad del suelo

Rango	Superficie (m ²)	Porcentaje (%)	Permeabilidad (fi)	Símbolo
Permeable	2 095,12 m ²	4,59%	fi= 1	■
Semipermeable	967,70 m ²	2,12%	fi= 0,5	■
Impermeable no edificado	15 181,39 m ²	33,26%	fi= 0	■
Calzada	8 763,62 m ²	19,20%		
Acera	5 029,43 m ²	11,02%		
Interior manzana	1 388,35 m ²	3,04%		
Impermeable edificado	27 398,43 m ²	60,03%	fi= 0	■
Total	45 642,64 m²	100%		

Cálculo Índice Biótico del Suelo (IBS)

$$IBS = \frac{1 \times 2\,095,12 \text{ m}^2 + 0,5 \times 967,70 \text{ m}^2}{45\,642,64 \text{ m}^2} \times 100 = 5,65 \%$$

IBS mínimo (> 15%) ■ **No cumple**



Leyenda

- Límites de la supermanzana
- Cumple índice ecosistemico mínimo
- No cumple índice ecosistemico mínimo

Diagnostico bioclimático

Partiendo del análisis y la medición de los índices ecosistémicos, habría que sumar las variables bioclimáticas a la hora de considerar las actuaciones en el ámbito. En este sentido nos centraremos en las estrategias de mitigación de la ICU en los meses de verano.

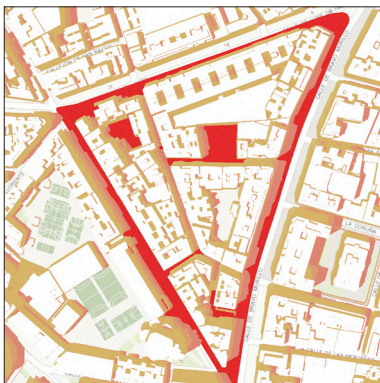


fig. 3.3.14. Incidencia de la radiación solar en la supermanzana para un mes de Julio. Arriba situación de mañana, a mitad mediodía y abajo tarde. Zonas más expuestas en color rojo
Fuente: elaboración propia

1. Radiación Solar. Mediante la elaboración de mapas de sombras para el mes de Julio, se han detectado las zonas del interior de la supermanzana más expuestas a la radiación solar (fig. 3.3.5.). Estas se concentran a lo largo de la calle Mariano Fernández dada su desfavorable orientación E-O, la cual hace que esté expuesta al sol tanto de mañana como de tarde. En menor medida pero también con un alto grado de exposición se encuentra el tramo de la calle Fulgencio de Miguel orientada a SO. Así mismo, los solares vacíos y patios de manzana están muy expuestos dado el gran ángulo de inclinación solar durante esta época del año. Apuntar que los mapas no cuentan con las sombras arrojadas del arbolado, por lo que el grado de exposición de las aceras perimetrales es inferior al que se muestra (fig. 3.3.5.).

2. Vegetación. Aun duplicándose la altura edificada respecto al ancho de calle en la mayoría de tramos, el arbolado se colocará de tal forma que se prioricen las sombras arrojadas tanto en el espacio de la calle como en las fachadas S-SO. Este factor es especialmente importante en la Calle Mariano Fernández. Además, para no perjudicar las condiciones de invierno, los árboles deberán ser de hoja caduca. Por otro lado, en los solares y patios de manzana se agruparán masas vegetales tanto arbóreas, para aumentar los espacios en sombra, como vegetación herbácea o arbustiva, cuyos aportes de humedad son más perceptibles para los usuarios en el espacio público. También se contemplará la instalación de jardines verticales en las medianeras vistas.

3. Materiales. La totalidad del espacio de la calle está compuesta por materiales de construcción impermeables. Se buscará sustituir dichos materiales por unos con menor inercia térmica y mayor albedo, ya que pueden enfriarse con mayor rapidez, favoreciendo una mejor disipación del calor durante la noche.

3.4. Propuesta de rehabilitación

Una vez conocidas las necesidades bioclimáticas y los índices ecosistémicos deficientes, tomaremos en consideración las recomendaciones expuestas en el Manual de Diseño Bioclimático (Hernández, A., Fariña, J., Fernández, V., Gálvez, M., Urrutia, N., 2013) para elaborar la propuesta de intervención, centrada en dos ejes fundamentales:

1. Verde urbano.

I. Introducción de arbolado viario a lo largo de las tres calles interiores. Se pretende alcanzar un crecimiento para todos los árboles de en torno a 4-6 metros de diámetro de copa, con una separación mínima de tronco a fachadas en entorno a los 3 metros y distanciados unos 8 - 10 metros entre sí. Siguiendo estos criterios, contaríamos con un total de 35 árboles.

II. Nuevas zonas verdes. Siguiendo los principios expuestos en la carta para la planificación ecosistémica de las ciudades, se calificará como zona verde cualquier solar abandonado o sin uso. En el ámbito existen hasta seis solares sin construir, los cuales suman un total de 1.936,9 m². Si a estos, le sumamos los patios de manzana interior libres llegaríamos a los 2.522 m² de superficie. Estos se acondicionarán y convertirán en zonas de recreo y estancia, pudiendo también contemplarse la creación de huertos urbanos. En el entorno de la Calle Mariano Fernandez, dada su alta exposición solar, se contempla la plantación de hasta 17 árboles de distintas especies (Platanus Hybrida, Melia Azedarach) además de zonas con arbustos y cés-

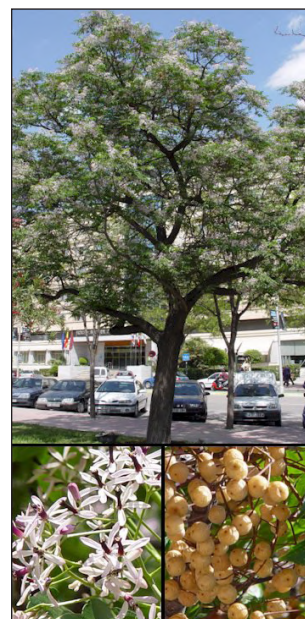


fig. 3.4.1. Árbol Melia Azedarach
Fuente: arbolesornamentales.es

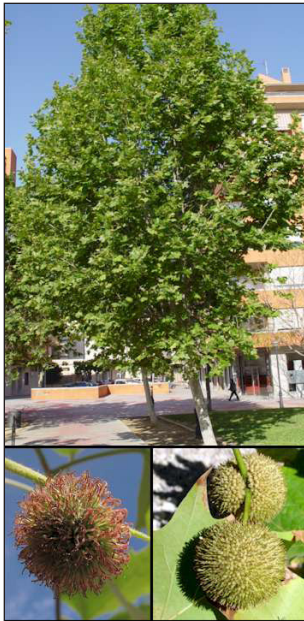


fig. 3.4.2 Árbol Platanus Hybridus
Fuente: arbolesornamentales.es

ped. También se instalará una pérgola fija a lo largo de toda la calle, que contará con plantas trepadoras que gracias a su floración en los meses más cálidos aportarán sombras arrojadas a la zona central y la acera orientada a sur de la calle. En todos los solares o patios de manzana, el arbolado se colocará siempre en las zonas más expuestas a la radiación solar, mientras que en las umbrías será preferible la plantación de arbustos o especies herbáceas. Así es como contaríamos con un total de 65 árboles, un 60,2% más que en la actualidad.

III. Fachadas verdes. Con el propósito de aumentar la percepción de verde urbano, los jardines verticales son una solución algo más compleja pero igualmente factible para reverdecer la ciudad. Se aprovecharán las medianeras libres, evitando la orientación suroeste al ser la más dañina y también la norte al ser los aportes de radiación solar muy bajos. Las necesidades de luz y humedad de las especies vegetales variará en función de la orientación y las sombras arrojadas de los edificios del entorno. Siguiendo estos criterios, en el ámbito se instalan hasta 5 fachadas vegetales orientadas a NE, E, SE y O.

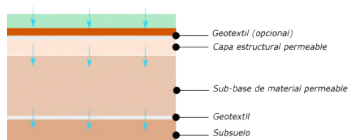


fig. 3.4.3. Suelo de césped reforzado:
Fuente: Tectónica

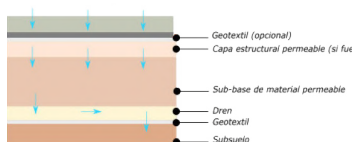


fig. 3.4.4. Suelo de grava reforzado:
Fuente: Tectónica

2. Materiales y superficies.

Se sustituirán gran parte de las superficies artificiales por otras semipermeables y orgánicas. Para su selección y siguiendo los principios ecosistémicos para la adaptación y mitigación del cambio climático, es fundamental plantear infraestructuras urbanas que favorezcan formas de drenaje que reproduzcan el ciclo hidrológico natural. Así es como se plantea la incorporación de pavimentos permeables drenantes, los cuales permiten la penetración del agua, la cual se filtra lentamente hasta llegar al sustrato. Estas superficies sustituirán al asfalto y las aceras existentes:

IV. Acera verde. Dispuestas en los laterales de las calles interiores de la supermanzana, se dispondrán

aceras con pavimento de hormigón blanco permeable. El material se colocará de forma continua a lo largo de toda la calle, donde en algunas zonas mediante su separación, se formarán franjas discontinuas en las que el sustrato quedará visto, para permitir así el desarrollo de plantas de tipo herbáceo. También se dispondrán aquí los huecos correspondientes a los alcorques del nuevo arbolado viario.

V. Calzada peatonal. El espacio destinado a vehículos se reduce a un solo carril, eliminando la franja correspondiente a aparcamiento. Dado que se contempla que solo circulen en el interior de la supermanzana los vehículos de residentes, el previsible bajo volumen de tráfico y la limitación de velocidad de circulación máxima a 10 km/h, permitirá instalar un pavimento de hormigón permeable, por el cual podrán circular tanto coches como peatones. Este también se instalará en las zonas de aparcamiento de vehículos situados en el perímetro, eliminando así todas las superficies asfaltadas.

VI. Suelos orgánicos. Para la mejora de las condiciones actuales de los solares vacíos, estos se acondicionarán con aportes de tierra y compost orgánico para favorecer el crecimiento tanto del arbolado como de otro tipo de vegetación. Para evitar un crecimiento descontrolado de algunas especies herbáceas e introducir materiales impermeables, se colocarán superficies de grava y césped reforzado.

En las fichas que se muestran a continuación se resumen las actuaciones y las mejoras de los índices ecosistémicos.



Proyecto de rehabilitación de la supermanzana. Actuaciones en parcelas y patios de manzana

Actuaciones en superficies horizontales y verticales. Sustitución de superficies y acabados impermeables

Acera verde. Dispuesta a ambos lados de la calle, mediante la separación de las piezas cerámicas y de hormigón se plantarán especies herbáceas además de disponerse los alcorques para el arbolado viario

Calzada peatonal. Con un ancho de 2,5 metros para posibilitar el paso de vehículos para residentes, se dispone un suelo semi-permeable de hormigón resistente en retícula grecada

Fachada verde. Para aprovechar las medianeras vacías en el interior de la supermanzana se dispondrán tapices verdes correctamente orientados en función del tipo de vegetación

fig 1. Pavimento de hormigón permeable



fig 2. Calzada permeable

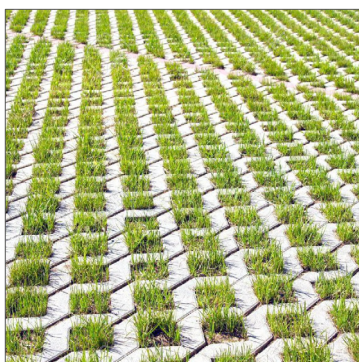


fig 3. Césped y grava reforzado

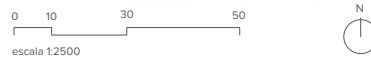


fig 4. Fachada verde en medianera





Estado rehabilitado supermanzana. Análisis y medición de índices ecosistémicos



Análisis. Morfología y estructura urbana

Área total de la Supermanzana	45 642,64 m ² (4,56 ha)	100%
Área no ocupada total	16 314,90 m ²	35,75%
Calzada	6 871,54 m ²	15,05%
Acera verde	5 967,16 m ²	13,07%
Calzada peatonal	954,18 m ²	2,10%
Patios de manzana y zonas verdes	2 522,02 m ²	5,53%

Análisis. Movilidad Sostenible

Espacio peatonal y usos compartidos	57,88% (>60%)	+67,92 %
Espacio viario motorizado	40,73% (<40%)	-27,53 %

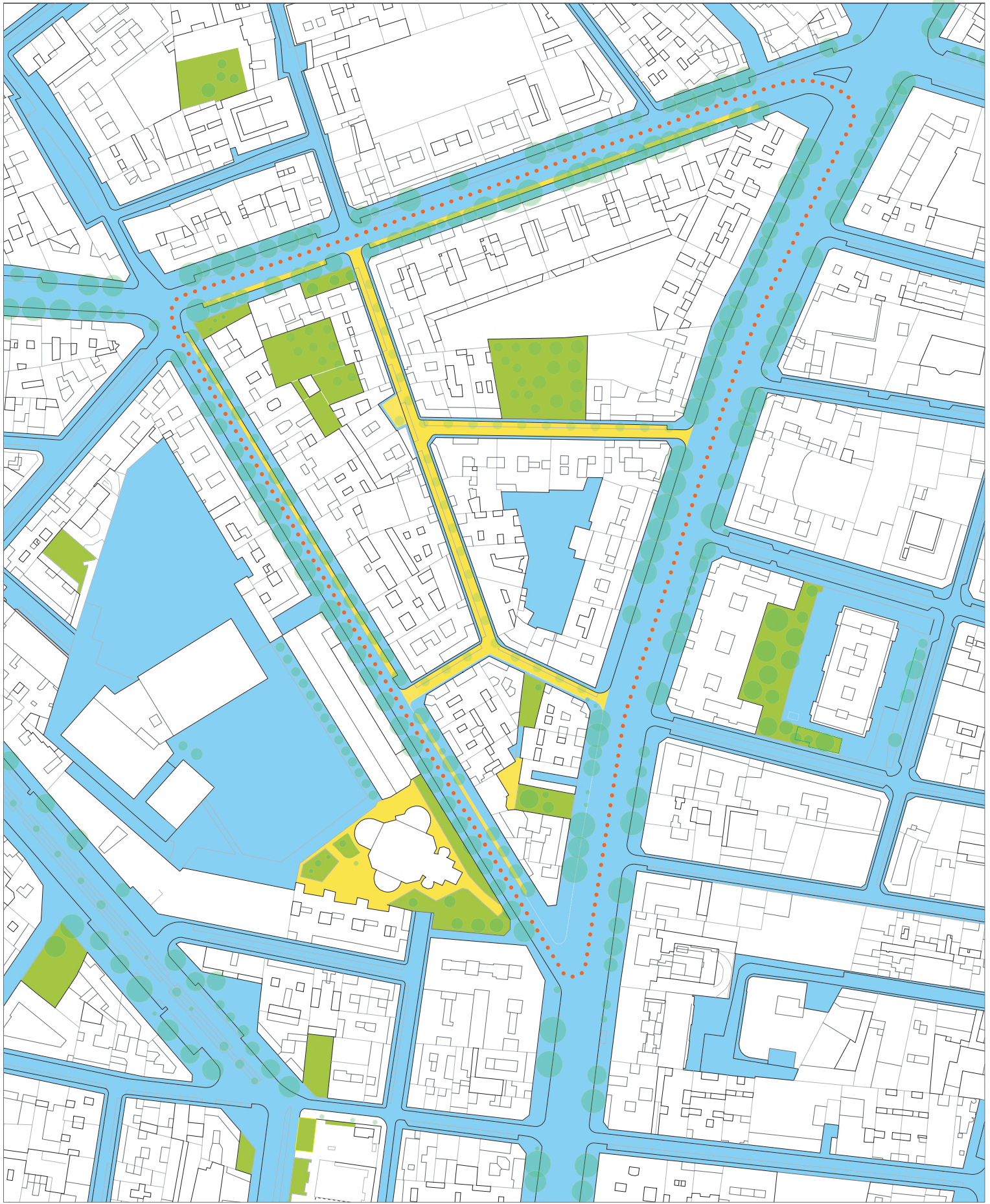
Volumen construido total (m ³)	396 833 m ³	
Índice de edif. bruta (m ² c/m ² s)	2,90 m ² c/m ² s (>1,5 m ² c/m ² s)	
Compacidad absoluta	8,69 m (>5m)	
Compacidad corregida	42,02 m (10 - 20m)	-28,54 ▼▼
Espacio construido/habitante	48,47 m ² c/hab (50 - 60m ² c/hab)	
Espacio uso público/habitante	3,46 m ² s/hab (10 - 20m ² s/hab)	+67,96%

Espacios verdes y biodiversidad

nº de árboles/habitante	0,06 arb/hab	173 árboles	+60,20%
Índice biótico del suelo	9,68 %		+71,33%

Leyenda

Cumple índice ecosistémico mínimo	■
No cumple índice ecosistémico mínimo	■
Arbolado	●
Límites de la supermanzana	⋯
Acabados superficiales	
Hormigón permeable	■
Acera verde	■
Orgánico	■
Acabados de fachada	
Ladrillo cerámico rojo	■
Ladrillo cerámico marrón	■
Fachada revoco y acabado pintura	■
Fachada de vidrio oscuro	■
Fachada aplacado gres	■
Fachada vegetal	■



Estado rehabilitado supermanzana. Análisis y medición del índice biótico del suelo

Tablas de permeabilidad del suelo

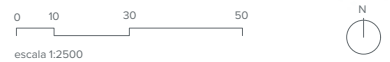
Rango	Superficie (m ²)	Porcentaje (%)	Permeabilidad (fi)
Permeable	2 906,90 m ²	6,37% +38,75%	fi= 1
Semipermeable	3 020,05 m ²	6,62% +312,09%	fi= 0,5
Impermeable no edificado	12 317,26 m ²	26,98% -23,25%	
Calzada	5 989,08 m ²	13,12% -46,32%	fi= 0
Acera	4 939,83 m ²	10,82% -1,81%	
Interior manzana	1 388,35 m ²	3,04%	
Impermeable edificado	27 398,43 m ²	60,03%	fi= 0
Total	45 642,64 m²	100%	

Cálculo Índice Biótico del Suelo (IBS)

$$IBS = \frac{1 \times 2\,906,90 \text{ m}^2 + 0,5 \times 3\,020,05 \text{ m}^2}{45\,642,64 \text{ m}^2} \times 100 = 9,68\%$$

IBS mínimo (> 15%) **No cumple**

Mejora del IBS en + 71,33 % respecto al estado actual



Leyenda

- Límites de la supermanzana
- Cumple índice ecosistémico mínimo
- No cumple índice ecosistémico mínimo

4. Simulación y evaluación de la propuesta

4.1. Metodología del software ENVI-MET

Una vez concretada la propuesta de rehabilitación bioclimática de la supermanzana, comprobaremos su eficacia a efectos de mejora del confort térmico mediante el software de simulación ambiental ENVI-MET. Este software simula el clima urbano con respecto a los flujos de radiación de onda corta y onda larga de los materiales de construcción y las plantas, incluida la simulación de todas las características físicas de la vegetación. Con él generaremos mapas representativos de las condiciones ambientales correspondientes a un día de verano, tanto de su estado actual como del rehabilitado.

A continuación se explica paso a paso la metodología del software ENVI-MET con el cuál se han elaborado dichos mapas:

1. En primer lugar es necesario introducir las coordenadas geográficas del ámbito donde se va a llevar a cabo la simulación. Este factor es muy importante ya que de él depende la trayectoria e inclinación del sol para cada uno de los meses del año, y por ende la cantidad de radiación solar incidente.

2. Una vez georreferenciado el ámbito se definen las dimensiones del modelo, el cual está compuesto por píxeles tridimensionales. Cada pixel se corresponde a un valor numérico en metros, el cual se puede definir en su eje x, y o z. En función del tamaño del pixel se podrán definir con mayor o menor detalle los elementos presentes en el entorno urbano, ya sean edificios, arbolado o materiales de calzada y acera. Dado que utilizaremos la versión de prueba ENVI-LITE, las dimensiones del modelo quedan reducidas a 50 x 50 x 40 (x, y, z). Esta restricción condicionó en gran medida la elección de la supermanzana desde el principio. Establecimos un pixel de 8x8 metros de superficie, al corresponderse este con el ancho de las

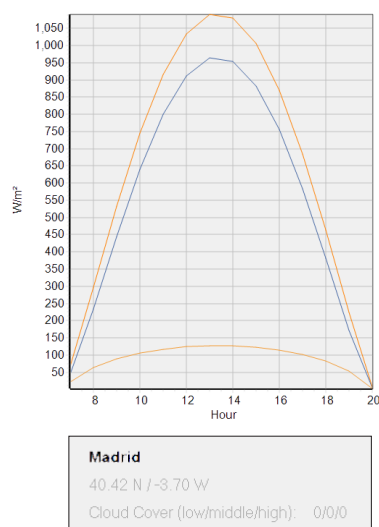


fig. 4.11. Radiación solar y coordenadas geográficas para el día 16 de Julio. Fuente: ENVI-MET

calles interiores de la supermanzana, y 1,6 metros de alto, al ser necesaria que la altura del modelo fuera 3 veces superior a la de los edificios de más altura para una correcta simulación. Definimos así un modelo de 400 x 400 metros de superficie y 64 metros de alto, que engloba tanto la supermanzana como las calles colindantes.

3. A continuación construimos los volúmenes edificatorios, cuya geometría ha de quedar inscrita en la retícula establecida. Sucede lo mismo al definir los tipos de suelo y colocar el arbolado. Cada pixel representa una pequeña unidad urbana a la que solo se le puede asignar un tipo de información concreta, por lo que dicha asignación ha de corresponderse con el tipo mayoritario. En nuestro caso, un ejemplo de ello, puede ser la asignación del tipo de superficie correspondiente a las calles interiores, que aun estando compuestas de acera y asfalto, se le asigna únicamente el valor de “asfalto” al ser el más representativo de dicha unidad urbana.

4. El programa ENVI-MET nos ofrece una biblioteca predeterminada de materiales, soluciones constructivas y arbolado entre otros, pudiendo también definir nuestra propia biblioteca. En relación al arbolado, hemos definido tres tamaños en función de los diámetros y alturas de copa medios (3, 6 y 10 metros), siendo todos ellos de hoja caduca y de especie *Platanus hybrida* (fig. 4.1.2). Por otro lado hemos definido superficies de suelo verde y especies arbustivas.

A continuación se han definido los tipos de suelo junto a los acabados de fachada y cubiertas. A cada material o acabado se le han asignado los valores térmicos y físicos de diseño que se muestran en el catálogo de elementos constructivos del CTE (densidad, conductividad y calor específico). Los valores de reflexión, absorción y emisividad se han asignado en función del color y tipo de material, usando los valores de referencia expuestos en el manual de diseño bioclimático.

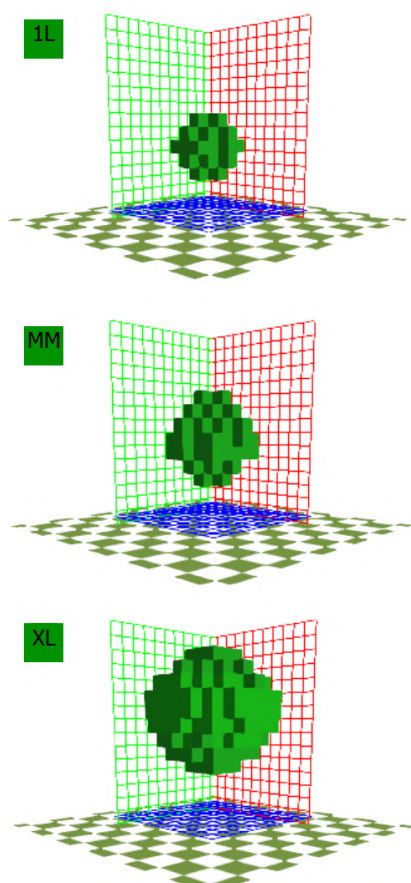





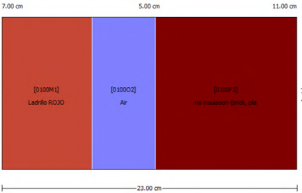


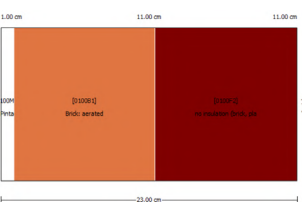


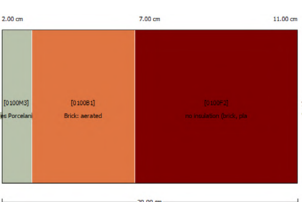


fig. 4.1.2. Tamaños de arbolado introducidos en el modelo 3D, donde cada pixel corresponde a un 1 m^3 de alta densidad de hoja. Fuente: elaboración propia en ENVI-MET

Todo ello se muestra en las siguientes tablas:

Cubiertas							
ENVI-MET nos permite definir hasta 3 capas distintas para conformar las diferentes soluciones de fachada y cubierta. Se han utilizado tanto los materiales por defecto del programa como otros que hemos añadido							
Tipo	Color	Densidad kg / m ³	Conductividad W / m·K	Calor específico J / kg·K	Albedo / Reflectancia	Absortividad	Emisividad
<u>Plana no transitable.</u> Compuesta por: 1. Tela asfáltica bituminosa (0,25 cm) 2. Hormigón aligerado (10 cm) 3. Forjado hormigón (25 cm)		960	0,19	837	0,4	0,7	0,9
					0,5	0,7	0,9
					0,2	0,9	0,9
<u>Inclinada no transitable.</u> Compuesta por: 1. Teja cerámica (13 mm) 2. Cámara de aire (5 cm) 3. Forjado (25 cm)		1900	0,84	800	0,4	0,8	0,9
		2200	1,50	1000	0,15	0,8	0,9
<u>Plana no transitable.</u> Compuesta por: 1. Grava (10 cm) 2. Hormigón + aislamiento (5 cm) 3. Forjado hormigón (25 cm)		1674	1,44	881	0,7	0,5	0,9
<u>Plana transitable.</u> Compuesta por: 1. Baldosas hormigón ligero (10 cm) 2. Ladrillo + Capa de yeso (8 cm) 3. Forjado hormigón (25 cm)		2000	0,96	840	0,35	0,7	0,9

Fachadas

ENVI-MET nos permite definir hasta 3 capas distintas para conformar las diferentes soluciones de fachada y cubierta. Se han utilizado tanto los materiales por defecto del programa como otros que hemos añadido

Tipo	Color	Densidad kg / m ³	Conductividad W / m-K	Calor específico J / kg-K	Albedo / Reflectancia	Absortividad	Emisividad
Fachada ladrillo Compuesta por: 1. Ladrillo cerámico cara vista (11 cm) 2. (Cámara de aire 5 cm) 3. (Ladrillo + enlucido de yeso 11 cm)		780	0,35	1000	0,4	0,8	0,9
		800	0,35	1000	0,7	0,8	0,9
Fachada acabado revoco Compuesta por: 1. Enfoscado y revocado (2,5 cm) 2. Ladrillo medio pie (11 cm) 3. Aislamiento (10 cm)					0,8	0,2	0,9
		1500	0,60	850	0,4	0,35	0,9
Fachada aplacado gris. Compuesta por: 1. Placas de gres (2,5 cm) 2. Ladrillo hueco doble (24 cm) 3. Aislamiento (10 cm)							
		2000	1,00	800	0,4	0,6	0,9
Fachada vidrio oscuro. Compuesta por: 1. Vidrio tintado (1 cm)		2500	1,05	750	0,05	0,05	0,9
Fuentes consultadas para la definición de las propiedades físicas y térmicas de los materiales:	1. CATÁLOGO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL CTE (v. 6.3) 2. IES Virtual Environment (IESVE) System Material Database, Table 6						

Tipos de suelo

Se han escogido los suelos predeterminados que nos ofrece ENVI-MET y se han asignado a cada uno de los elementos del modelo

Tipo	Color	Albedo /Reflectancia	Emisividad
Asfalto Asignado a: calzada Nomenclatura Envi-MET: ST (Asphalt Road)	ST	0,2	0,9
Pavimento hormigón usado Asignado a: aceras Nomenclatura Envi-MET: PP (Concrete Pavement, used/dirty)	PP	0,4	0,9
Pavimento hormigón oscuro Asignado a: edificaciones Nomenclatura Envi-MET: PD (Concrete Pavement dark)	PD	0,2	0,9
Suelo arcilloso sin tratar Asignado a: suelos no ocupados Nomenclatura Envi-MET: LO (Loamy Soil Unsealed)	LO	0,0	0,98
Pavimento cerámico rojo Asignado a: patios interiores Nomenclatura Envi-MET: KK (Brick Road, red stones)	KK	0,3	0,9
Pavimento de hormigón claro Asignado a: patios interiores Nomenclatura Envi-MET: PL (Concrete Pavement Light)	PL	0,7	0,9
Asfalto en acabado rojo Asignado a: canchas deportivas Nomenclatura Envi-MET: AR (Asphalt road with red coating)	AR	0,5	0,9

fig. 4.1.3. Estado actual supermanzana. Materiales y acabados superficiales del suelo. Fuente: Elaboración propia

- Asfalto
- PP Pavimento hormigón usado
- PD Pavimento hormigón oscuro
- PL Pavimento hormigón claro
- AR Asfalto rojo
- LO Suelo natural
- KK Cerámico rojo

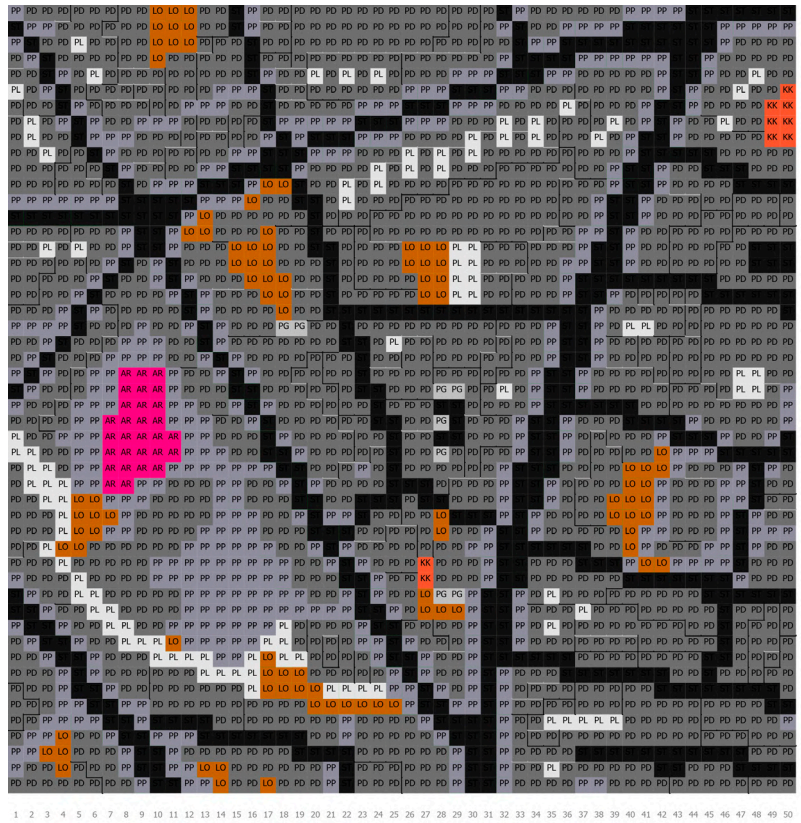
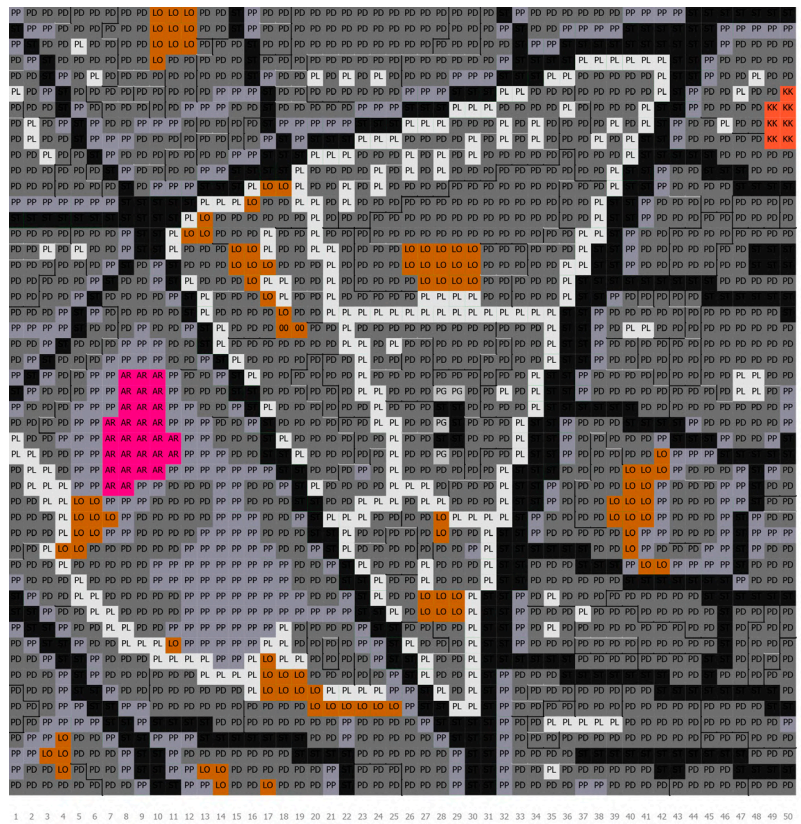
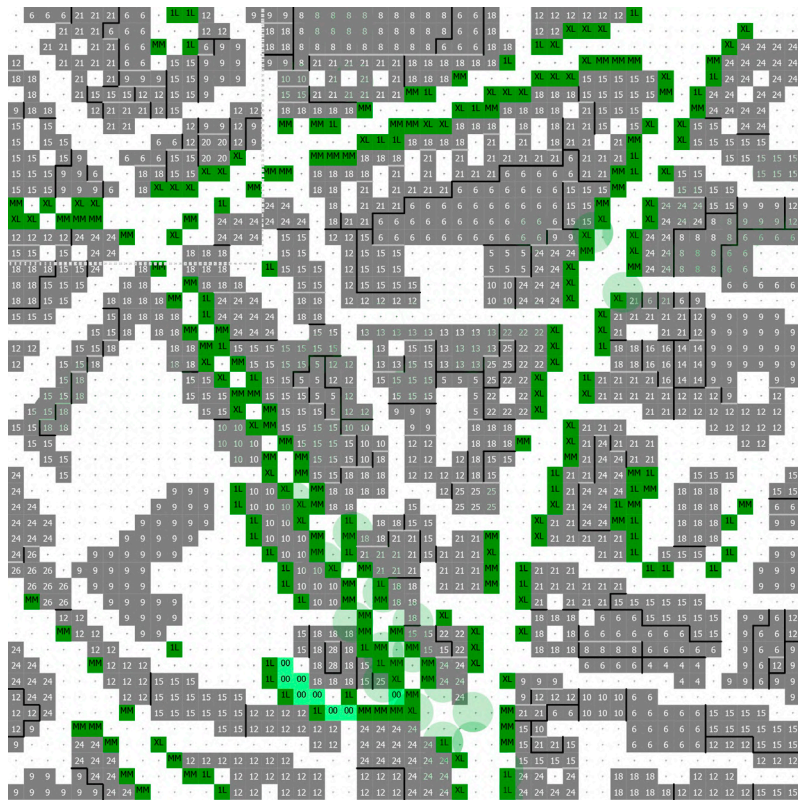


fig. 4.1.4. Estado rehabilitado. Materiales y acabados superficiales del suelo. Fuente: Elaboración propia

- Asfalto
- PP Pavimento hormigón usado
- PD Pavimento hormigón oscuro
- PL Pavimento hormigón claro
- AR Asfalto rojo
- LO Suelo natural
- KK Cerámico rojo

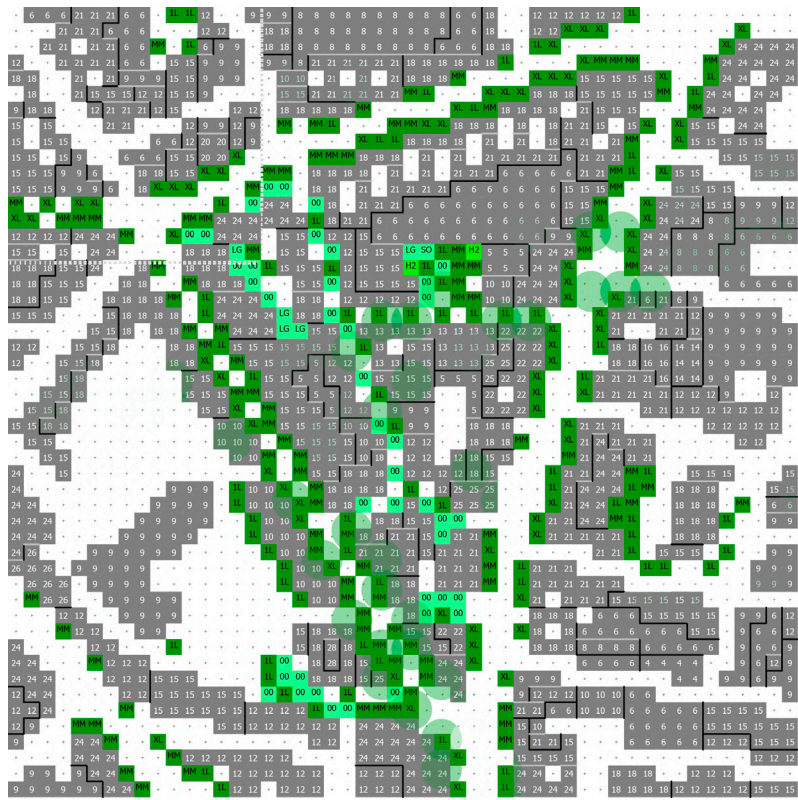




Legenda tipos de vegetación

- 00 Hierba/Césped
- LG Luzerne
- 1L Melia Azedarach (h=5m, d=3m)
- MM Platanus hybrida (h=9m, d=6m)
- XL Platanus hybrida (h=12m, d=10m)
- H2 Arbusto denso

fig. 4.15. Estado actual supermanzana. Alturas edificatorias y verde urbana. Fuente: Elaboración propia



- 00 Hierba/Césped
- LG Luzerne
- 1L Melia Azedarach (h=5m, d=3m)
- MM Platanus hybrida (h=9m, d=6m)
- XL Platanus hybrida (h=12m, d=10m)
- H2 Arbusto denso

fig. 4.16. Estado rehabilitado. Alturas edificatorias y verde urbano. Fuente: Elaboración propia

fig. 4.1.7 Vista del modelo en 3D. Estado actual. Definición de superficies y vegetación. Fuente: Elaboración propia

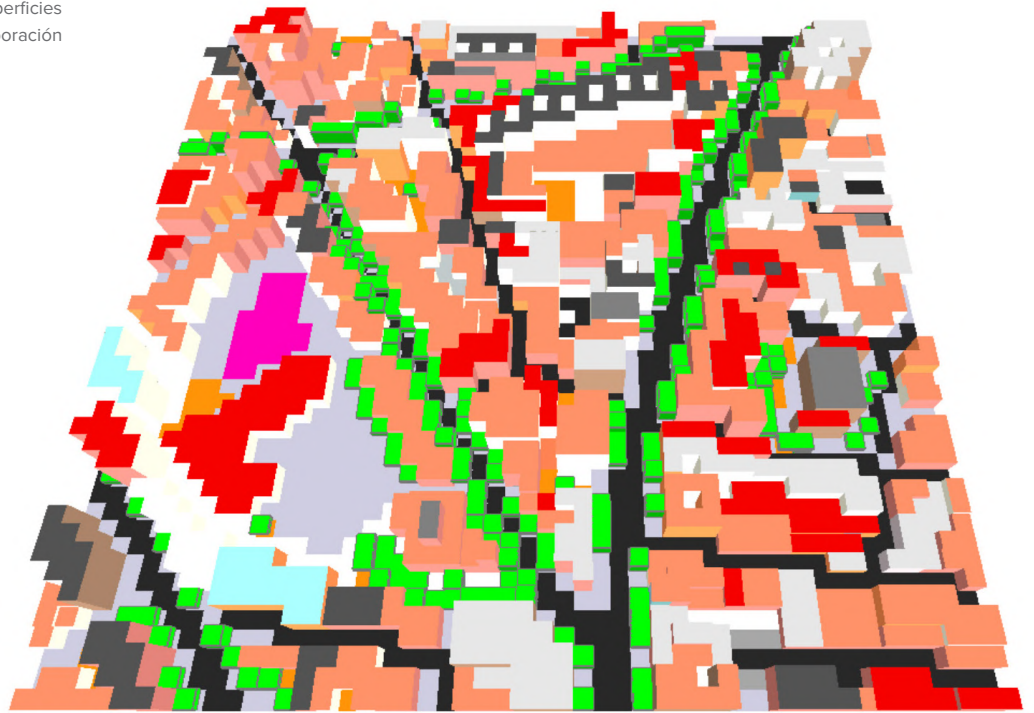
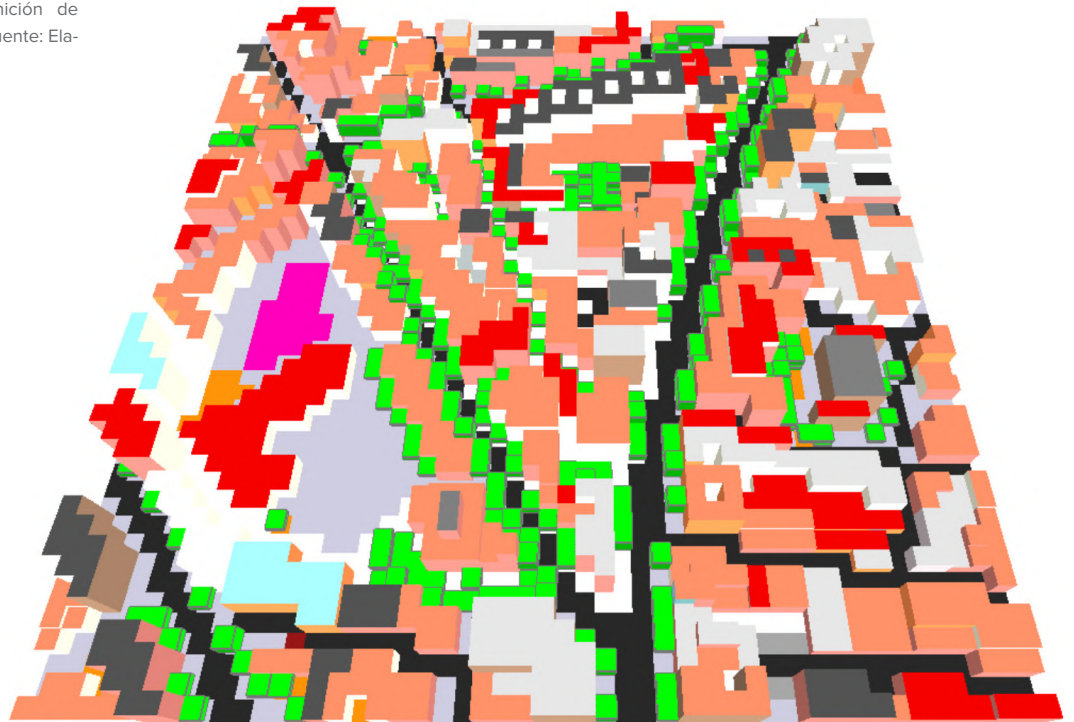


fig. 4.1.8 Vista del modelo en 3D. Estado rehabilitado. Definición de superficies y vegetación. Fuente: Elaboración propia



5. Una vez se han definido todos los parámetros en el modelo se procede a la simulación ambiental, para la que hemos tomado los datos de humedad relativa y temperatura del día 26 de Julio de 2016 registrados en la estación meteorológica “Cuatro Caminos” del proyecto MODIFICA. Con una temperatura máxima de 36°C y una mínima de 24°C, las condiciones atmosféricas son perfectamente representativas de un día de episodio por calor típico de verano.

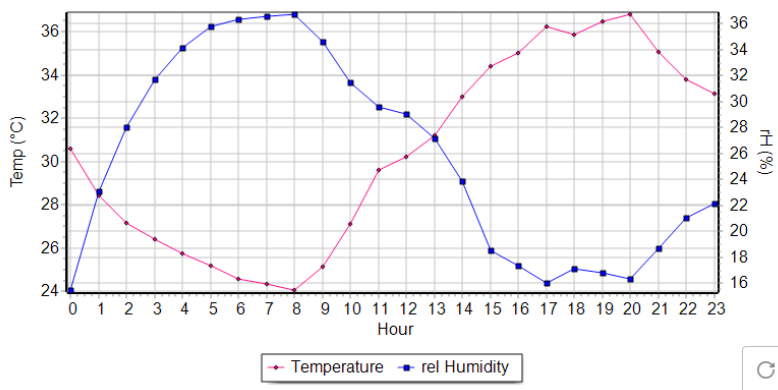


fig. 4.1.9. Datos de humedad y temperatura horarias para el día 26 de Julio de 2016 estación n°9 Cuatro Caminos. Fuente: MODIFICA.

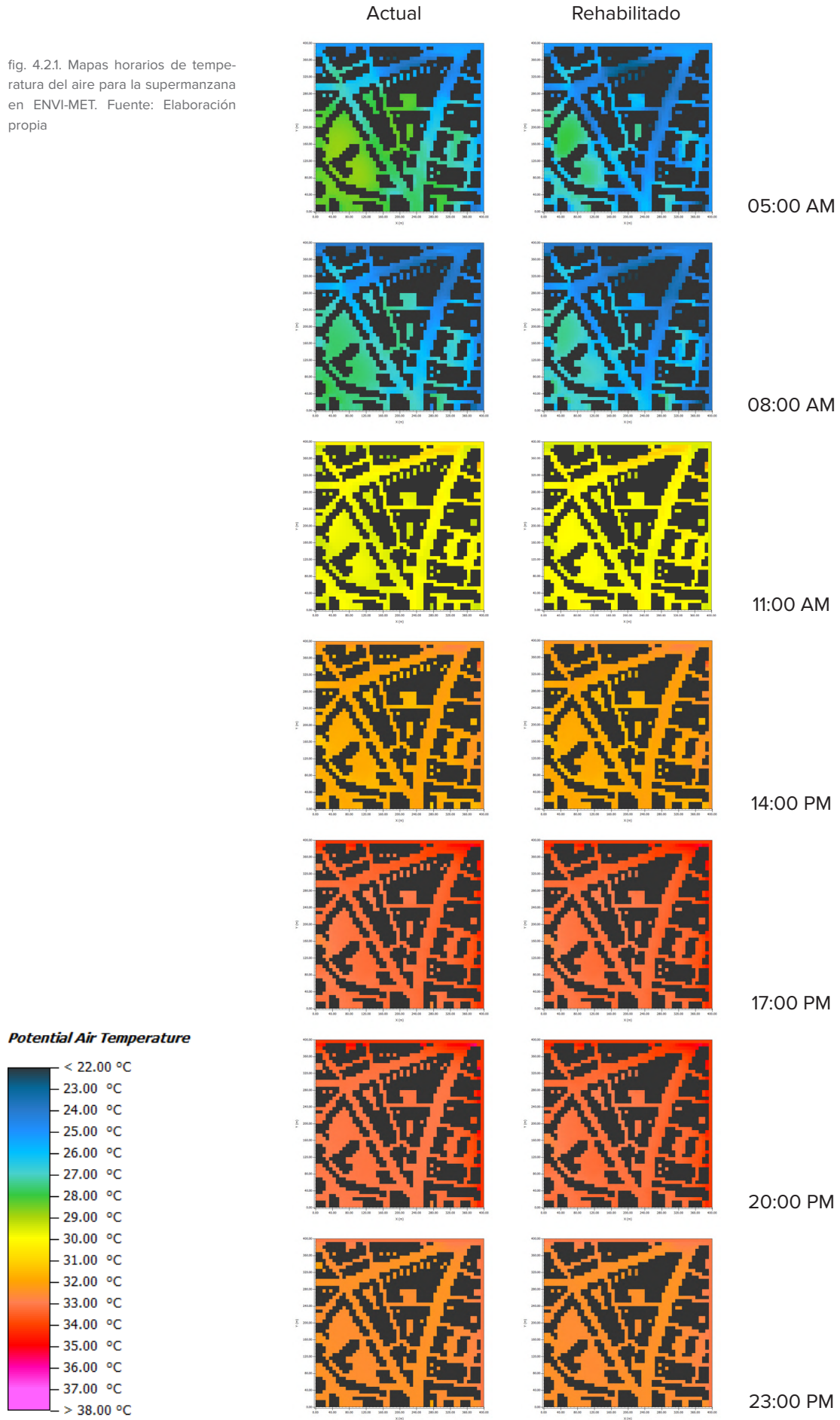
4.2. Evaluación y comparativa de las simulaciones

ENVI-MET considera todos los factores que afectan al confort térmico y que determinan la temperatura fisiológica equivalente (PET). En la escala del microclima urbano, estos serían:

1. Temperatura del aire (T_a)
2. Humedad relativa (H_r)
3. Temperatura radiante media (MRT)
4. Velocidad del viento (W_s)
5. Arropamiento y actividad física

Como se ha comentado anteriormente, no se considerará la velocidad del viento al tratarse de un factor poco apreciable durante un episodio de altas temperaturas. De igual forma, dada la variabilidad del viento debido al cañón urbano, sería necesario disponer de datos in situ para considerarlos en la simulación. En relación al arropamiento, se consideran 0,5 clo para un área de bienestar entre los 25,82 y 31,38°C.

fig. 4.2.1. Mapas horarios de temperatura del aire para la supermanzana en ENVI-MET. Fuente: Elaboración propia



Temperatura del aire

En los mapas de temperatura del aire donde se abarca todo el gradiente térmico del día (24,05°C de mínima y 36,47°C de máxima) vemos como a priori no existen grandes diferencias de temperaturas entre las distintas zonas del ámbito, sí siendo estos más perceptibles durante la madrugada y primeras horas de la mañana (fig. 4.2.1.).

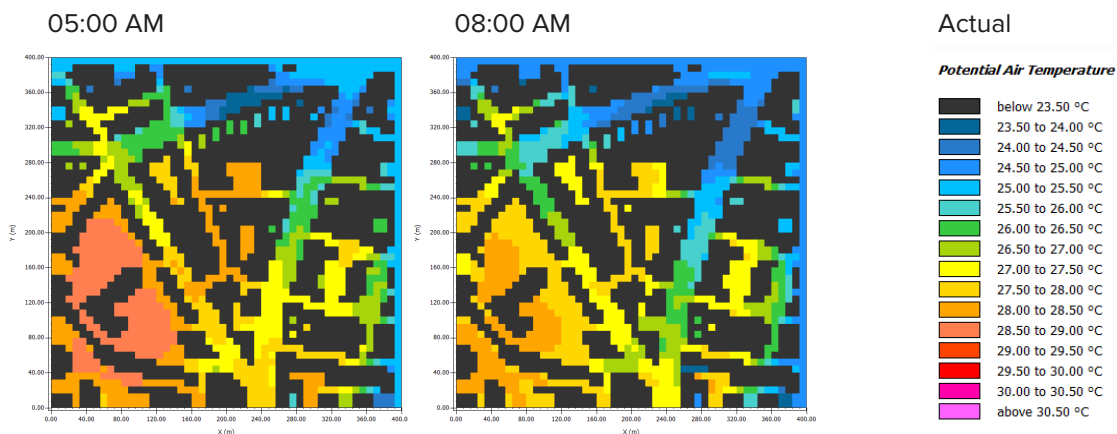
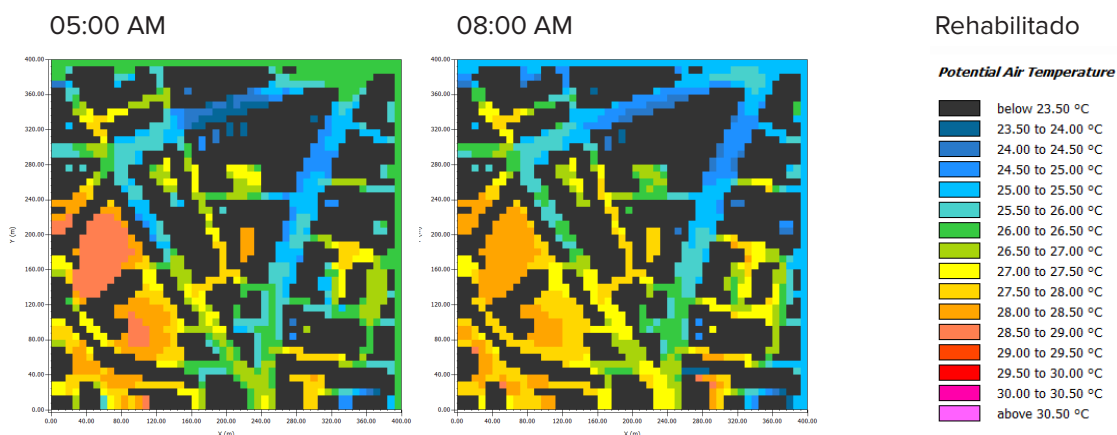


fig. 4.2.2. SITUACION NOCHE MAÑANA Mapas horarios de temperatura del aire situación de para la supermanzana en ENVI-MET. Fuente: Elaboración propia

Si estudiamos los mapas en detalle y por momentos del día, durante la mañana vemos como el gradiente de temperaturas entre las distintas zonas es amplio (fig. 4.2.2.). Por áreas, las calles que rodean la supermanzana presentan temperaturas diferentes, siendo más altas en aquellas donde la proporción H/W es menor. La Calle de Lope de Haro y el tramo final de la Calle Bravo Murillo presentan unas mejores condiciones, dado que son zonas con arbolado de gran tamaño, sombreadas por los edificios durante la tarde y suficientemente abiertas ($H/W \approx 1$) como para acelerar la disipación de radiación de onda larga durante la noche. En el

fig. 4.2.3. SITUACION NOCHE MAÑANA. Mapas horarios de temperatura del aire situación de para la supermanzana en ENVI-MET. Fuente: Elaboración propia

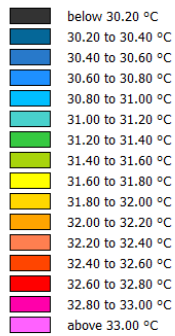


interior de la Supermanzana, en cambio, aun teniendo una proporción H/W alta ($\approx 2/1$) que permite menor incidencia de la radiación solar directa, hace que la disipación nocturna de la misma sea mucho menos efectiva, lo que sumado a no contar con arbolado, tengamos unas temperaturas entre 0,5 y 2°C superiores respecto a las calles perimetrales.

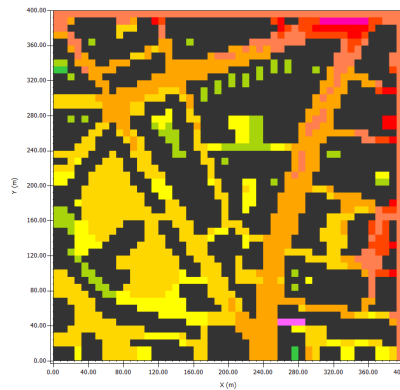
Tras la rehabilitación (fig. 4.2.3), la mejora es notable sobretodo en las calles interiores, donde la reducción es de unos 1 a 2°C. También es destacable la mejora de las condiciones de los solares reconvertidos en zona verde y cuyos efectos son perceptibles incluso en las calles perimetrales, sin extenderse más allá del ámbito de la Supermanzana.

Actual

Potential Air Temperature



14:00 PM



17:00 PM

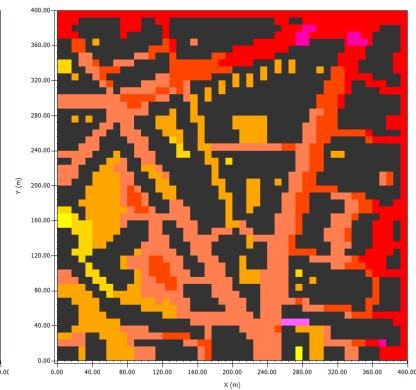


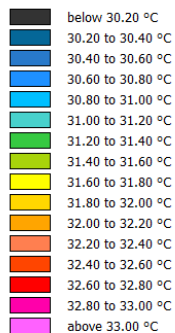
fig. 4.2.4. SITUACION MEDIODIA TARDE. Mapas horarios de temperatura del aire situación de para la supermanzana en ENVI-MET. Fuente: Elaboración propia

A mediodía y durante las primeras horas de la tarde, el gradiente de temperaturas entre zonas disminuye. Las más calientes son aquellas que han estado más expuestas al sol de mañana, y las que menos las más umbrías o que cuentan con suelos permeables o pavimentos más reflectivos. En el interior de la supermanzana las temperaturas son ligeramente inferiores a las del perímetro: a las 14:00 unos 0,5°C,

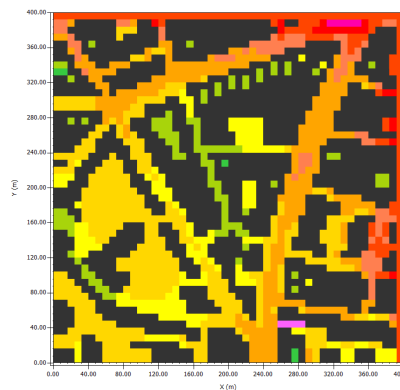
fig. 4.2.5. SITUACION MEDIODIA TARDE. Mapas horarios de temperatura del aire situación de para la supermanzana en ENVI-MET. Fuente: Elaboración propia

Rehabilitado

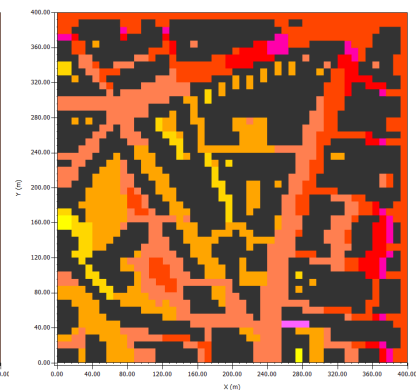
Potential Air Temperature



14:00 PM



17:00 PM



mientras que a las 17:00 apenas 0,3°C más bajas. Esta tendencia se prolonga hasta la medianoche, momento en el que vuelve a aumentar el gradiente de temperaturas hasta el amanecer.

En el estado rehabilitado (fig 4.2.5), vemos una sensible mejoría en las calles interiores (0,2°C a 0,6°C menos), gracias al aumento del albedo superficial y sobretodo a las sombras del nuevo arbolado. El aumento del albedo en las aceras perimetrales también parece contribuir a una pequeña reducción de la temperatura del aire (0,1 - 0,2°C).

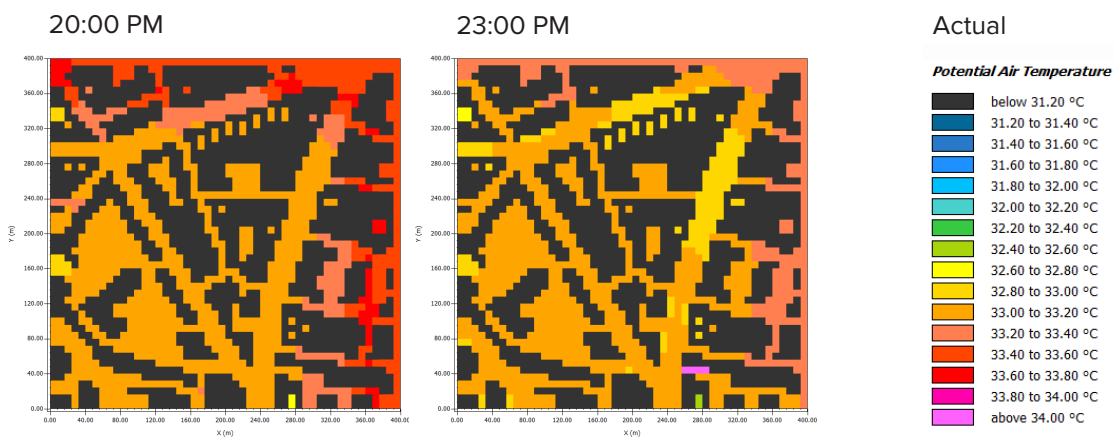


fig. 4.2.5. SITUACION TARDE NOCHE Mapas horarios de temperatura del aire situación de para la supermanzana en ENVI-MET. Fuente: Elaboración propia

Ya al anochecer el gradiente de temperaturas es prácticamente imperceptible, habiendo diferencias de apenas 0,2°C entre algunas zonas del interior de la Supermanzana y las calles perimetrales. En el estado rehabilitado, no observamos ninguna mejoría sensible. Un ambiente sobrecalentado, unido a la no contribución del enfriamiento evaporativo de la vegetación y las pérdidas de radiación de onda larga con la puesta de sol, son potencialmente las causas de esta homogeneización de las temperaturas en las últimas horas del día.

fig. 4.2.6. SITUACION TARDE NOCHE Mapas horarios de temperatura del aire situación de para la supermanzana en ENVI-MET. Fuente: Elaboración propia

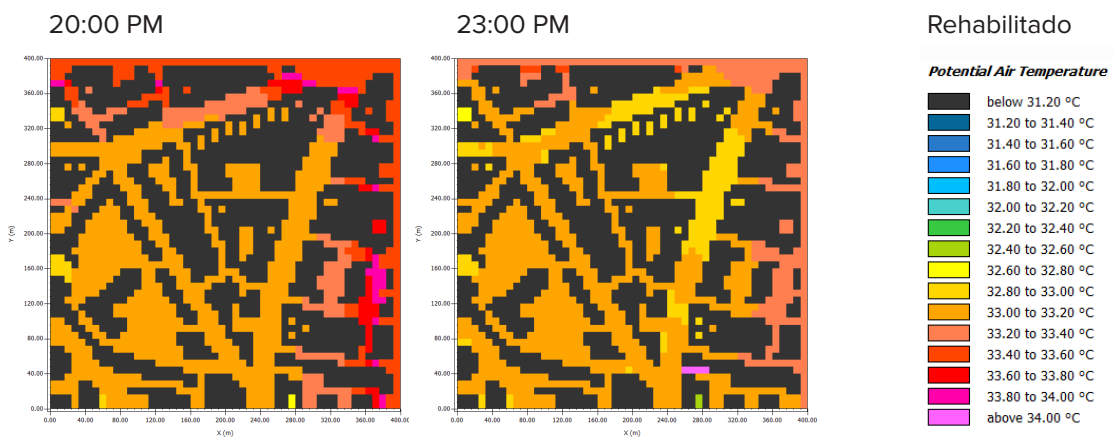
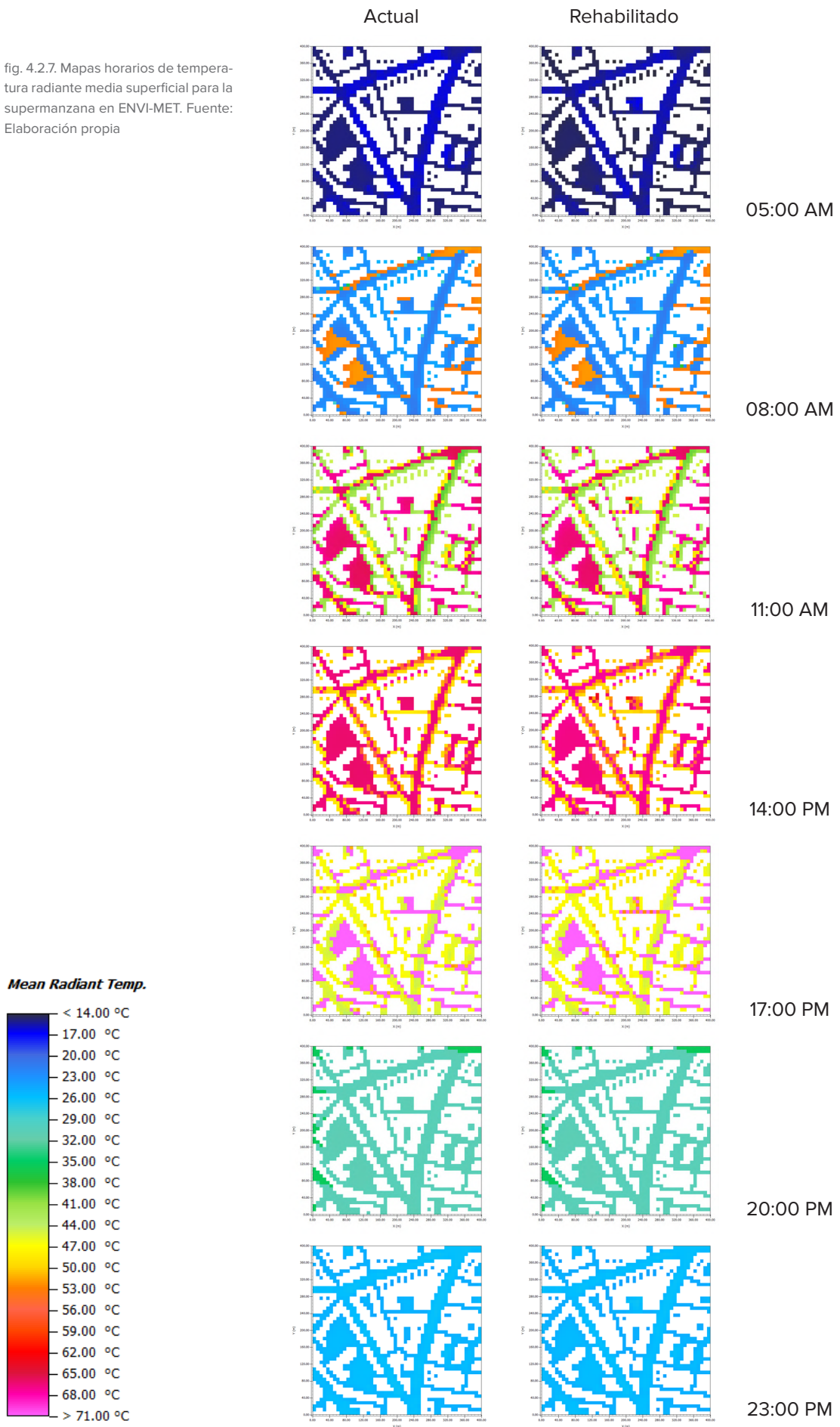


fig. 4.2.7. Mapas horarios de temperatura radiante media superficial para la supermanzana en ENVI-MET. Fuente: Elaboración propia

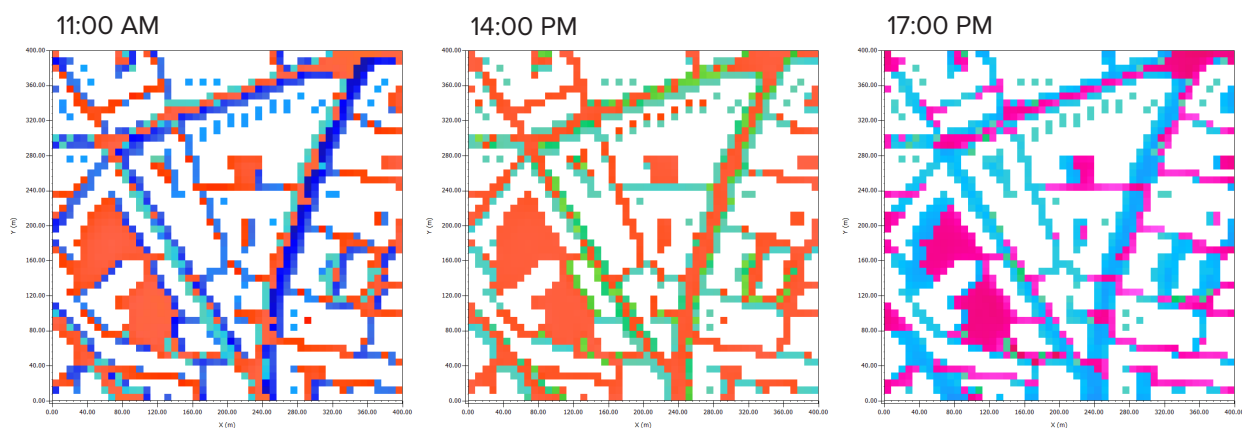


Temperatura radiante media

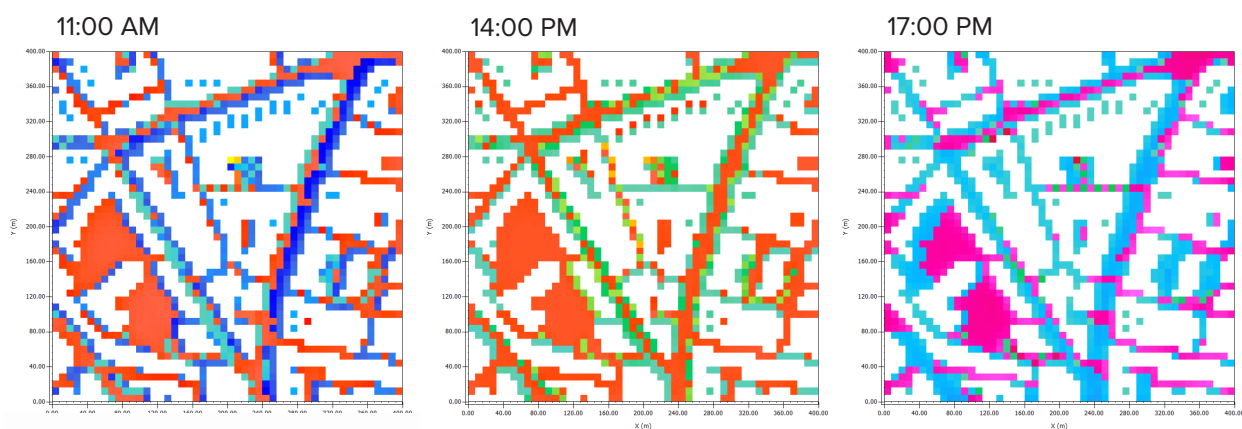
En los mapas de temperatura radiante media vemos que la incidencia de la radiación solar directa dispara la temperatura superficial de aquellas más expuestas, mientras que las zonas protegidas y en sombra presentan temperaturas mucho más bajas (fig. 4.2.7.) Esas diferencias de temperatura rondan los 25-30°C durante el día. La exposición solar sumada al aumento de la temperatura del aire a lo largo del día, hace que las temperaturas radiantes más elevadas se den en las zonas más expuestas al sol entre las 17:00 y 18:00 de la tarde, alcanzando más de 70°C.

En los mapas vemos como las zonas con menores temperaturas son aquellas protegidas por la sombra arrojada de las edificaciones y en menor medida aquellas protegidas

Estado actual



Estado rehabilitado



Mean Radiant Temp.

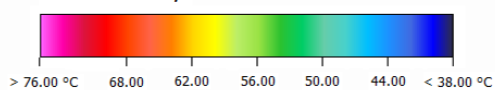


fig. 4.2.8. SITUACION MAÑANA TARDE Mapas horarios de temperatura radiante media para la supermanzana en ENVI-MET. Fuente: Elaboración propia

por las copas de los árboles, al ser sus sombras más permeables. Esto último es perfectamente visible en el estado rehabilitado de la supermanzana, donde las temperaturas radiantes son inferiores en las calles interiores gracias al nuevo arbolado. Por su parte, el aumento del albedo de las superficies no es perceptible en estos mapas, pero al disminuir la escala de temperaturas se comprobó un pequeña variación negativa de la temperatura superficial.

En cuanto al comportamiento nocturno, este es bien distinto. Muchas de las superficies que inicialmente presentaban temperaturas más altas durante el día, son ahora las que alcanzan temperaturas radiantes más bajas, aunque las diferencias entre zonas son en este caso muy inferiores, en torno a los 2-3°C en el caso de las 5:00 de la mañana. Este fenómeno solo puede explicarse debido a la mejor disipa-

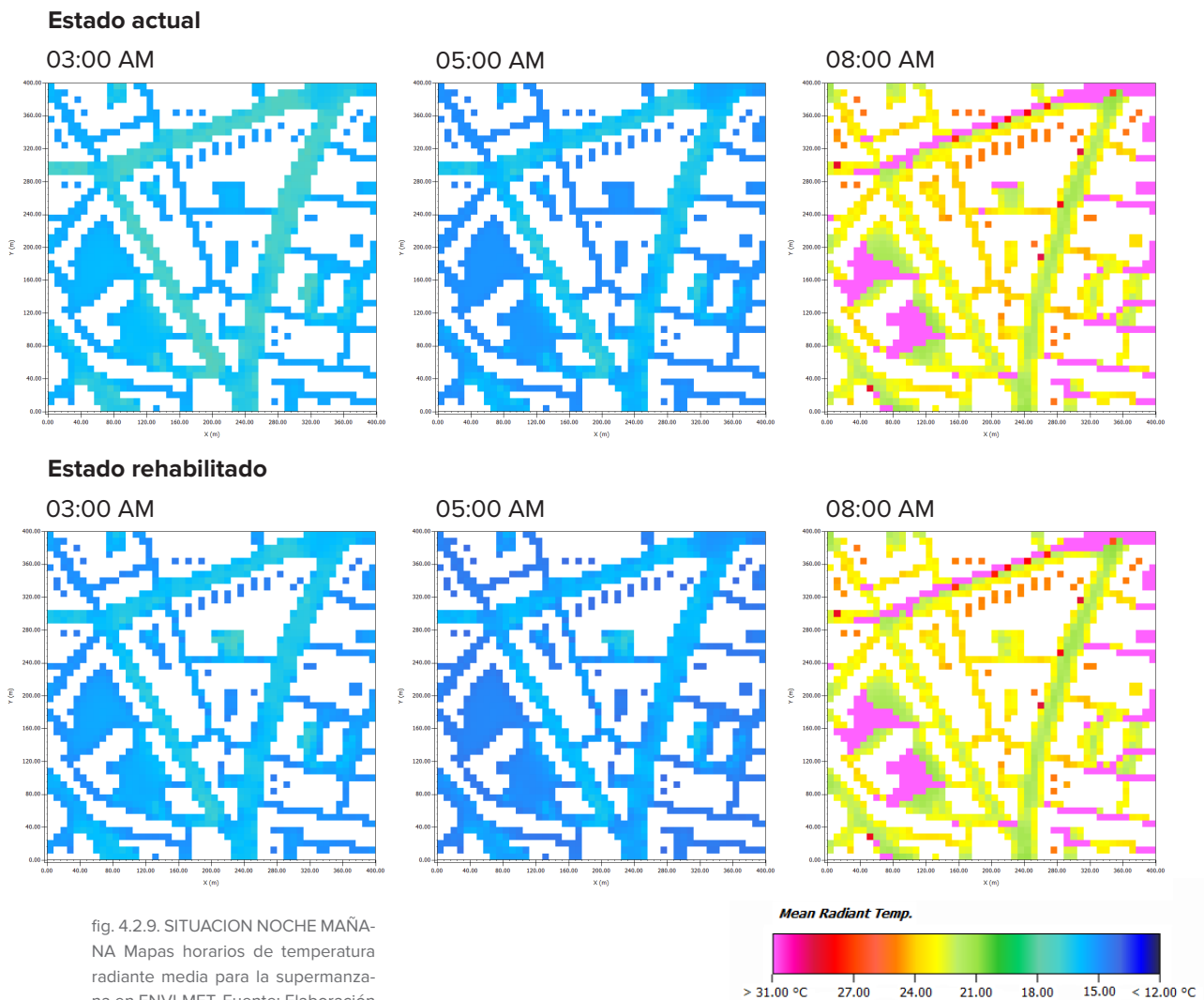


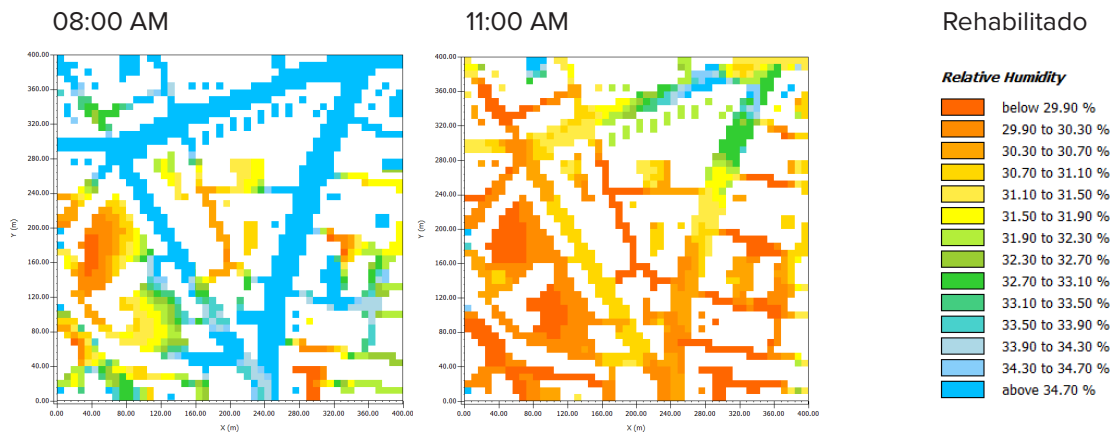
fig. 4.2.9. SITUACION NOCHE MAÑANA Mapas horarios de temperatura radiante media para la supermanzana en ENVI-MET. Fuente: Elaboración propia

ción de la radiación de onda larga en zonas abiertas y sin presencia de arbolado. Este último factor, el de la presencia de arbolado, hace que la emisión de esa misma radiación se vea ralentizada durante la noche e impide que se produzca un efecto de “isla fría”. Esto es apreciable en las calles que rodean la supermanzana, que aun contando con anchos de 30 metros como la calle de Bravo Murillo, el consolidado arbolado viario hace que la temperatura superficial sea hasta 2,5°C superior comparado con otras zonas colindantes abiertas.

La rehabilitación con más arbolado supone por tanto temperaturas radiantes nocturnas superiores, sobretudo en las parcelas reconvertidas en zona verde donde aumentan hasta 1,5°C al final de la noche, siendo el aumento menor en las calles interiores.

Humedad relativa

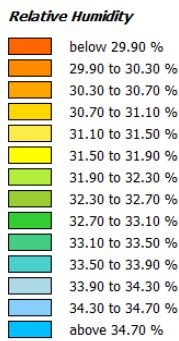
Respecto a la humedad relativa, el único condicionante decisivo es la presencia de vegetación y suelos permeables, que gracias a la evapotranspiración durante el día liberan aportes de agua a la atmosfera en forma de vapor, reduciendo así la temperatura mediante enfriamiento adiabático. Así es cómo se refleja en los mapas del ámbito, siendo las calles perimetrales con



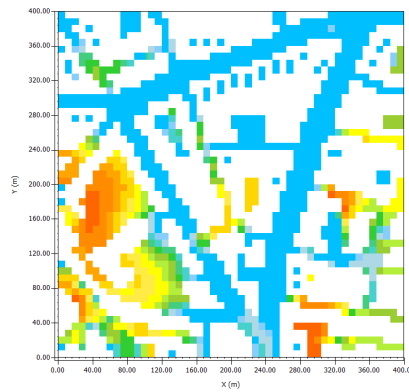
arbolado y pequeños jardines los que presentan mayores porcentajes de humedad relativa. En el interior de la supermanzana las condiciones son desfavorables y tras la rehabilitación se alcanzan mejoras sensibles: durante la mañana el aumento de humedad

fig. 4.2.10. SITUACION MAÑANA
Mapas horarios de humedad relativa situación para la supermanzana en ENVI-MET. Fuente: Elaboración propia

Rehabilitado



08:00 AM



11:00 AM

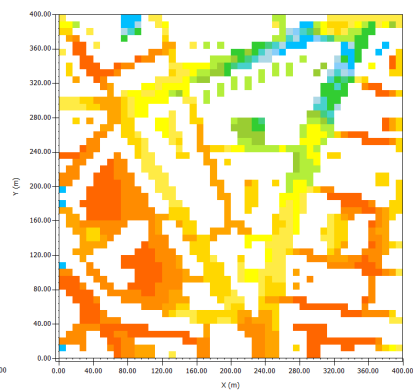
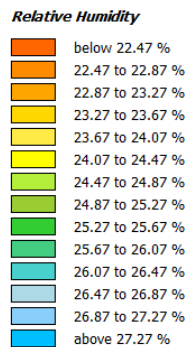


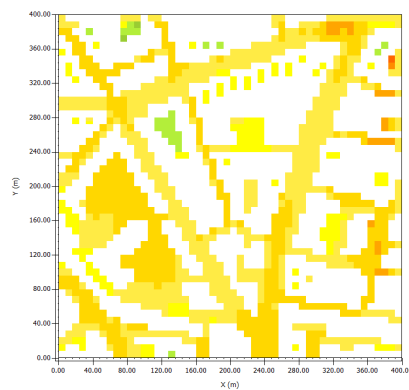
fig. 4.2.11. SITUACION MAÑANA
Mapas horarios de humedad relativa situación para la supermanzana en ENVI-MET. Fuente: Elaboración propia

es significativo en las nuevas zonas verdes, habiendo aumentos puntuales de más de 3 puntos porcentuales (fig. 4.2.10. y fig. 4.2.11.). Con el paso de las horas, y al igual que ocurre con la temperatura del aire y la temperatura radiante media, el gradiente de humedad entre las zonas con mayor presencia de vegetación y las más sobrecalentadas disminuye (fig. 4.2.12.).

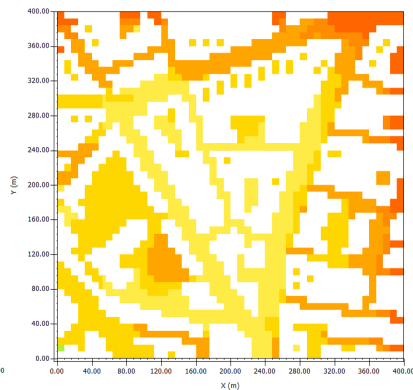
Actual



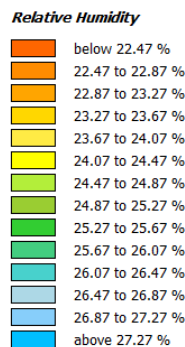
14:00 PM



17:00 PM



Rehabilitado



14:00 PM

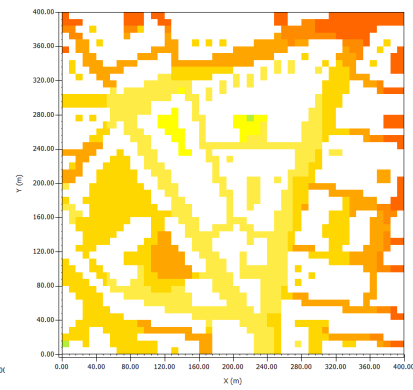
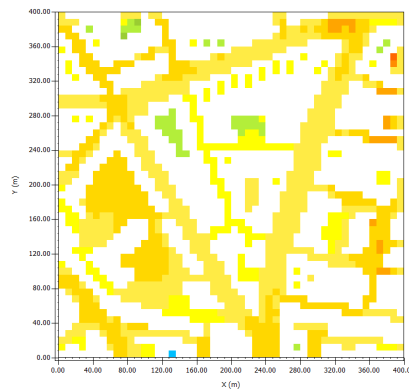


fig. 4.2.12. SITUACION MEDIODIA-TARDE.
Mapas horarios de humedad relativa para la supermanzana en ENVI-MET. Fuente: Elaboración propia

Como ya se ha comentado antes, tras la puesta de sol la evapotranspiración de las plantas se detiene, por lo

que ahora estas solo absorben parte de la radiación de onda larga emitida por el entorno construido circundante. Aun sabiendo que el arbolado tiende a ralentizar esa emisión de radiación de onda larga a la atmósfera durante la noche, este factor no es perceptible en los mapas nocturnos de humedad relativa al igual que tampoco lo es en los de temperatura del aire. Esto solo puede explicarse a que los beneficios que conlleva la presencia de arbolado en términos de enfriamiento adiabático durante el día, lo son también para la situación nocturna, ya que son las áreas vegetadas las que presentan mayores porcentajes de humedad relativa.

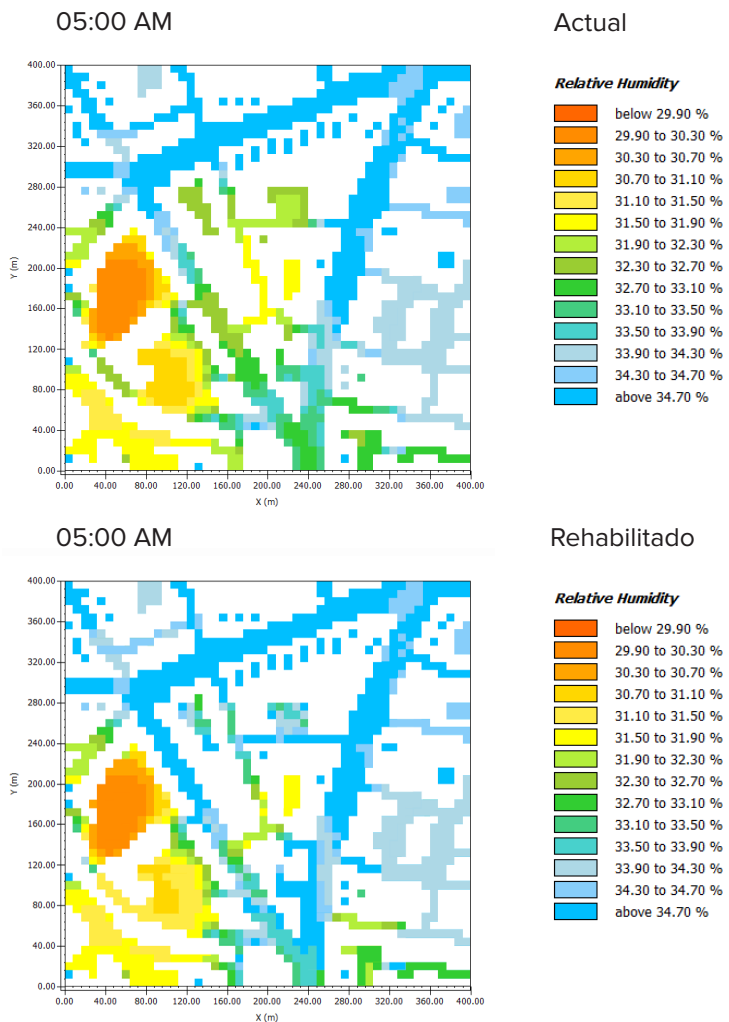


fig. 4.2.13. SITUACION NOCHE
Mapas horarios de humedad relativa
situación para la supermanzana
en ENVI-MET. Fuente: Elaboración
propia

4.3. Comentario de los resultados

Tras la simulación se ha podido comprobar cómo las estrategias planteadas dentro de la propuesta de rehabilitación han supuesto una mejora sensible del confort térmico en el interior de la supermanzana. Las mejoras más perceptibles se dan en las parcelas vacías reconvertidas en zona verde, especialmente las situadas en la Calle de Mariano Fernandez y Calle de Bravo Murillo, las cuales se ven también beneficiadas por los efectos del frescor proveniente de estas zonas verdes. El nuevo arbolado mejora las condiciones tanto diurnas como nocturnas de las calles interiores, y en menor medida lo hacen el aumento del albedo en superficie.

En función de los diferentes momentos del día, se observa cómo las estrategias de mitigación son más eficaces desde las últimas horas de la madrugada hasta aproximadamente las dos de la tarde, consiguiendo prolongar en torno a una hora más el tiempo que se está dentro del rango de temperaturas que delimitan el área de bienestar (25,82°C - 31,38°C). Así es cómo a las 14:00 se pasa de los 31,8°C de media en el estado actual, a unos 31,3°C en el rehabilitado. Durante la tarde y hasta la medianoche, en cambio, las condiciones siguen siendo desfavorables.

Cierto es que la simulación se corresponde a un día con temperaturas muy elevadas, por lo que habría que estudiar otras situaciones con condiciones menos extremas para comprobar si el comportamiento de los parámetros estudiados sigue esa misma tendencia. También señalar que las mejoras son sensibles tan solo en el interior de la supermanzana, sin trasladarse más allá de su perímetro. Sería necesario estudiar si este comportamiento cambiaría o no, en el caso de que se rehabilitaran varios grupos de supermanzana.

Por otro lado, en el caso de Berruguete la consolidación y densidad de su tejido urbano limitan las posibi-

lidades de intervenir en él principalmente por el poco espacio libre existente. También se ha comprobado que la introducción de vegetación es fundamental, aun siendo los espacios verdes de reducido tamaño. Sería necesario contemplar la posibilidad de agrandar esos espacios o unirlos mediante ejes verdes para conseguir un efecto de enfriamiento más efectivo, y contribuir así también a una reducción de la isla de calor urbana a una escala mayor. La infraestructura verde que se plantea en el Proyecto Madrid Centro tiene el potencial de cubrir estas necesidades.

Respecto a las soluciones de fachada, dada la heterogeneidad de materiales y acabados superficiales, no se aprecian variaciones en ninguna zona concreta del ámbito estudiado que tengan efectos en la temperatura del aire o radiante.

Conclusiones

El principal objetivo del presente trabajo es responder a la siguiente cuestión: ¿es la supermanzana un modelo de ordenación urbano favorable para implementar soluciones bioclimáticas efectivas que ayuden a mitigar los efectos de la isla de calor urbana?

La primera de las conclusiones a las que se ha llegado es que en la práctica, la puesta en marcha de este modelo urbanístico en centros urbanos consolidados y heterogéneos como es el caso de Madrid, trae consigo ventajas o limitaciones dependiendo del tipo de tejido urbano y equipamientos existentes.

La densidad del tejido urbano supone el mayor condicionante a la hora de plantear una rehabilitación bioclimática como la que se ha propuesto, además de que se puedan alcanzar o no los objetivos ecosistémicos estudiados. En este sentido, unas proporciones ancho/alto de calle inferiores a 0,6 presentan limitaciones en relación a la disponibilidad de espacio en la calle, lo cual hace inviable que se alcancen mínimos de espacio de uso público o zona verde por habitante entre otros. Valores recomendados como el número de árboles por habitante o que los residentes tengan acceso a espacios verdes superiores a 1000 m² y a menos de 300 metros, son también en algunos casos inasumibles para la propia supermanzana, habiendo que considerar unidades urbanas mayores como puede ser la de barrio, que cuenten con espacios públicos o zonas desocupadas que posibiliten equilibrar y alcanzar esos mínimos ecosistémicos. Por lo tanto, la existencia de equipamientos como parques o espacios libres dentro de la supermanzana favorece el cumplimiento de dichos objetivos.

En el caso de la rehabilitación propuesta, se han logrado mejoras significativas en la mayoría de los índices ecosistémicos, aunque solo en uno de ellos se alcanzan los valores mínimos deseables, precisamente por estos dos factores enunciados. Estas mejoras se han conseguido en gran parte gracias a la reconversión de solares vacíos, lo cual ha resultado ser el principal atractivo para la implementación de soluciones bioclimáticas de verano. La posibilidad de agrupar masas arbóreas y vegetación de diferentes tipos en estos espacios, ha favorecido la aparición de focos fríos dentro de la supermanzana, los cuales han contribuido incluso al enfriamiento de las calles anexas. Es por esto por lo que se ha determinado que en aquellas supermanzanas donde los anchos de calle sean inferiores a 9 metros o en las que la introducción de arbolado y vegetación se vea limitada tanto por espacio como por los propios usos de la calle, la existencia de vacíos urbanos como solares son un factor todavía más determinante para conseguir reducir ese estrés por calor en los meses sobrecalentados.

También se ha concluido que las zonas destinadas a estacionamiento de vehículos y parte de la calzada son ahora el espacio de la calle que más oportunidades ofrece al ser estas liberadas por completo, y en el caso de que se planteara la colocación de arbolado viario, la mayor distancia de estas respecto a fachadas favorece unas mejores condiciones para su crecimiento y desarrollo. Además, dada la baja intensidad de paso de vehículos y la limitación de velocidad en intervías hace posible que el asfalto de la propia calzada pueda sustituirse por pavimentos más porosos y permeables, y que por contra en condiciones normales de volumen de tráfico sería desaconsejable su colocación.

Dada la complejidad urbana y los múltiples factores que contribuyen a la aparición de la isla de calor urbana, tanto los principios ecosistémicos como las estrategias bioclimáticas son un punto de partida sólido para acometer intervenciones que permitan mejorar las condiciones ambientales y de habitabilidad urbana. La supermanzana como soporte para el estudio de la ICU, podríamos considerarla como una unidad urbana representativa del comportamiento y las dinámicas que puede experimentar el clima urbano a pequeña escala.

Tras los resultados obtenidos en ENVI-MET, se ha establecido una relación entre el gradiente de temperaturas mostrado en los mapas y la presencia de la isla de frescor diurna e isla de calor nocturna: durante las horas centrales del día (12:00 - 17:00), momento en el que se produce esa isla de frescor en la ciudad, los mapas presentan mayores gradientes térmicos, mientras que a partir de las 18:00 hasta pasada la medianoche, esos gradientes de temperatura se ven reducidos, coincidiendo con las horas donde más se intensifica la isla de calor. Por tanto, se ha comprobado que la evolución de las variables de confort térmico en el ámbito de estudio se ajustan a la dinámica de la isla de calor a escala urbana.

Tras la rehabilitación se ha constatado que las estrategias bioclimáticas planteadas han supuesto una mejora sensible del confort térmico desde las últimas horas de la madrugada hasta las dos del mediodía aproximadamente. Entre las cinco y las ocho de la mañana, correspondiéndose con el momento del día donde se dan las temperaturas mínimas, se produce una reducción de hasta casi 2°C en la temperatura del aire. Dado que la isla de calor es un fenómeno fundamentalmente nocturno, esta mejora es muy significativa para el confort térmico tanto para el espacio urbano como para las propias viviendas, al incrementarse el enfriamiento necesario para reducir el estrés por calor. También lo es si tenemos en cuenta el día escogido para la simulación, donde las condiciones son muy desfavorables al no bajar la temperatura mínima de los 24°C. Además es destacable la mejora de

las condiciones durante la mañana y hasta el mediodía, con unas reducciones de hasta 0,5 °C.

Con estos datos se concluye que la supermanzana cumple la condición de refugio climático. El factor más determinante para alcanzar este objetivo ha sido la introducción de verde urbano y más especialmente en las zonas con suelos permeables, mientras que el aumento del albedo en la superficie de la calle, no parece haber tenido repercusiones significativas.

No obstante, se considera imprescindible estudiar cómo afectarían las actuaciones planteadas si se aplicaran a varios grupos de supermanzana, ya que potencialmente esto puede contribuir a un mayor incremento del enfriamiento. También se considera que factores externos como la presencia de parques urbanos o corredores verdes en las inmediaciones son fundamentales para la consecución de refugios climáticos más efectivos.

Fuentes bibliográficas

_ Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, 2018. “Carta Para La Planificación Ecosistémica De Las Ciudades”. Páginas 3-57.

Obtenido desde: https://etsav.upc.edu/ca/shared/cat/carta-para-la-planificacion-ecosistemica-de-las-ciudades_con-anexos_junio-2018-1.pdf

_ Ayuntamiento de Madrid. “Fichas arbolado viario por barrios“.

Disponible desde: <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Medio-ambiente/Parques-y-jardines/Fichas-arbolado-viario-por-barrios/?vgnnextfmt=default&vgnextoid=4f24055c27634610VgnVCM2000001f4a900aRCRD&vgnnextchannel=2ba279ed268fe410VgnVCM1000000b205a0aRCRD>

_ Ayuntamiento de Madrid, 2017. “Plan de Calidad Del Aire y Cambio Climático. Plan A.” Disponible desde: <https://transparencia.madrid.es/portales/transparencia/es/Transparencia-por-sectores/Medio-ambiente/Aire/Plan-de-calidad-del-aire-y-cambio-climatico-Plan-A-2017-2020/?vgnnextfmt=default&vgnextoid=fab664457127f510VgnVCM1000001d4a900aRCRD&vgnnextchannel=33d9508929a56510VgnVCM1000008a4a900aRCRD>

_ Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, 2019. “PLAN DE MOVILIDAD SOSTENIBLE Y ESPACIO PÚBLICO DE VITORIA-GASTEIZ (2020-2030)”.

Disponible desde: https://www.vitoria-gasteiz.org/http/wb021/contenidosEstaticos/especial/cea/20190917/Avance_PMSEP_2020_2030.pdf

_ CUESTA NAVARRO, Juncal, 2020. “Caraterización de la isla de calor (ICU) mediante el uso de imágenes obtenidas por satélite, procesadas mediante software de código abierto QGIS. Aplicación al caso de Valencia”, 2020. Página 14.

Obtenido desde: [https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/147986/Cuesta%20-%20Caracterización%20de%20la%20Isla%20de%20Calor%20Urbana%20\(ICU\)%20mediante%20el%20uso%20de%20imágenes%20obtenidas%20p...pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/147986/Cuesta%20-%20Caracterización%20de%20la%20Isla%20de%20Calor%20Urbana%20(ICU)%20mediante%20el%20uso%20de%20imágenes%20obtenidas%20p...pdf?sequence=2&isAllowed=y)

_ DOICK, K., HUTCHINGS, T.R., 2013. “Air Temperature Regulation by Urban Trees and Green Infrastructure”. (Research note)

Obtenido desde: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Air%20Temperature%20Regulation%20by%20Urban%20Trees%20and%20Green%20Infrastructure&author=K.%20Doick&publication_year=2013

_ DOICK, K.J., PEACE, A., HUTCHINGS, T.R., 2014. “The role of one large greenspace in mitigating London’s nocturnal urban heat island”. Páginas 662–671.

Obtenido desde: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969714009036>

_ FERNÁNDEZ GARCÍA, Felipe; ALLENDE ÁLVAREZ, Fernando, RASILLA ÁLVAREZ, Domingo, MARTILLI, Alberto, ALCAIDE MUÑOZ, Jorge, 2016. “Estudio de Detalle del Clima Urbano de Madrid”. Obtenido desde: <https://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/Sostenibilidad/EspeInf/EnergiayCC/04CambioClimatico/4cEstuClimaUrb/Ficheros/EstuClimaUrbaMadWeb2016.pdf>

_ HERNÁNDEZ, Agustín (coord.). Manual de diseño bioclimático urbano. Recomendaciones para la elaboración de normativas urbanísticas. Redacción: José FARIÑA, Victoria FERNÁNDEZ, Miguel Ángel GÁLVEZ, Agustín HERNÁNDEZ y Nagore URRUTIA. Colaboradoras: Carolina ASTORGA e Itxaso CEBERIO. Coordinación editorial y traducción al portugués: Artur GONÇALVES, Antonio CASTRO y Manuel FELICIANO. Bragança [Portugal]: Instituto Politécnico de Bragança, 2013. ISBN: 978-972-745-157-9

_ Instituto Eduardo Torroja. “CATÁLOGO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL CTE”, [CAT-EC v6.3 (MARZO10)]. Disponible desde: http://www.anape.es/pdf/Catalogo%20de%20Elementos%20Constructivos%20CAT-EC-v06.3_marzo_10.pdf.

_ KARIMI, A., SANAEIAN, H., FARHADI, H., NOROUZIAN-MALEKI, S. “Evaluation of the Thermal Indices and Thermal Comfort Improvement by Different Vegetation Species and Materials in a Medium-Sized Urban Park”. 2020. Obtenido desde: https://www.researchgate.net/publication/342532476_Evaluation_of_the_thermal_indices_and_thermal_comfort_improvement_by_different_vegetation_species_and_materials_in_a_medium-sized_urban_park.

_ MARTILLI, Alberto. “Modelización de los efectos urbanos en modelos meteorológicos”, 2010. Página 26-27. Obtenido desde: https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/2566/1/TyC_2006_12_03.pdf

_ MARTÍNEZ MARTÍNEZ, Jorge, 2014. “Estudio de la isla de calor de Alicante”. Página: 14, 85-86. Obtenido desde: <http://www.cervantesvirtual.com/obra/estudio-de-la-isla-de-calor-de-la-ciudad-de-alicante/>

_ MEDINA, Miguel Ángel; ZAFRA, Mariano; VICENTE LÓPEZ, Jacob, 2020. “Supermanzanas, o cómo devolver al peatón la ciudad robada por los coches”. Obtenido desde: <https://elpais.com/sociedad/2020-06-27/supermanzanas-o-como-devolver-al-peaton-la-ciudad-robada-por-los-coches.html>

_ Ministerio de Fomento, 2019. “Agenda Urbana Española 2019”. Páginas 12-16. Obtenido desde: <https://apps.fomento.gob.es/CVP/detallepublicacion.aspx?idpub=BAW061>

_ MORAN, Mirtha, 2020. "Ciudades Sostenibles". Disponible desde: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>

_ NÚÑEZ PEIRÓ, M., SÁNCHEZ-GUEVARA SÁNCHEZ, C., & NEILA GONZÁLEZ, F.J. (2017). Update of the Urban Heat Island of Madrid and Its Influence on the Building's Energy Simulation. In P. Mercader-Moyano (Ed.), Sustainable Development and Renovation in Architecture, Urbanism and Engineering (pp. 339-350). Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-51442-0_28
Obtenido desde: https://www.ingebok.com/ib/NPcd/IB_BooksVis?cod_primaria=1000187&codigo_libro=9214

_OTERO CARVAJAL, Enrique, "Sociedad y espacio urbano de Madrid en el siglo XX", 2010. Páginas 10-33. Disponible desde: https://www.madrid.es/Unidades-Descentralizadas/MuseosMunicipales/MuseoDeHistoriaDeMadrid/EspecialInformativo/05_Publicaciones/ConferenciasArquitectura/SociYEsp.UrbanoSigloXX.pdf

_ Proyecto Madrid Centro (PMC) | Estudio Herreros.
Disponible desde: <http://estudioherrerros.com/project/proyecto-madrid-centro/>

_ RUEDA, Salvador, 2016. "La supermanzana, nueva célula urbana para la construcción de un nuevo modelo funcional y urbanístico de Barcelona". Páginas 2-7.
Obtenido desde: http://www.bcnecologia.es/sites/default/files/proyectos/la_supermanzana_nueva_celula_poblenou_salvador_rueda.pdf

Procedencia de las figuras

1. El reto de la sostenibilidad urbana

_ 1.1. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2018/07/S_SDG-goals_icons-individual-rgb-11.png

1.1 Urbanismo Ecosistémico

_ 1.1.1. <https://recyt.fecyt.es/index.php/CyTET/article/download/77733/49398/258067>

_ 1.1.2. Elaboración propia

_ 1.1.3. Obtenida desde: “La supermanzana, nueva célula urbana para la construcción de un nuevo modelo funcional y urbanístico de Barcelona”. Página 27

_ 1.1.4. <https://equipo11calidaddelaire.files.wordpress.com/2012/12/semaforo.png>

_ 1.1.5. Obtenida desde “Plan Clima BCN 2018-2030”. Página 9

_ 1.1.6. <https://recyt.fecyt.es/index.php/CyTET/article/download/77733/49398/258068>

1.2 La Supermanzana

_ 1.2.1. <https://elpais.com/sociedad/2020-06-27/supermanzanas-o-como-devolver-al-peaton-la-ciudad-robada-por-los-coches.html>

_ 1.2.2. Elaboración propia

_ 1.2.3. http://estudioherrerros.com/website/wp-content/uploads/2010/08/HA_PMC_08-1.jpg

_ 1.2.4. http://estudioherrerros.com/website/wp-content/uploads/2010/08/HA_PMC_08-1.jpg

_ 1.2.5. Obtenida desde “La supermanzana, nueva célula urbana para la construcción de un nuevo modelo funcional y urbanístico de Barcelona”. Página 1

_ 1.2.6. Obtenida desde “Un nuevo modelo de movilidad y espacio público en Barcelona, basado en Supermanzanas”, BCNecología. Página 21

_ 1.2.7. Obtenida desde “Un nuevo modelo de movilidad y espacio público en Barcelona, basado en Supermanzanas”, BCNecología. Página 10

_ 1.2.8. http://delriobani.com/wp-content/uploads/2019/09/GDR_2019_Leku_Superilla_01.jpg

_ 1.2.9. http://delriobani.com/wp-content/uploads/2019/09/GDR_2019_Leku_Superilla_m2.jpg

_ 1.2.10. http://estudioherrereros.com/website/wp-content/uploads/2010/08/HA_PMC_07-1.jpg

2. La isla de calor urbana

2.1 Definición y características

_ 2.1.1. Obtenida desde: “ISLA DE CALOR, CLIMA URBANO Y CONSUMO ENERGÉTICO DE LOS EDIFICIOS. PROYECTO MODIFICA”. Página 57

_ 2.1.2. Obtenida desde: “Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity”. Página 1 042

_ 2.1.3. <https://www.theguardian.com/sustainable-business/2017/feb/21/urban-heat-islands-cooling-things-down-with-trees-green-roads-and-fewer-cars>

_ 2.1.4. <https://www.mundocoches.info/beijing-cerrada-al-trafico-por-alta-contaminacion/>

_ 2.1.5. Obtenida desde: “Manual de diseño bioclimático urbano. Recomendaciones para la elaboración de normativas urbanísticas”. Página 113

_ 2.1.6. <https://www.hindawi.com/journals/amete/2013/749270/>

2.2 Estrategias de mitigación bioclimática

_ 2.2.1. Obtenida desde: “Manual de diseño bioclimático urbano. Recomendaciones para la elaboración de normativas urbanísticas”. Página 79

_ 2.2.2. Obtenida desde: “Manual de diseño bioclimático urbano. Recomendaciones para la elaboración de normativas urbanísticas”. Página 86

_ 2.2.3. <https://www.archdaily.mx/mx/625586/paisaje-y-arquitectura-remodelacion-del-paseo-de-st-joan-un-nuevo-corredor-verde-urbano-por-lola-domenech/53ef9695c07a800962000367>

_ 2.2.4. Obtenida desde: “Manual de diseño bioclimático urbano. Recomendaciones para la elaboración de normativas urbanísticas”. Página 112

_ 2.2.5. Obtenida desde: “Manual de diseño bioclimático urbano. Recomendaciones para la elaboración de normativas urbanísticas”. Página 125

_ 2.2.6. Obtenida desde: “Manual de diseño bioclimático urbano. Recomendaciones para la elaboración de normativas urbanísticas”. Página 123

_ 2.2.7. Obtenida desde: “Manual de diseño bioclimático urbano. Recomendaciones para la elaboración de normativas urbanísticas”. Página 130

3. Escenario de estudio: Madrid

3.1. Incidencia de la ICU. Origen y condicionantes

_ 3.1.1. Obtenida desde: “ISLA DE CALOR, CLIMA URBANO Y CONSUMO ENERGÉTICO DE LOS EDIFICIOS. PROYECTO MODIFICA”. Página 54-55

_ 3.1.2 Obtenida desde: “Plan de Calidad del Aire y Cambio Climático. Plan A”.
Página 18

_ 3.1.3. Obtenida desde: “Estudio de detalle del clima urbano de Madrid”. Pag. 49

_ 3.1.4. Obtenida desde: “Estudio de detalle del clima urbano de Madrid”. Pag. 42

_ 3.1.5. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/59267/Nu%F1ez%20Peiro,%20Miguel.pdf;jsessionid=AA367F8F36BC7F2F0023AAD6F5BC704D?sequence=1>

_ 3.1.6. Obtenida desde: “ISLA DE CALOR, CLIMA URBANO Y CONSUMO ENERGÉTICO DE LOS EDIFICIOS. PROYECTO MODIFICA”. Página 37

_ 3.1.7. Obtenida desde: “ISLA DE CALOR, CLIMA URBANO Y CONSUMO ENERGÉTICO DE LOS EDIFICIOS. PROYECTO MODIFICA”. Página 45

_ 3.1.8. Obtenida desde: “ISLA DE CALOR, CLIMA URBANO Y CONSUMO ENERGÉTICO DE LOS EDIFICIOS. PROYECTO MODIFICA”. Página 42

3.2. Selección de la supermanzana

_ 3.2.1. Obtenida desde: “Estudio de detalle del clima urbano de Madrid”. Pag. 61

_ 3.2.2. Elaboración propia

_ 3.2.3. Obtenida desde: “Estudio de detalle del clima urbano de Madrid”. Pag. 86

_ 3.2.4. “ISLA DE CALOR, CLIMA URBANO Y CONSUMO ENERGÉTICO DE LOS EDIFICIOS. PROYECTO MODIFICA”. Página 43

_ 3.2.5. Elaboración propia

_ 3.2.6. Elaboración propia

3.3. Análisis, diagnóstico de la supermanzana

_ 3.3.1. Elaboración propia

_ 3.3.2. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Calle_de_Bravo_Murillo_\(Madrid\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Calle_de_Bravo_Murillo_(Madrid).jpg)

_ 3.3.3. <https://gaceticinmadrid.com/2016/11/30/el-psoe-de-tetuan-propondra-peatonalizar-francos-rodriguez-en-su-tramo-entre-lope-de-haro-y-bravo-murillo/>

_ 3.3.4. Obtenido desde: <https://www.google.es/maps>

_ 3.3.5 Elaboración propia

_ 3.3.6 Elaboración propia

_ 3.3.7 Elaboración propia

_ 3.3.8 Elaboración propia

_ 3.3.9 Elaboración propia

_ 3.3.10 Elaboración propia

_ 3.3.11 Elaboración propia

_ 3.3.12 Elaboración propia

_ 3.3.13. Elaboración propia

3.4. *Propuesta de rehabilitación*

_ 3.4.6. <https://www.arbolesornamentales.es/Meliaazederach.htm>

_ 3.4.7. <https://www.arbolesornamentales.es/Platanushispanica.htm>

_ 3.4.8. y 3.4.9. <https://tectonica.archi/articles/pavimento-ceramico-permeable-como-solucion-de-drenaje-sostenible/>

Imágenes de la lámina de la propuesta

_ 1. <https://www.greenroofs.com/wp-content/uploads/2020/02/content-Steven-Cantor-HighLineWalk.jpg>

_ 2. <https://previews.123rf.com/images/ratru/ratru1112/ratru111200020/11480350-estacionamiento-ecológico-para-automóviles-y-una-hierba-verde.jpg>

_ 3. https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/91Aviem6x5L._AC_SL1500_.jpg

_ 4. https://static.dezeen.com/uploads/2013/09/dezeen_oasis-of-aboukir-Patrick-White_ss_2.jpg

_ 5. <https://i.pinimg.com/originals/2e/4d/4a/2e4d4a458f7c2512380654b99622038a.jpg>

4. La isla de calor urbana

4.1. Metodología del software ENVI-MET

- _ 4.1.1. Obtenida desde: ENVI-MET
- _ 4.1.2. Elaboración propia
- _ 4.1.3. Elaboración propia
- _ 4.1.4. Elaboración propia
- _ 4.1.5. Elaboración propia
- _ 4.1.6. Elaboración propia
- _ 4.1.7. Elaboración propia
- _ 4.1.8. Elaboración propia
- _ 4.1.9. Elaboración propia con datos del Proyecto MODIFICA

4.2. Evaluación y comparativa de la simulación

- _ 4.2.1. Elaboración propia
- _ 4.2.2. Elaboración propia
- _ 4.2.3. Elaboración propia
- _ 4.2.4. Elaboración propia
- _ 4.2.5. Elaboración propia
- _ 4.2.6. Elaboración propia
- _ 4.2.7. Elaboración propia
- _ 4.2.8. Elaboración propia
- _ 4.2.9. Elaboración propia
- _ 4.2.10. Elaboración propia
- _ 4.2.11. Elaboración propia
- _ 4.2.12. Elaboración propia
- _ 4.2.13. Elaboración propia