



Convenio entre el Ayuntamiento de Madrid y la Universidad Politécnica de Madrid para acciones de innovación climática urbana en áreas de oportunidad en el marco de la misión europea de ciudades climáticamente neutras e inteligentes

Caracterización climática del Campus Sur y el ámbito del Proyecto ZBE “Intervención en entornos educativos y campus universitarios en Puente y Villa de Vallecas

Volumen II.

Documento final

Septiembre de 2025

Equipo de trabajo que firma el documento: Miguel Núñez Peiró, profesor ayudante doctor (ETSAM UPM) · Carmen Sánchez-Guevara Sánchez, profesora contratada doctora (ETSAM UPM) · Sofía Lado Masson, investigadora (ETSAM UPM) · Patricia San Nicolás Vargas (ETSAM UPM) · Erwin Rodríguez Pavón (ETSAM UPM)

Créditos:

Dirección y coordinación técnica:

José de Frutos Vaquerizo, *Investigador principal. Catedrático E.T.S.I.T*

Agustín Hernández Aja, *Investigador principal. Catedrático emérito ETSAM*

Ana Díez Bermejo, *Doctora Arquitecta. Vicerrectorado de Infraestructuras y Sostenibilidad.*

Equipo de trabajo “Caracterización climática del Campus Sur y el ámbito del Proyecto ZBE”

Beatriz Arranz Arranz, *contratada doctora ETSAM*

Raquel Burgos Bayo, *investigadora ETSAM*

Gloria Gómez Muñoz, *contratada doctora ETSAM*

Sofía Lado, *investigadora ETSAM*

Miguel Núñez Peiró, *ayudante doctor ETSAM*

Erwin Rodríguez Pabón, *investigador ETSAM*

Carmen Sánchez-Guevara, *contratada doctora ETSAM*

Patricia San Nicolas Vargas, *investigadora ETSAM*

Equipo de trabajo “Edificación y propuestas de intervención del Campus Sur”

Beatriz Arranz Arranz, *contratada doctora ETSAM*

Raquel Burgos Bayo, *investigadora ETSAM*

Gloria Gómez Muñoz, *contratada doctora ETSAM*

Sofía Lado, *investigadora ETSAM*

Miguel Núñez Peiró, *ayudante doctor ETSAM*

Erwin Rodríguez Pabón, *investigador ETSAM*

Carmen Sánchez-Guevara, *contratada doctora ETSAM*

Patricia San Nicolas Vargas, *investigadora ETSAM*

Equipo de trabajo “Renaturalización del ámbito de Campus Sur y su entorno”

Ana Macías Palomo, *doctora ingeniera de montes. Grupo de Urban Forestry UPM*

Sonia Roig Gómez, *titular E.T.S.I. Montes, Forestal y del Medio Natural*

Juanma Rubiales Jiménez, *titular E.T.S.I. Montes, Forestal y del Medio Natural*

Equipo de trabajo “Enclave urbanístico del ámbito de Campus Sur y su entorno”

Lucas Álvarez del Valle, *investigador UPM*

Cristina Fernández Ramírez, *profesora asociada ETSAM*

José Manuel Gómez Giménez, *ayudante Doctor ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía*

Raquel Rodríguez Alonso, *ayudante doctora ETSAM*

Iván Rodríguez Suárez, *ayudante Doctor ETSAM*

Equipo de trabajo “Participación y jornadas de presentación”

José Manuel Gómez Giménez, *ayudante Doctor ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía*

Ángela Matesanz Parellada, *ayudante doctora ETSAM*

Coordinación de los equipos de trabajo y elaboración del documento de síntesis

Cristina Fernández Ramírez, *profesora asociada ETSAM*

Raquel Rodríguez Alonso, *ayudante doctora ETSAM*

Iván Rodríguez Suárez, *ayudante Doctor ETSAM*

El trabajo se está realizando dentro del CONVENIO ENTRE EL AYUNTAMIENTO DE MADRID Y LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID PARA ACCIONES DE INNOVACIÓN CLIMÁTICA URBANA EN EL MARCO DE LA MISIÓN EUROPEA DE CIUDADES CLIMÁTICAMENTE NEUTRAS E INTELIGENTES, que se inició en septiembre de 2024 y finalizará en septiembre de 2025.

Por parte del Excmo. Ayuntamiento de Madrid, la coordinación del convenio corrió a cargo de (comprobar con el ayuntamiento):

Juan Azcárate Luxan, *Subdirector General de Energía y Cambio Climático. Área de Gobierno de Urbanismo, Medio Ambiente y Movilidad*

Irene García García. *Jefa de Servicio de Cambio Climático, Área de Gobierno de Urbanismo, Medio Ambiente y Movilidad*

Antonio Sendín Vinagre. *Ingeniero Industrial. SG. Energía y Cambio Climático. DG. Sostenibilidad y Control Ambiental. Área de Gobierno de Urbanismo, Medio Ambiente y Movilidad*

Lucía de la Fuente Crespo, *Técnica de Comunicación. SG. Energía y Cambio Climático. DG. Sostenibilidad y Control Ambiental. Área de Gobierno de Urbanismo, Medio Ambiente y Movilidad*

El desarrollo del convenio se realiza vinculado al Vicerrectorado de Infraestructuras y Sostenibilidad de la Universidad Politécnica de Madrid, siendo su vicerrectora María Isabel Mas López.

Índice

1	Antecedentes.....	9
1.1	Antecedentes de análisis del clima urbano de la ciudad de Madrid.....	9
1.1.1.	Estudios previos de calor urbano para el municipio de Madrid.....	9
1.2	Los campus universitarios como potenciales refugios climáticos.....	11
1.2.1.	Estrategia general para la mejora del comportamiento bioclimático de espacios de mayor interés para la ciudadanía.....	11
1.2.2.	Definición de refugios climáticos.....	12
1.2.3.	Los centros universitarios públicos en Madrid.....	14
1.2.4.	Conclusiones de antecedentes de análisis del clima urbano:	15
2	Análisis del comportamiento térmico de Campus Sur en relación con su entorno urbano.....	16
2.1	Definición del área de estudio del contexto climático local de Campus Sur.....	16
2.2	Análisis del contexto socioeconómico y urbano	17
2.2.1.	Equipamientos, dotaciones y edificios de uso público.....	19
2.2.2.	Barreras arquitectónicas - acceso peatonal	20
2.3	Metodología para el estudio de la severidad climática en Campus Sur	20
2.3.1.	Recolección y descarga de datos	21
2.3.2.	Control de calidad de los datos	21
2.3.3.	Cálculo de la severidad climática.....	25
2.3.4.	Generación de mapas.....	25
2.4	Mapas de distribución de severidad climática.....	26
2.4.1.	Severidad climática de verano nocturna.....	26
2.4.2.	Severidad climática de verano diurna	28
2.4.3.	Severidad climática de verano total	30
2.4.4.	Conclusiones del estudio de severidad climática:	32
3	Análisis microclimático de Campus Sur	34
3.1	Análisis cuantitativo del microclima.....	34
3.1.1.	Metodología	34
3.1.2.	Resultados	35
3.1.3.	Conclusiones análisis cuantitativo.....	44
3.2	Análisis cualitativo del microclima	45
3.2.1.	Objetivo	45
3.2.2.	Metodología	45

3.2.3.	Desarrollo y resultados.....	49
3.2.4.	Conclusiones del análisis cualitativo	57
3.3	Conclusiones del estudio microclimático	58
4	Recomendaciones de intervención	60
4.1	Criterios de intervención.....	60
4.1.1	Zonas Estanciales	60
4.1.2	Materialidad a Utilizar	63
4.1.3	Itinerarios Peatonales	64
5	Referencias	66
6	Anexo 1.....	69
6.1.	Mapas de radiación solar	69
6.2.	Mapas de Frecuencia de sombras.....	77
7	Glosario.....	85

Índice de figuras

Figura 1 Selección de mapas de isotermas presentados en el primer estudio sobre la isla de calor en Madrid. Fuente: López Gómez et al. (1988).....	9
Figura 2 Ficha informativa del índice de impacto de la isla de calor en la delimitación de Palomeras Sureste contenido en el Estudio de Detalle del Clima Urbano de Madrid (Fernández García et al., 2016).....	10
Figura 3 Extracto del mapa de isla de calor para 2022 elaborado por COTESA para el Ayuntamiento de Madrid. Emplea tanto información satelital como datos de temperatura ambiente,	11
Figura 4. Relación entre la severidad climática diaria según datos 2019 y los campus universitarios en el Municipio de Madrid. Elaboración propia.....	14
Figura 5. Delimitación del área de análisis del contexto climático local de Campus Sur. Elaboración propia. .	17
Figura 6 . Imagen delimitación de contexto microclimático de Campus Sur UPM.....	18
Figura 7. Equipamientos y dotaciones como potenciales refugios climáticos del contexto microclimático de Campus Sur UPM.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 8. Barreras arquitectónicas para el acceso peatonal del contexto microclimático de Campus Sur UPM.	20
Figura 9. Procedimiento de elaboración de mapas de severidad climática a alta resolución. Elaboración propia.	23
Figura 10. Gráfico explicativo del procedimiento de recolección de datos y control de calidad. Elaboración propia.....	24
Figura 11. Estaciones meteorológicas ciudadanas (CWS) en el contexto climático local de Campus Sur UPM.	25
Figura 12 Mapa de severidad climática nocturna. Análisis de datos del municipio de Madrid medido en deciles. Elaboración propia.....	27
Figura 13 Mapa de severidad climática nocturna. Datos del contexto microclimático medidos en quintiles. Elaboración propia.....	28
Figura 14 Mapa de severidad climática diurna. Análisis de datos del municipio de Madrid medido en deciles. Elaboración propia.....	29
Figura 15 Mapa de severidad climática diurna. Datos del contexto microclimático medidos en quintiles. Elaboración propia.....	30
Figura 16. Mapa de severidad climática total. Análisis de datos del municipio de Madrid medido en deciles. Elaboración propia.....	31
Figura 17. Mapa de severidad climática total. Datos del contexto microclimático medidos en quintiles. Elaboración propia.....	32
Figura 18. Radiación solar para el mes de julio. Los valores indican el promedio diario mensual de radiación solar recibida en las superficies. Elaboración propia.	36
Figura 19. Radiación solar para el mes de septiembre. Los valores indican el promedio diario mensual de radiación solar recibida en las superficies. Elaboración propia.....	37
Figura 20. Frecuencia de sombras para el día 20 de junio 2024 (Solsticio de verano), entre las 10:00 y 19:00 hrs. Elaboración propia.....	39
Figura 21. Vista 3D Frecuencia de sombras para el día 20 de junio 2024 (solsticio de verano), entre las 10:00 y 19:00 hrs. En la imagen de derecha a izquierda: Centro Superior de Diseño de Moda de Madrid (CSDMM); Centro de Informática y Comunicaciones (ETSISI) y Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación (ETSIST). Elaboración propia.	39

Figura 22. Frecuencia de sombras para el día 20 de septiembre 2024, entre las 10:00 y 19:00 hrs. Elaboración propia.....	40
Figura 23. Vista 3D Frecuencia de sombras para el día 20 de septiembre 2024, entre las 10:00 y 19:00 hrs. En la imagen de derecha a izquierda: Centro Superior de Diseño de Moda de Madrid (CSDMM); Centro de Informática y Comunicaciones (ETSISI) y Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación (ETSIST). Elaboración propia.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 24. Mapa de Impermeabilidad de los suelos (2018). Fuente datos: Servicio de Vigilancia terrestre de Copernicus.....	42
Figura 25 Metodología basada en la desarrollada por Torrego-Gómez et al. (2024).....	46
Figura 26 Cartel de invitación colocado en los distintos centros de Campus Sur, y distribuidos a través de correo electrónico y redes sociales. Elaboración propia.....	47
Figura 27 Descripción de los elementos utilizados durante la caracterización espacial. Elaboración propia a partir de Torrego-Gómez et al(2024).	48
Figura 28 Participantes del taller 1 (arriba) y participantes del taller 2 (abajo). Elaboración propia.....	49
Figura 29 Resultados de la sesión de mapeos. izquierda taller 1 y derecha taller 2. Elaboración propia.....	50
Figura 30 Resultado de las dos sesiones de mapeos colaborativos. Elaboración propia.	51
Figura 31 Mapa de movilidad en el Campus. Elaboración propia.	53
Figura 32 Mapa de bienestar en el Campus. Elaboración propia.....	55
Figura 33 Mapa de mantenimiento en el Campus. Elaboración propia.	57

Índice de tablas

Tabla 1 Criterios de definición de refugios climáticos. Fuente: Elaboración propia.....	13
--	----

1 Antecedentes

1.1 Antecedentes de análisis del clima urbano de la ciudad de Madrid

1.1.1. Estudios previos de calor urbano para el municipio de Madrid

La ciudad de Madrid cuenta con un corto pero amplio recorrido en lo que se refiere a la caracterización de su clima urbano. Los trabajos pioneros sobre climatología urbana del equipo liderado por Antonio López Gómez convierten a Madrid en una de las primeras ciudades españolas en contar con un estudio de su isla de calor (López Gómez, 1985; 1988). Este trabajo fue desarrollado mediante la técnica de los transectos urbanos, consistente en la recogida de datos de temperatura ambiente a lo largo de recorridos predefinidos en la ciudad. De ellos se derivaron una batería de mapas de isotermas diurnas y nocturnas como la que se muestra en la **Figura 1** y que caracterizaron, por primera vez, la isla de calor de Madrid bajo distintas condiciones atmosféricas y en distintos momentos del año.

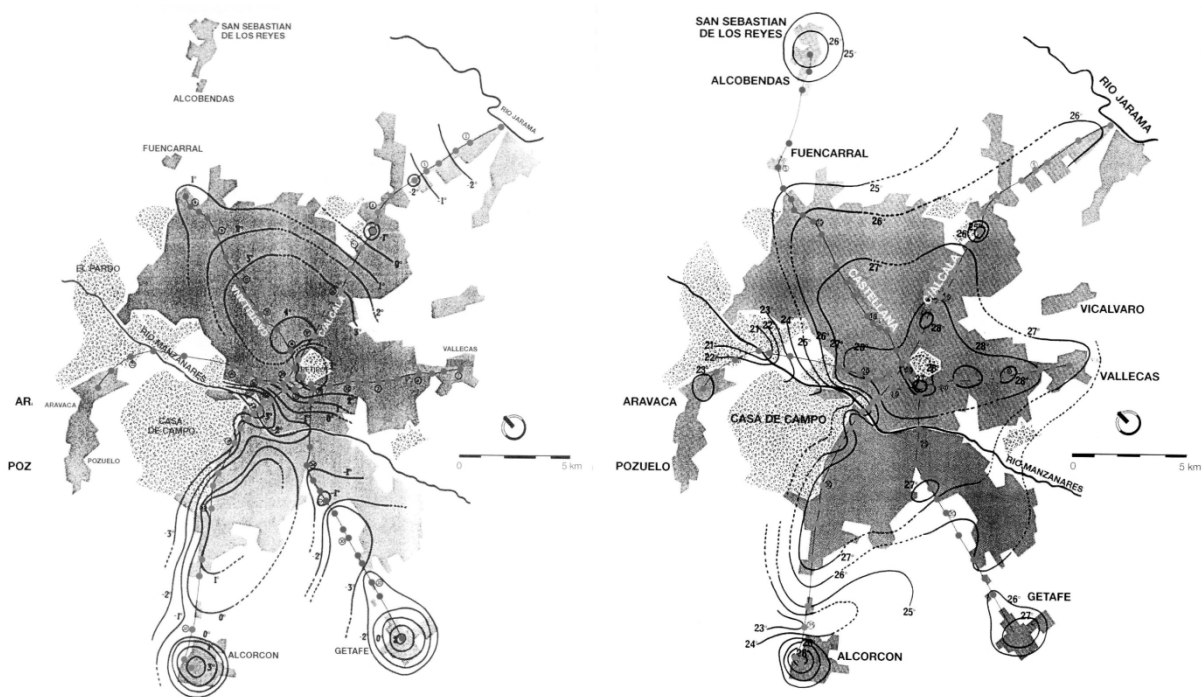


Figura 1 Selección de mapas de isotermas presentados en el primer estudio sobre la isla de calor en Madrid. Fuente: López Gómez et al. (1988).

Estos resultados fueron más tarde ampliados con termografías obtenidas de vuelos realizados con avionetas, lo que permitió una primera caracterización de la temperatura superficial del tejido urbano de la ciudad (López Gómez et al., 1993). Y a este trabajo les siguieron otros más específicos sobre la caracterización climática de la vaguada del Manzanares (Fernández García et al., 1996) y del parque del Retiro (Almendros Coca, 1992), así como la relación de la isla de calor con la contaminación de la ciudad (Fernández García & Galán, 1995) y con otras condiciones atmosféricas (Almendros & López Gómez, 1995). También son reseñables los estudios derivados de puntos fijos, como los llevados a cabo por Yagüe et al. (1991), que permitieron contar con una aproximación más detallada a las dinámicas temporales de la isla de calor.

A partir de entonces se suceden estudios que profundizan en el estudio del fenómeno de la isla de calor, tanto atmosférica (Núñez Peiró et al., 2017; Núñez-Peiró et al., 2021) como superficial (Sobрино et al., 2013). También se han analizado las interacciones del calor urbano con otros fenómenos como las olas de calor (Cuerdo-Vilches et al., 2023; Fernández García & Rasilla Álvarez, 2008; López-Bueno et al., 2020), la pobreza energética (Sánchez-Guevara et al. 2019; 2017) o la caracterización del comportamiento energético de la edificación (Núñez Peiró, 2022; Salamanca et al., 2010).

A efectos de este informe, debe reseñarse el *Estudio de Detalle del Clima Urbano de Madrid*, encargado por el Ayuntamiento de Madrid en el año 2016 (Fernández García et al., 2016). En este trabajo se realiza un intento por proporcionar información a escala de barrio, y en el que se incluyen fichas informativas como las mostradas en la **Figura 2**.

89. PALOMERAS SURESTE

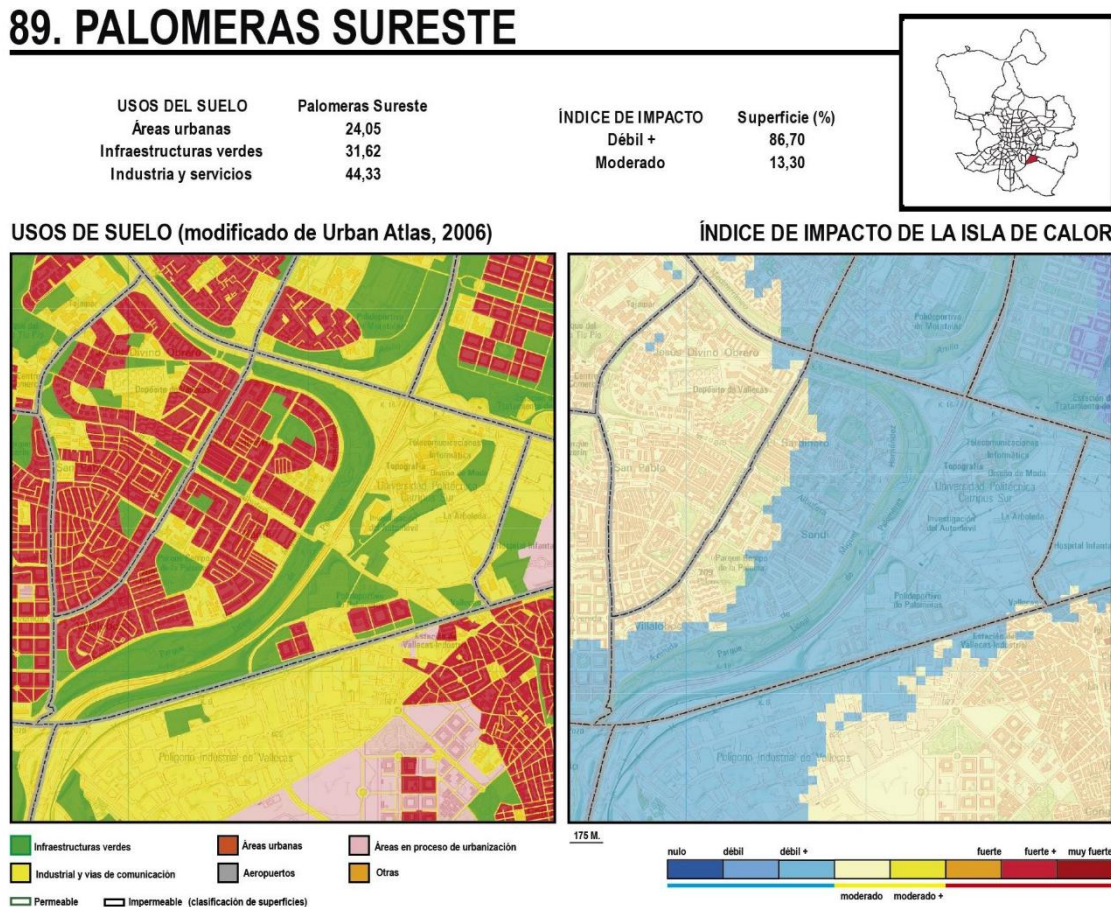


Figura 2 Ficha informativa del índice de impacto de la isla de calor en la delimitación de Palomeras Sureste contenido en el *Estudio de Detalle del Clima Urbano de Madrid* (Fernández García et al., 2016)

Otro ejemplo aplicado a la ciudad de Madrid es el estudio desarrollado por COTESA para este municipio, y en el que elaboran un *mapa de isla de calor* para el año 2022 (**Figura 3**). Para la elaboración de este mapa se utiliza, junto a información satelital, los datos procedentes de la red meteorológica urbana desplegada por el propio municipio en 2019. Sin embargo, emplean únicamente datos diurnos de temperatura ambiental y superficial (11:00 am), lo que limita la interpretación de este fenómeno, variable a lo largo de las horas del día.

La resolución espacial y/o temporal de los mapas presentados por estos estudios resulta, por lo tanto, insuficiente para poder realizar una evaluación detallada del comportamiento térmico a escala microclimática.

El auge de nuevas fuentes de información, como son las redes de monitorización ciudadanas y las nuevas constelaciones de satélites desplegadas tanto por la ESA como la NASA, suponen una oportunidad para mejorar el nivel de detalle en el estudio de la distribución de la severidad climática a nivel microclimático y proponer medidas más concretas para su mitigación. De igual modo, también son una oportunidad para identificar focos frescos que contribuyan a una mejor adaptación frente al cambio climático, reconociendo y proponiendo, en su ausencia, refugios climáticos para la población.



Figura 3 Extracto del mapa de isla de calor para 2022 elaborado por COTESA para el Ayuntamiento de Madrid. Emplea tanto información satelital como datos de temperatura ambiente,

1.2 Los campus universitarios como potenciales refugios climáticos

1.2.1. Estrategia general para la mejora del comportamiento bioclimático de espacios de mayor interés para la ciudadanía

El Ayuntamiento de Madrid ha adquirido una serie de compromisos en materia de cambio climático. Entre ellos, el programa *Madrid + Natural (2016)*, comprende una serie de actuaciones basadas en la naturaleza, cuyo objetivo es aumentar la adaptación de la ciudad a tales efectos. Estructurado en tres escalas: edificio, barrio y ciudad, los primeros proyectos propuestos en este marco deberían servir para probar soluciones y mejorar su aplicabilidad en otras áreas de Madrid. En esta misma línea, encontramos tres ámbitos de actuación:

Itinerarios verdes: este programa tiene como objetivo que la ciudad sea más transitable, al mismo tiempo que mejora las condiciones bioclimáticas en las zonas más afectadas por la isla de calor urbana. Entre las actuaciones destacadas se incluyen, por un lado, Madrid + Habitable, una iniciativa que surge del proyecto europeo Clever Cities, en el que convergen el diseño ambiental, climático y social, y que se estructura en base a cinco criterios: ciudad caminable, ciudad natural, ciudad jugable, ciudad abierta y ciudad saludable.

Escuelas Más Naturales: Programa para intervenir tanto en el entorno como en los patios escolares desde una perspectiva climática y de mejora de la calidad del aire. Se reconoce, además, a los colegios como espacios con vocación de refugios climáticos que sirvan a su vez de estancia y encuentro para la ciudadanía.

Soluciones Naturales: La naturaleza, como elemento protagonista de *Madrid + Verde*, confiere las bases para las diferentes soluciones que se buscan implementar en diversas escalas. En particular, las soluciones naturales contemplan intervenciones de pequeña escala que conectan grandes espacios verdes y azules, a la vez que dan continuidad al espacio público y otras estructuras naturales, integrándose con el ámbito construido e interviniendo en fachadas y cubiertas.

En una escala mayor, el proyecto *Bosque Metropolitano* (2019-actualidad) se plantea como un gran cinturón verde que rodeará la ciudad de Madrid con una extensión de 75 kilómetros. Este proyecto conectará zonas verdes existentes, así como las proyectadas de acuerdo con el planeamiento urbanístico. Además, albergará actividades para la ciudadanía, como senderismo, deporte, zonas de descanso y otros equipamientos que permitan su uso.

Otro compromiso con la adaptación y mitigación al cambio climático por parte de Madrid ha sido su adhesión al *Pacto de las Alcaldías de la UE por el Clima y la Energía*, una iniciativa en la que ya participan miles de gobiernos locales. En su documento *Plan de uso sostenible de la energía y prevención del cambio climático de la ciudad de Madrid*, en el bloque 4, sobre la *Adaptación urbana a impactos climáticos*, se menciona específicamente la necesidad de adaptar los edificios y equipamientos haciendo referencia al uso de soluciones como las cubiertas verdes. Asimismo, se destaca la importancia de intervenir en el espacio público para mejorar los microclimas y hacer habitables esos entornos. Además, se establece que dichas soluciones deben considerar las condiciones microclimáticas, cuyo análisis y conocimiento forman parte del bloque *Sistemas de diagnóstico y seguimiento*.

Tener en el horizonte dichos compromisos permitirá alinear las actuaciones en las diversas estrategias para la adaptación y mitigación al cambio climático, garantizando una planificación urbana más resiliente y sostenible. Este enfoque no sólo refuerza la capacidad de la ciudad para enfrentar los desafíos climáticos actuales, sino que también contribuye a la creación de un entorno urbano más habitable.

1.2.2. Definición de refugios climáticos

El inminente avance del cambio climático genera la necesidad de comenzar a pensar en espacios que sirvan de refugio ante la amenaza de las grandes olas de calor, especialmente para aquellos grupos de mayor vulnerabilidad. Además de las estrategias anteriormente enunciadas, las ciudades llevan tiempo desarrollando redes urbanas de refugios climáticos. Estos son espacios destinados a ofrecer alivio térmico y protección a las personas durante eventos de calor extremo, como las olas de calor, y que pueden tener efectos devastadores sobre la salud.

Cada vez existen más espacios diseñados específicamente para su uso como refugio climático, donde se proporcionan entornos frescos y seguros durante los meses de más calor. Sin embargo, lo habitual es que convivan en lugares con otros usos principales donde, por sus características, las personas puedan resguardarse durante las horas de mayor calor. Estos pueden ser tanto **espacios interiores** (equipamientos como bibliotecas, centros cívicos, ...) como **espacios exteriores** (parques y jardines, plazas sombreadas, ...), y preferiblemente deberían ser lugares de gestión pública, sin barreras de accesibilidad, cuyo uso sea gratuito y el acceso no esté restringido (véase **Tabla 1**).

Que un espacio sea de **gestión pública** determina, en primer lugar, la posibilidad de intervención y regulación de accesos, horarios, etc. Aunque no lo es siempre, este requisito suele ser determinante a la hora de incorporar un espacio a una red de refugios climáticos. También lo es que estos espacios estén libres de barreras arquitectónicas que puedan limitar su uso, garantizando por tanto **la accesibilidad universal** a todos los grupos de personas independientemente de su grado de movilidad. Por último, estos espacios deben ser **gratuitos** y de **uso libre** en los momentos de más calor, lo que implica que deban estar abiertos en días (fines de semana, festivos) y en horarios (tarde-noche) a veces distintos de los originalmente propuestos para su uso habitual.

Tabla 1 Criterios de definición de refugios climáticos. Fuente: Elaboración propia.

GESTION		USO		ACCESIBILIDAD		INGRESO	
PÚBLICA	PRIVADA	LIBRE	RESTRINGIDO	UNIVERSAL	LIMITADA	GRATUITO	DE PAGO
Espacios que dependen o están gestionados por entidades públicas y, por ende, deben garantizar el libre uso a todas las personas que deseen utilizarlo	Espacios que dependen de entidades privadas y, por lo tanto, pueden reservarse el derecho de admisión y restringir su libre uso a determinadas personas.	Cualquier persona puede utilizarlo. No es necesario estar registrado, ni solicitar permiso para su utilización.	Precisa inscripción o se reserva el derecho de admisión.	Espacios que cumplen con las condiciones mínimas de adaptabilidad para garantizar la accesibilidad universal.	Espacios que no cumplen con las condiciones mínimas de adaptabilidad para garantizar la accesibilidad universal.	Espacios para los cuales no es necesario realizar un pago para poder ingresar y recorrer.	Espacios para los cuales es necesario realizar un pago para poder hacer uso de ellos. Pueden o no ser de libre uso.
Determina la posibilidad de acción y el alcance de la regulación. Si es de gestión privada el acceso puede quedar restringido por lo que se descartan automáticamente.		Si es de gestión pública es posible modificar la restricción de uso en caso de que existiera. Ejemplo: En universidades en meses determinados		La administración pública, como garante de los derechos de sus ciudadanos, debería priorizar las intervenciones para garantizar la accesibilidad en caso de ser necesario		Si es de gestión pública es posible modificar las tarifas o aplicar horarios de ingreso gratuito determinados.	

Actualmente Madrid no cuenta con un plan de refugios climáticos establecido. Sí que existe la voluntad política de establecer esta red, en consonancia con el resto de principales ciudades tanto a nivel estatal como europeo. Para ello resulta fundamental comenzar identificando equipamientos existentes que puedan ser empleados para tal fin. Y, en este sentido, la ciudad de Madrid cuenta con la existencia de una amplia red de campus públicos universitarios, con centros distribuidos por toda la ciudad, y que podrían complementar la futura red de refugios climáticos. En el siguiente apartado se reflexiona sobre la potencialidad de los equipamientos universitarios para destinarlos como refugios climáticos.

1.2.3. Los centros universitarios públicos en Madrid

Los campus universitarios representan una solución innovadora para la adaptación urbana al calor extremo, destacándose como refugios climáticos debido a su **infraestructura y espacios flexibles**. Cuentan con amplios espacios interiores que pueden albergar diversas actividades y grandes áreas verdes que contribuyen a la reducción de la temperatura. Además, su **capacidad de adaptación y resiliencia** les permite reorganizarse rápidamente en caso de emergencias, ofreciendo un entorno seguro y funcional para la población.

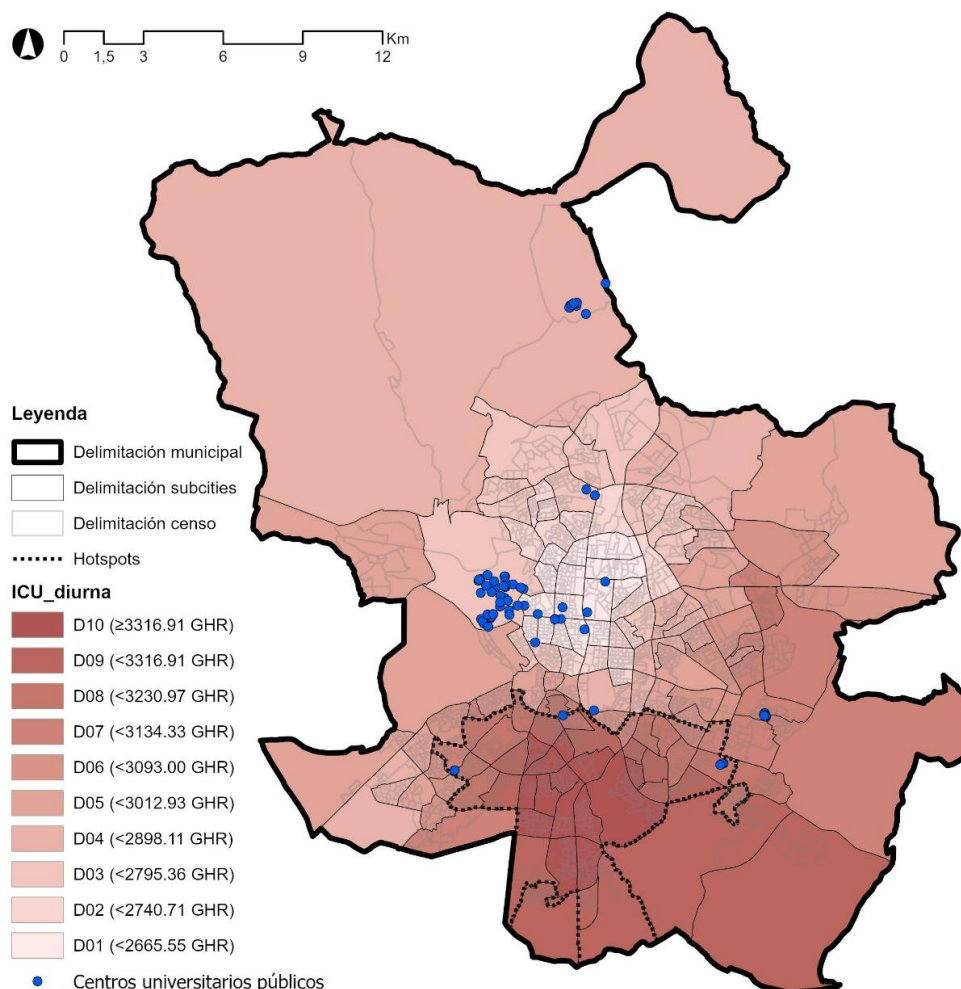


Figura 4. Relación entre la severidad climática diurna según datos 2019 y los campus universitarios en el Municipio de Madrid. Elaboración propia.

El análisis de la isla de calor urbana diurna en Madrid indica que las zonas con mayor riesgo térmico, como el sur del municipio, coinciden con la ubicación de importantes campus universitarios, como el Campus Sur de la Universidad Politécnica de Madrid. Su **ubicación estratégica y accesibilidad** hacen que estos espacios sean ideales para ser utilizados como refugios climáticos, ya que permiten el acceso de un gran número de personas, incluyendo aquellas en situación de vulnerabilidad. La combinación de infraestructuras disponibles y la presencia de **grandes áreas verdes cercanas** facilita la implementación de estrategias de mitigación y adaptación al calor extremo.

Para comprender el potencial de los campus universitarios se realiza la comparación de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSI) con el Círculo de Bellas Artes. Se observa que, aunque ambos cumplen con criterios de **accesibilidad universal**, la ETSI posee una capacidad significativamente mayor. Mientras el Círculo de Bellas Artes puede albergar a unas 100 personas, la ETSI cuenta con una infraestructura capaz de acoger a miles, lo que refuerza la ventaja de los campus universitarios como refugios climáticos de gran escala. Si bien su adecuación requeriría ajustes en la distribución de espacios, su potencial para proporcionar refugio y confort a una amplia población es evidente, reafirmando su papel clave en la planificación de estrategias de resiliencia urbana.

1.2.4. Conclusiones de antecedentes de análisis del clima urbano:

El aumento de las olas de calor y las temperaturas extremas resalta el impacto del cambio climático en ciudades como Madrid, donde los veranos superan regularmente los 35°C. Estos fenómenos afectan especialmente a grupos vulnerables, como personas mayores, enfermos crónicos y quienes viven en condiciones de pobreza energética, evidenciando la necesidad de estrategias urbanas adaptativas.

Los **refugios climáticos** son una herramienta clave en la planificación urbana para mitigar los efectos del calor extremo y garantizar una distribución equitativa de recursos. Experiencias en ciudades como Barcelona con el *Plan Calor* (que forma parte del *Plan Clima de Barcelona*); o Bilbao, con el *Plan de refugios climáticos* propuesto por el Ayuntamiento de Bilbao, han demostrado su eficacia en la protección de los sectores más desfavorecidos y en la promoción de la resiliencia ante crisis climáticas. Más allá de ser espacios de alivio temporal, su implementación debe formar parte de una estrategia integral de adaptación urbana.

Los campus universitarios públicos pueden ser un punto de partida para una red de refugios climáticos urbanos, aprovechando su **capacidad de acogida y ubicación estratégica**. Su modelo podría replicarse en otros equipamientos públicos, como bibliotecas, centros de salud y polideportivos, creando un sistema integral de protección climática. Este enfoque fomenta la colaboración entre universidades, administraciones locales y la ciudadanía, garantizando un acceso equitativo a espacios seguros y resilientes frente a las condiciones climáticas extremas.

2 Análisis del comportamiento térmico de Campus Sur en relación con su entorno urbano

2.1 Definición del área de estudio del contexto climático local de Campus Sur

Para comprender en profundidad el área de estudio, se han establecido tres escalas de análisis diferenciadas, que permiten abordar distintos aspectos según el tema tratado. Estos están detallados en la **Figura 5** y se corresponden con:

1. **Área de análisis del contexto climático local**
2. **Proyecto de Zona de Bajas Emisiones (ZBE)**
3. **Ámbito UPM**, coincidente con Campus Sur en la delimitación del AOE 00.10 Politécnico de Vallecas con excepción de los suelos no obtenidos

En primer lugar, dada la naturaleza de los estudios sobre clima urbano, resulta imprescindible adoptar una visión ampliada del entorno inmediato de Campus Sur de la UPM. Se considera especialmente relevante incluir en el análisis los tejidos residenciales que rodean el campus, ya que su población podría beneficiarse directamente de las intervenciones y mejoras propuestas en el marco del proyecto. Por ello, el **área de análisis del contexto climático local** se define a partir de la suma de los siguientes barrios:

- 134: Palomeras Sureste
- 135: Portazgo
- 141: Pavones
- 181: Casco Histórico de Vallecas (tejido residencial)
- 182: Santa Eugenia
- 192: Valdebernardo

En segundo lugar, se considera el **Proyecto de Zona de Bajas Emisiones (ZBE)** como escala intermedia de análisis. Este ámbito no solo abarca los edificios universitarios, sino que también incluye infraestructuras clave como la Calle de la Arboleda, que conecta el campus con varias estaciones de transporte público relevantes para la movilidad cotidiana de estudiantes, personal docente y visitantes. Así mismo, a lo largo de su recorrido varios edificios industriales se encuentran actualmente en proceso de demolición de.

Por último, se delimita el **ámbito UPM**, correspondiente al entorno inmediato de los edificios del campus, donde se concentran gran parte de las intervenciones previstas y se evalúan sus impactos directos.



Figura 5. Delimitación del área de análisis del contexto climático local de Campus Sur. Elaboración propia.

Estudios previos, como el de Sánchez-Guevara, C. et al. (2021) *Assessing population vulnerability towards summer energy poverty: Case studies of Madrid and London.*, señalan que barrios como Palomeras Sureste y Portazgo se encuentran entre los más vulnerables a la pobreza energética de verano en la ciudad de Madrid. Esta vulnerabilidad se estimó a partir de la superposición de diversos indicadores, incluyendo los niveles de renta, la intensidad de la isla de calor urbana —tanto diurna como nocturna— y la eficiencia energética de las edificaciones durante los meses más cálidos del año.

Además de este riesgo, existen una serie de condicionantes socioeconómicos que conviene destacar antes de proceder con el análisis climático en la escala local y micro. Esto debería contribuir a una evaluación más completa del potencial de Campus Sur para servir como refugio climático. En el **apartado** 2.2 se realiza un breve repaso sobre el tejido residencial, la densidad de población, las barreras arquitectónicas y los equipamientos y dotaciones existentes en este área de estudio.

2.2 Análisis del contexto socioeconómico y urbano

Tal y como se observa en la **Figura 6**, tanto el entorno construido como los espacios libres de Campus Sur cuentan con una gran diversidad. Desde el punto de vista de la edificación, el tejido residencial que rodea Campus Sur se ha caracterizado mediante la metodología de *Zonas Urbanas Homogéneas* (HUZ; López-Moreno et al., 2022), la cual permite agrupar la edificación residencial considerando no sólo su tipología constructiva sino también el entorno urbano.



Figura 6 . Imagen delimitación de contexto microclimático de Campus Sur UPM

En el noreste, el barrio de Valdebernardo se caracteriza por un tejido de bloques semi-abiertos de uso residencial colectivo. Este se distingue por tratarse de una construcción más reciente y de mejor calidad que su entorno inmediato, con mayor presencia de áreas verdes y una configuración de cañón urbano que facilita la disipación de calor por la noche. No obstante, las áreas verdes son fundamentalmente de carácter privativo, lo que impide su uso por parte de personas ajenas a la propiedad y podría limitar el desarrollo de acciones comunitarias.

En contraste, el tejido residencial del barrio de Palomeras Sureste se compone principalmente de bloques lineales de doble crujía —con cuatro viviendas por planta— y escasa altura. Estos conjuntos se caracterizan por la abundancia de espacios destinados a aparcamiento, la escasez de zonas diseñadas para uso público, y por edificaciones construidas con criterios previos a la entrada en vigor de la normativa energética actual, que exige limitar la demanda energética, mejorar la eficiencia de las instalaciones y promover el uso de energías renovables. Todo ello se traduce en una elevada demanda energética y una mayor necesidad de climatización durante los meses de verano.

De forma similar, en el sur, el tejido del Casco Histórico de Villa de Vallecas, compuesto por bloques adosados de uso residencial colectivo, presenta una alta densidad y carencia de áreas de uso público diseñadas, lo que, junto con edificaciones de baja eficiencia energética, refuerza la urgencia de intervenciones que mitiguen las altas temperaturas estivales.

2.2.1. Equipamientos, dotaciones y edificios de uso público

De manera complementaria, se realiza un análisis de los equipamientos disponibles en cada uno de los barrios que podrían utilizarse como potencial refugio climático. Esto resulta de interés especialmente por tratarse de tejidos que cuentan con pocas áreas destinadas a espacio público y cuyos tipos edificatorios presentan altas demandas energéticas, ya que funcionarían como espacios complementarios para atravesar las horas de mayor calor.

Como se puede observar en la **Figura 7** el contexto microclimático de Campus Sur cuenta con poca diversidad de equipamientos potenciales para convertirse en refugios climáticos. El barrio del Casco Histórico de Valdecasas es aquel que concentra mayor diversidad incluyendo escuelas públicas, bibliotecas, mercados, entre otros. Tanto Valdebernardo como Palomeras Sur cuenta únicamente con equipamientos de escuelas públicas, lo cual podría limitar la diversidad de actividades posibles que podrían llevarse a cabo en ellas durante momentos de mayor calor.



Figura 7. Equipamientos y dotaciones como potenciales refugios climáticos del contexto microclimático de Campus Sur UPM.

2.2.2. Barreras arquitectónicas - acceso peatonal

Por último, y teniendo en cuenta que el objetivo principal de los refugios climáticos es servir para aquellos grupos que se consideran más vulnerables, resulta interesante comprender cómo es el acceso peatonal a Campus Sur siendo esta la forma más equitativa ya que no depende de ningún medio y es gratuita.

La **Figura 8** muestra cómo Campus Sur se encuentra rodeado por múltiples barreras físicas, entre ellas autopistas y grandes áreas industriales. Esta situación es especialmente relevante a la hora de plantear propuestas, ya que será necesario mejorar la conectividad y la accesibilidad para que el campus pueda cumplir su función como refugio climático, asegurando así un acceso amplio y equitativo.



Figura 8. Barreras arquitectónicas para el acceso peatonal del contexto microclimático de Campus Sur UPM.

2.3 Metodología para el estudio de la severidad climática en Campus Sur

Con el fin de generar un análisis detallado de la severidad climática del entorno de Campus Sur, se ha optado por aprovechar el potencial que tienen las estaciones meteorológicas pertenecientes a redes ciudadanas. El uso de estas estaciones meteorológicas ciudadanas, también conocidas como *Citizen Weather Stations (CWS)*, es un campo relativamente poco explorado en la actualidad, limitándose generalmente su uso a trabajos académicos. Sin embargo, se considera que dichas redes ofrecen un potencial significativo, dada la amplia cobertura que pueden proporcionar y la vasta cantidad de datos que son capaces de recolectar.

Las CWS cuentan con diversos sensores que miden parámetros como temperatura, humedad, e incluso lluvia o viento, recopilando datos de forma continua. Cada estación transmite esa información a una plataforma en línea, donde se almacenan y procesan los registros en tiempo real. Al generar grandes volúmenes de datos locales accesibles en tiempo real, estas estaciones pueden llegar a complementar la información proporcionada por los observatorios meteorológicos oficiales. A pesar de contar con equipos no profesionales, proporciona información a una escala más detallada que puede ser utilizada para estudios climáticos, modelado de fenómenos meteorológicos y análisis microclimáticos. Esto resulta especialmente útil en áreas donde los observatorios oficiales son escasos o se encuentran demasiado distantes entre sí, no siendo capaces de registrar la variabilidad climática que ocurre entre ellos. En ese sentido, las CWS tienden a concentrarse en entornos urbanos, lo que las hace especialmente interesantes para estudios de clima urbano.

A continuación, se detalla el procedimiento general para la elaboración de los distintos mapas de severidad climática a alta resolución que se recogen en el apartado de resultados, y cuyo flujo de trabajo se resume en **Figura 9**.

2.3.1. *Recolección y descarga de datos*

El proceso de **descarga y recolección de datos de CWS** se ha desarrollado de manera automatizada a través de una serie de *scripts* en Python, tal y como recoge la **Figura 10**. Esto ha permitido acceder a los datos horarios de temperatura y humedad de 1,361 estaciones distribuidas por toda el área metropolitana de Madrid. Los datos accedidos se corresponden con los del verano de 2023 (de junio a septiembre, ambos inclusive).

En paralelo, y a fin de complementar la información proporcionada por las CWS, se han empleado varios *datasets* procedentes de Landsat 8. Éste es un satélite de observación terrestre que proporciona imágenes multiespectrales con resolución de 30 metros, útiles para analizar el uso del suelo, la expansión urbana y fenómenos como la isla de calor. Es una herramienta clave en estudios urbanísticos y ambientales. En concreto, se ha empleado su Modelo Digital del Terreno (MDT), así como varias bandas de información para construir el Índice de Turbidez de Diferencia Normalizada (NDTI, por sus siglas en inglés), el Índice Normalizado de Área Construida (NBAI), y el Índice de Hoja Verde (GLI). Esta información se obtuvo para los días de verano de menor nubosidad de 2023.

2.3.2. *Control de calidad de los datos*

El control de calidad (QC) de los datos procedentes de estaciones meteorológicas ciudadanas (CWS) constituye un paso esencial para garantizar su fiabilidad. Al estar instaladas y gestionadas por particulares, estas estaciones presentan limitaciones frecuentes, como ubicaciones inadecuadas, calibraciones no homogéneas, errores de manipulación y fallos de conectividad. Estas deficiencias pueden generar inconsistencias en las mediciones, reduciendo la precisión de los datos y limitando su aplicabilidad en análisis climáticos de mayor escala.

Para abordar estos desafíos, se ha implementado una metodología específica destinada a identificar y corregir errores asociados a la ubicación incorrecta de los sensores, su exposición directa a la radiación solar y la baja capacidad de respuesta de algunos dispositivos. Esta metodología prescinde del uso de estaciones oficiales, apoyándose en cambio en la comparación cruzada entre múltiples CWS ubicadas en una misma zona, lo que permite detectar anomalías y mejorar la calidad general de los datos.

A continuación, se aplicaron técnicas de completado de series temporales, conocidas como gap-filling (GF), utilizando como base los datos de **ERA5**, el conjunto de reanálisis climático global desarrollado por el Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Medio Plazo (ECMWF). ERA5 ofrece registros consistentes y espacialmente continuos de variables atmosféricas desde 1950 hasta la actualidad, lo que lo convierte en una fuente sólida para la reconstrucción de datos faltantes. Tanto los procesos de QC como de GF se han automatizado mediante scripts programados en Python.

Como paso final, se realizó un filtrado manual complementario para depurar las estaciones más problemáticas, eliminando aquellas con coordenadas duplicadas, más del 5 % de datos ausentes o valores anómalos persistentes tras la corrección inicial. Este procedimiento garantiza que solo se incluyan estaciones de alta fiabilidad en los análisis posteriores.

Como resultado, se validaron más de 600 estaciones ubicadas dentro del municipio de Madrid, que sirvieron como base para los cálculos de severidad climática urbana. De ellas, 18 se encuentran dentro del ámbito microclimático de Campus Sur, cuya localización se representa en la **Figura 11** .

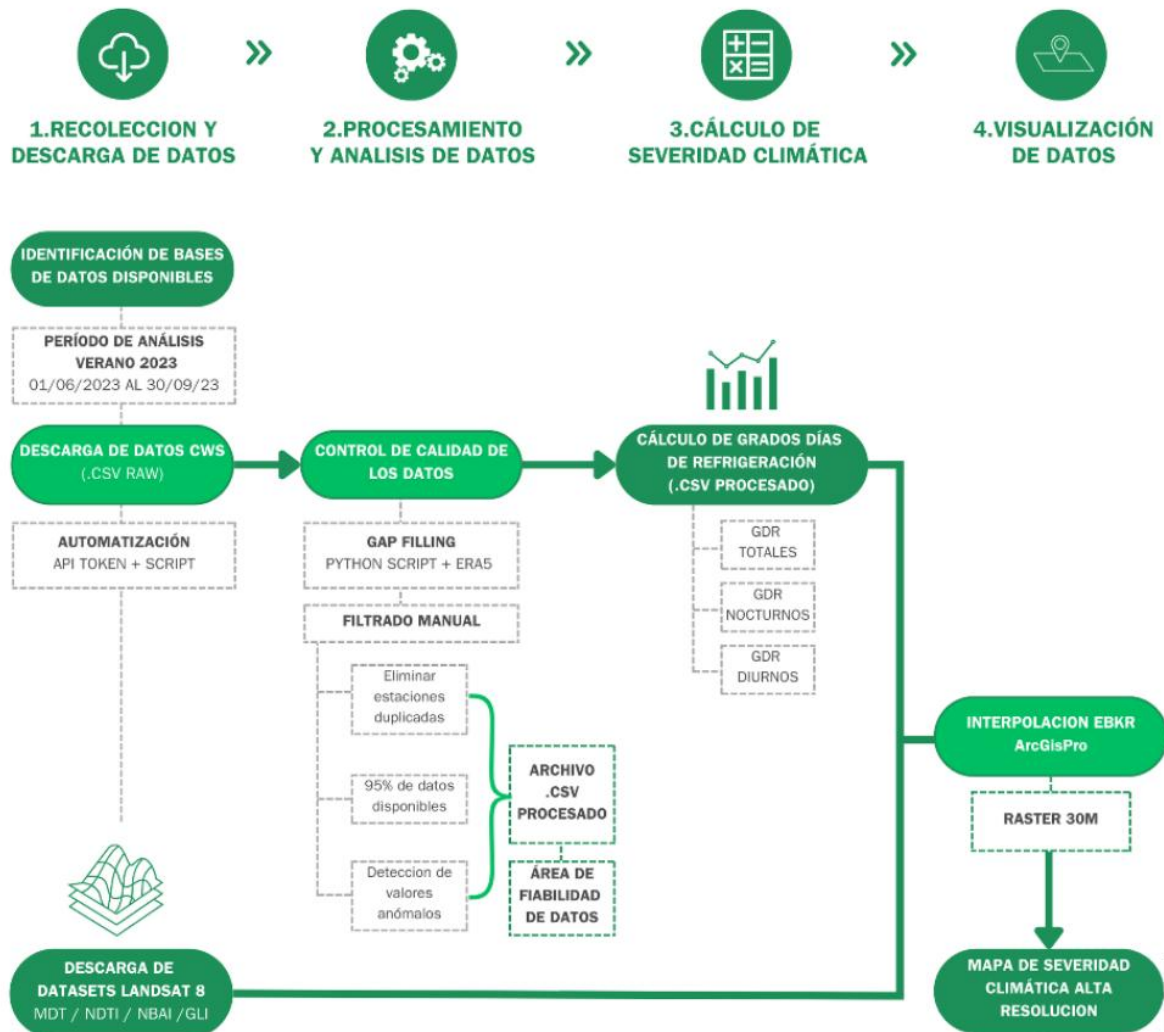


Figura 9. Procedimiento de elaboración de mapas de severidad climática a alta resolución. Elaboración propia.

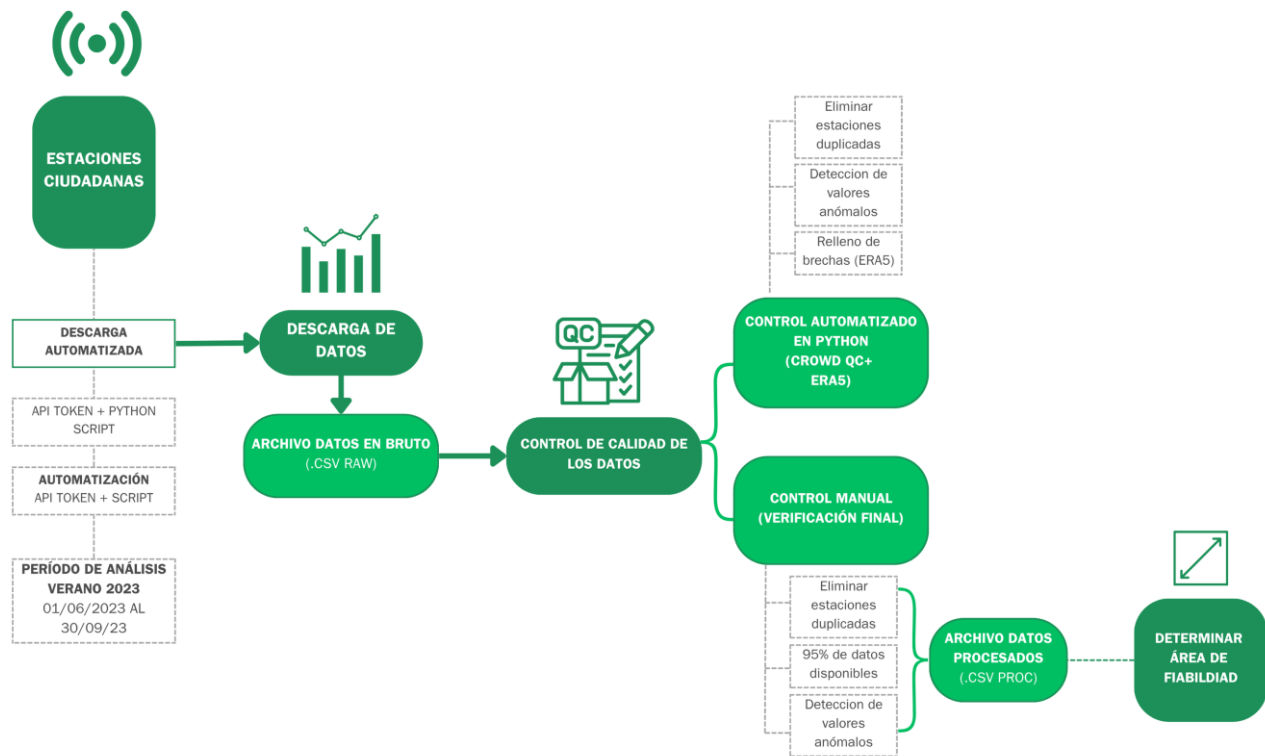


Figura 10. Gráfico explicativo del procedimiento de recolección de datos y control de calidad. Elaboración propia.



Figura 11. Estaciones meteorológicas ciudadanas (CWS) en el contexto climático local de Campus Sur UPM.

2.3.3. Cálculo de la severidad climática

Para determinar la severidad climática local se han empleado los Grados Día de Refrigeración (GDR). Los GDR miden el exceso de temperatura respecto a una temperatura umbral base, en este caso 18 °C. En comparación con los mapas de temperaturas que ofrecen una imagen puntual de la situación, los GDR ofrecen una visión más completa, al integrar en un único valor el efecto acumulado de la variación de las temperaturas a lo largo de un periodo temporal concreto.

El cálculo de GDR se ha automatizado para cada una de las CWS, de nuevo, a través de una serie de *scripts* en Python. Dado que la variabilidad espacial del calor urbano depende del momento del día, se ha diferenciado entre GDR diurnos, nocturnos y totales. Con el fin de evaluar la situación del contexto climático local de Campus Sur con respecto al del resto del municipio, este cálculo se ha extendido al conjunto de las estaciones del municipio.

2.3.4. Generación de mapas

Por último, y con el fin de poder disponer de una representación cartográfica de la severidad climática, se han realizados interpolaciones espaciales de los datos obtenidos a partir del cálculo de GDR. Para llevar a cabo esta tarea se ha empleado un Kriging Bayesiano Empírico con regresión (EBK, por sus siglas en inglés) apoyado por las capas de información satelital obtenida con anterioridad. Este trabajo se ha desarrollado en un Sistema de Información Geográfica (SIG) y ha permitido obtener mapas de severidad climática con una resolución por debajo de los 100 metros.

2.4 Mapas de distribución de severidad climática

La metodología descrita en el apartado anterior ha dado lugar a una batería de mapas que permiten analizar la distribución de la severidad climática del entorno de la zona de bajas emisiones de Campus Sur. Los resultados diferenciados entre severidad climática nocturna, diurna y total, permiten evaluar el grado de sobrecalentamiento desde una doble perspectiva.

En primer lugar, los resultados se presentan con una escala de severidad por deciles referida al conjunto del municipio (p. ej., **Figura 12**); de este modo, las zonas que aquí se destacan en el decil 8 se encontrarían entre el 20% de las zonas que más calor sufren en el conjunto del municipio. Estos mismos resultados también se presentan agrupados por quintiles en relación al contexto climático de la zona de bajas emisiones (p. ej., **Figura 13**). Esto permite identificar y comparar de una manera más clara las zonas que comparten un contexto climático similar, lo que contribuirá a orientar las soluciones de adaptación a cada momento.

A continuación, se detallan los resultados obtenidos para cada uno de los datos.

2.4.1. Severidad climática de verano nocturna

Aunque el objetivo de utilizar Campus Sur como posible refugio climático no contempla su uso durante el período nocturno, se realiza una interpretación de resultados obtenidos por la noche que permite contrastar los datos con los resultados esperados.

Como se puede observar en la **Figura 12**, los resultados reflejan una clara isla de calor nocturna en el barrio de Casco Histórico de Villa de Vallecas. Estos resultados se pueden validar con datos de estudios previos, así como también complementar con el análisis previo de la categorización tipológica de zonas urbanas homogéneas debido a su alta densidad edificada y poca presencia de áreas verdes. Es interesante destacar que los resultados obtenidos en aproximadamente el 40% del área del contexto microclimático representan los datos de los dos deciles más altos a nivel municipal, lo cual indica que es una zona con una gran influencia del efecto de la isla de calor urbana nocturna.

Así mismo, se puede notar una tendencia de disminución de severidad climática en las áreas del barrio de Valdebernardo cuyo tejido es más disperso y presenta mayores superficies verdes tanto alrededor de los bloques edificados como en el interior de las manzanas. Como se menciona en la sección 2.2 tanto este como el barrio de Palomeras Sur tienen un tejido de bloque abierto lineal en altura, pero en el caso de Palomeras Sur los espacios interbloques presentan pocas superficies verdes debido a que hay gran cantidad de áreas de aparcamiento. Esto se ve reflejado en los resultados ya que, a pesar de ser tipos edificatorios de altura y poca superficie edificable, las áreas que lo rodean son pavimentadas e irradian calor por las noches.

En general, las áreas verdes se corresponden con las zonas que presentan menor demanda de refrigeración y por lo tanto se corresponden con las áreas de menor cantidad de GDR. Estos datos se corresponden con los deciles más bajos a escala municipal, similares a los datos obtenidos en el Parque del Retiro y Casa de Campo. También puede verse la influencia de las áreas verdes en el territorio como el “parque biológico de Madrid, Faunia”, o el Parque Lineal de Palomeras que funciona como un refugio frente al calor entre los tejidos de Palomeras Sur y el resto del tejido urbano del distrito de Vallecas.

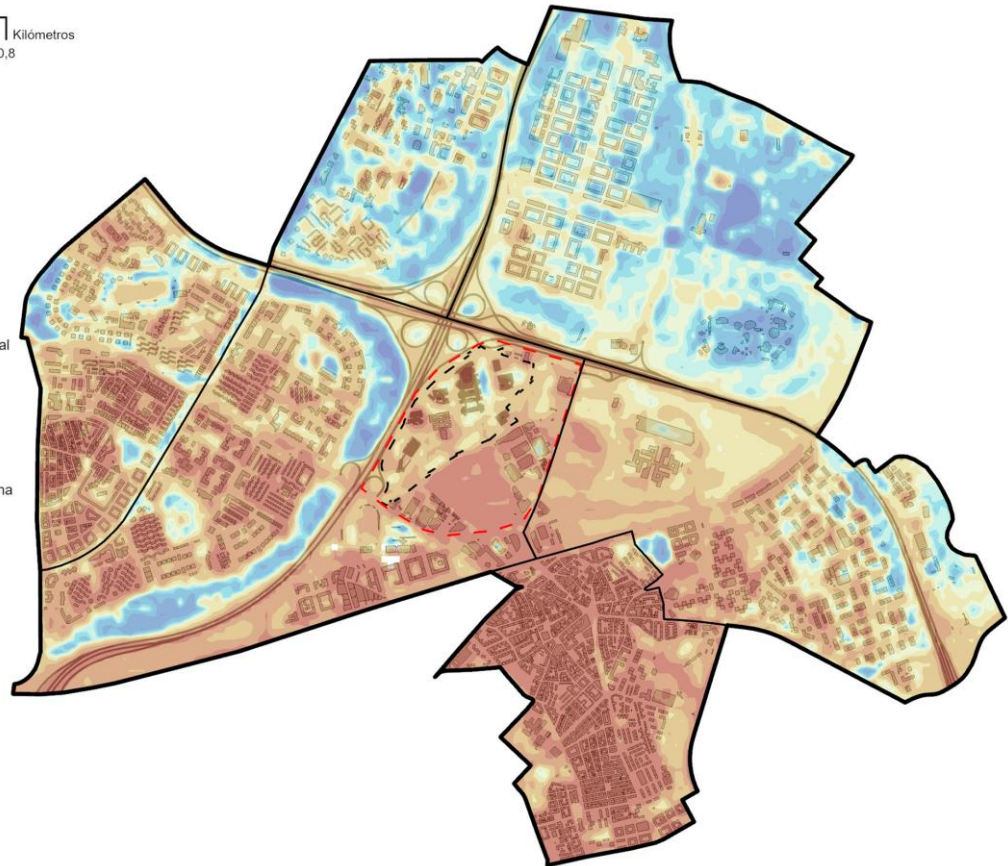
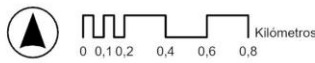


Figura 12 Mapa de severidad climática nocturna. Análisis de datos del municipio de Madrid medido en deciles. Elaboración propia.

Por último, resulta interesante destacar el área sur de la Zona de Bajas Emisiones (ZBE). Actualmente este territorio se encuentra en proceso de demolición de las últimas naves industriales. En cuanto a Campus Sur, se puede notar una clara disminución de la severidad climática en el área de la arboleda por su mayor presencia de árboles y una disminución en general con respecto al barrio del Casco Histórico de Vallecas.

Se realiza el mismo análisis haciendo foco en el contexto microclimático para poder comprender la variabilidad de estos dentro del área de estudio y sus diferencias por barrios. Como indica la **Figura 13** dentro del contexto microclimático existe una variabilidad de aproximadamente el **46%** entre los valores mínimos y máximos, lo cual indica una gran diferencia de severidad climática dentro del misma área de estudio, siendo el Casco Histórico de Vallecas el foco de mayor severidad.

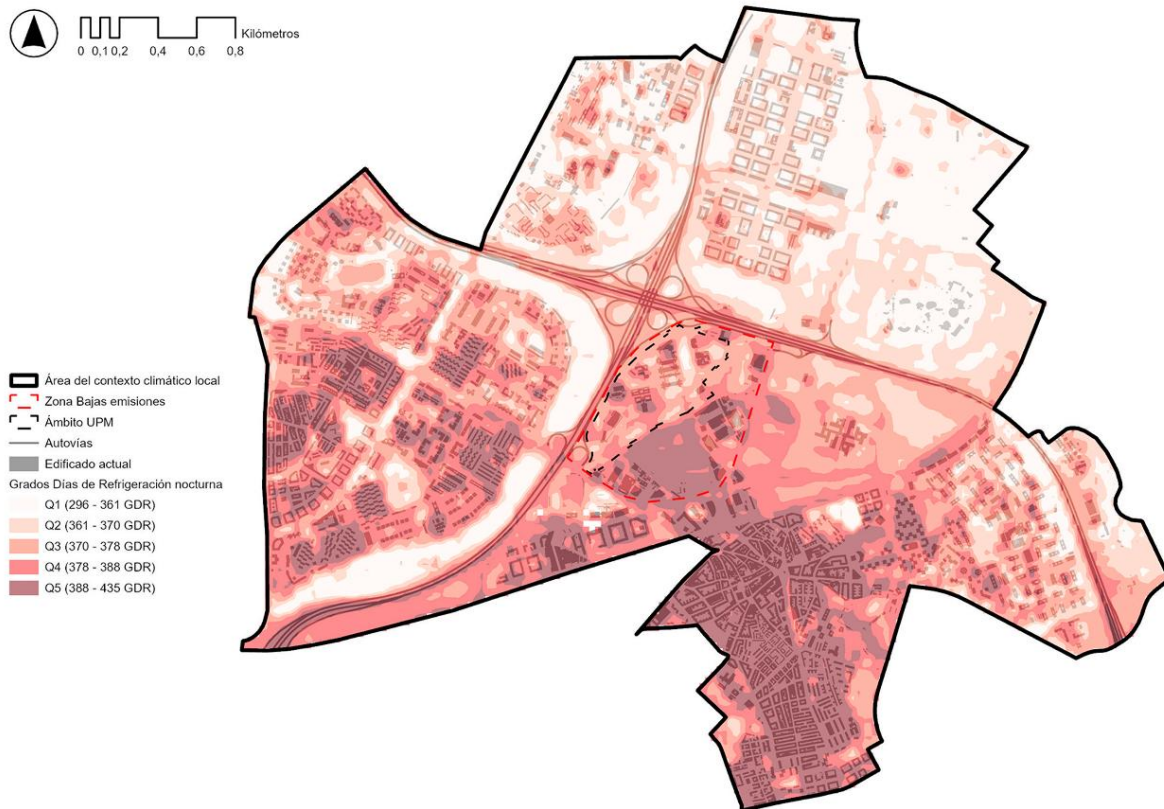


Figura 13 Mapa de severidad climática nocturna. Datos del contexto microclimático medidos en quintiles. Elaboración propia.

2.4.2. Severidad climática de verano diurna

El análisis de la severidad climática diurna es fundamental para comprender el potencial de Campus Sur como posible refugio climático del contexto microclimático. Actualmente tanto Campus Sur como la ZBE presentan datos de severidad climática altos en relación no solo con los datos del mismo contexto sino también en relación con el municipio de Madrid, estando sus valores dentro de los tres deciles más altos a nivel municipal.

Como se puede observar en la **Figura 14**, el Casco Histórico de Vallecas concentra los valores de GDR más altos, seguido del área de estudio y sus alrededores que coinciden con zonas que cuentan con poca vegetación y grandes solares industriales (algunos en proceso de demolición). Al igual que se podía reflejar en el mapa de severidad climática nocturna, las áreas que concentran los valores de GDR más bajos son las áreas que cuentan con vegetación o piscinas. Si bien tanto Valdebernardo como Palomeras Sur tienen valores de GDR más bajos que Vallecas por ser barrios que presentan un tejido residencial más abierto, la variabilidad de severidad climática no es tan marcada como lo es por la noche.

Por último, se vuelve a destacar el área verde entre pabellones correspondiente a la calle Alan Turing, que funciona como el punto más fresco dentro de Campus Sur. Nuevamente se realiza un análisis de variabilidad de datos dentro del propio contexto microclimático como se muestra en la **Figura 15**, que indica una variabilidad de alrededor de un **28%** entre el punto más fresco y cálido del contexto.

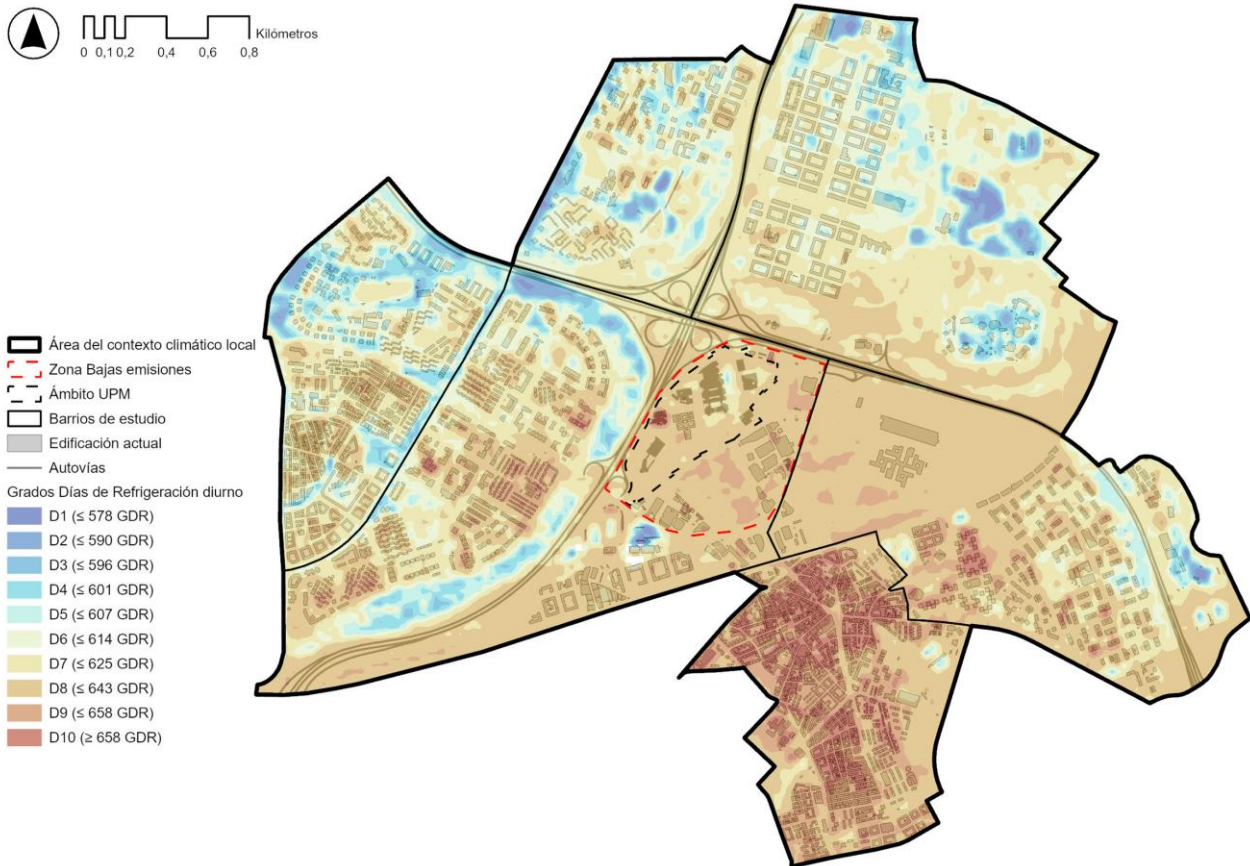


Figura 14 Mapa de severidad climática diaria. Análisis de datos del municipio de Madrid medido en deciles. Elaboración propia.

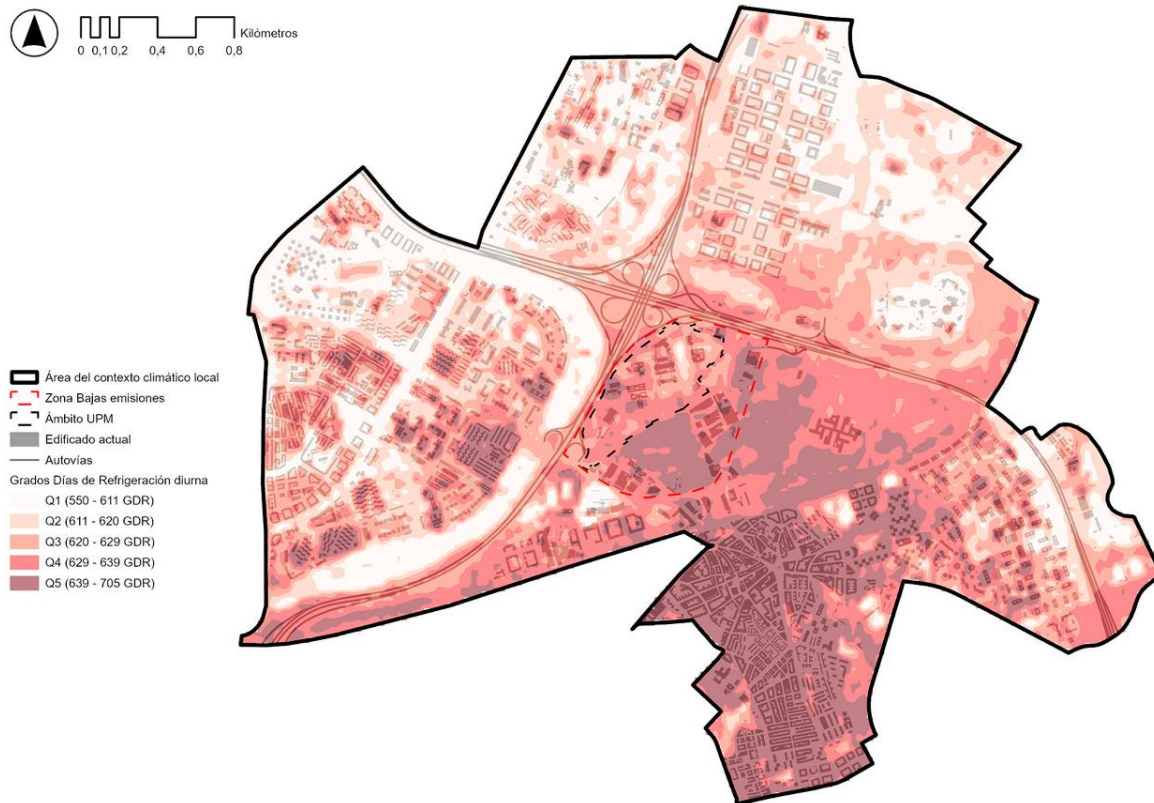


Figura 15 Mapa de severidad climática diurna. Datos del contexto microclimático medidos en quintiles. Elaboración propia.

2.4.3. Severidad climática de verano total

Por último, se presentan los GDR acumulados en total, que contemplan la sumatoria de los datos diurnos y nocturnos para determinar la severidad climática general. Como se muestra en la **Figura 16**, el foco de concentración de severidad climática se destaca en el barrio del Casco Histórico de Vallecas, donde no solo se concentraban los valores más altos durante el día sino también por la noche.

La variabilidad de datos totales dentro del contexto corresponde a un **34%**, diferencias significativas alineadas con otros estudios. En términos relativos (**Figura 17**), se observa que Campus Sur se mantiene significativamente más fresco que los tejidos residenciales de Palomeras y, sobre todo, el Casco Histórico de Vallecas. Este último, además, únicamente contaría con el foco frío del parque de Vasares, lo que indica gran potencial para la utilización de Campus Sur como refugio climático de la zona.

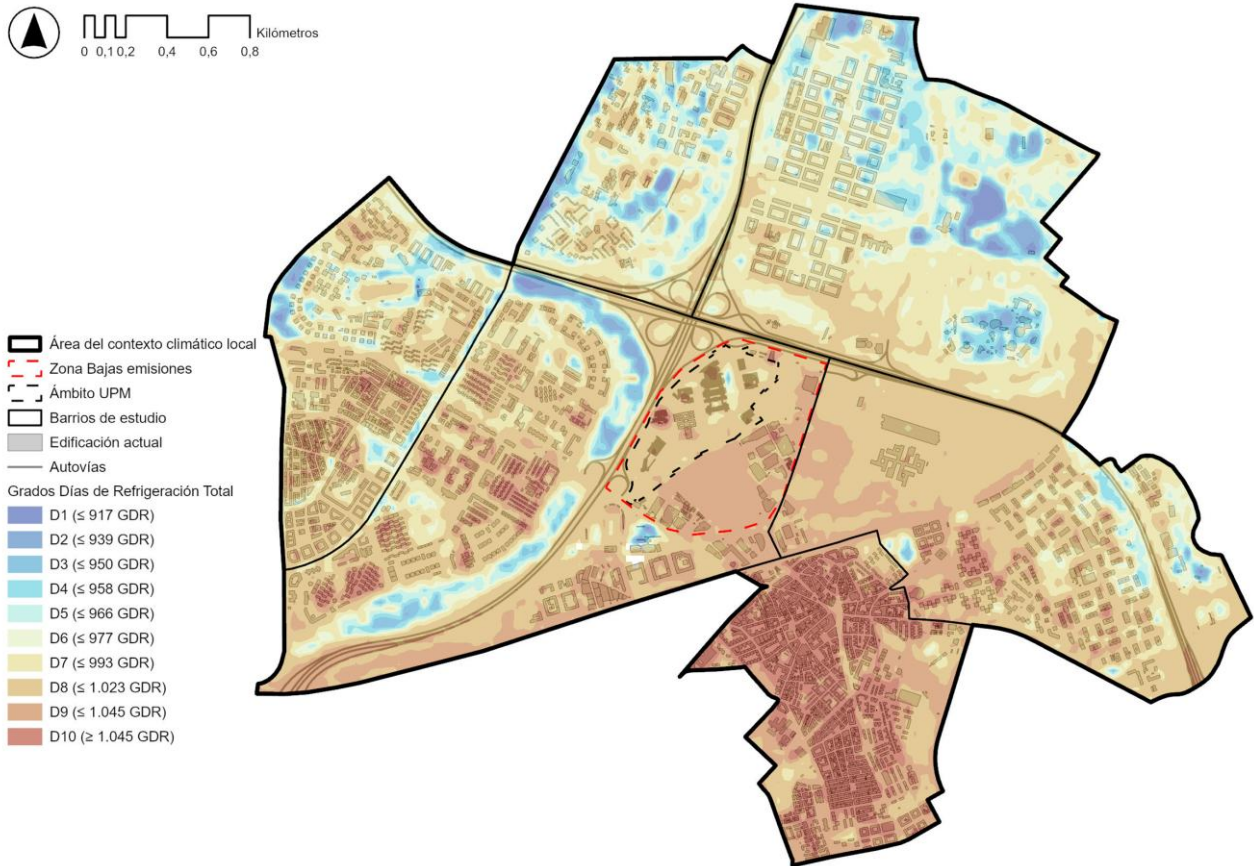


Figura 16. Mapa de severidad climática total. Análisis de datos del municipio de Madrid medido en deciles. Elaboración propia.

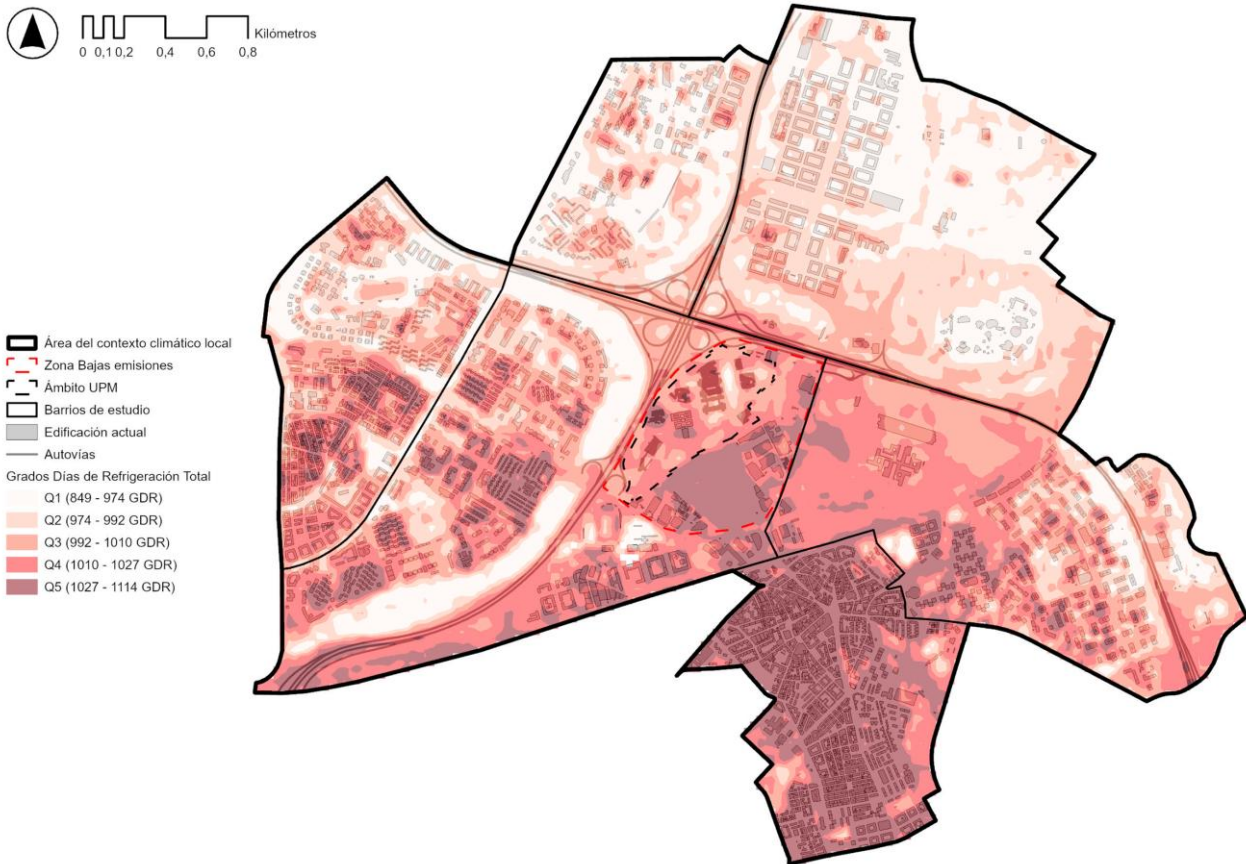


Figura 17. Mapa de severidad climática total. Datos del contexto microclimático medidos en quintiles. Elaboración propia.

2.4.4. Conclusiones del estudio de severidad climática:

Se puede observar una clara heterogeneidad térmica a partir de los resultados de severidad climática para los diferentes momentos del día. Se observan diferencias de hasta un 46% por las horas de la noche y de un 28% en el horario diurno. Se pueden adjudicar estas diferencias significativas a las características morfotopológicas y de índices de vegetación que presentan los distintos barrios.

Dentro de Campus Sur, destacan como zonas de menor severidad climática la zona de la Arboleda y la calle Alan Turing. Si bien en términos absolutos el campus presenta valores de severidad relativamente elevados (situándose entre los tres deciles más altos del municipio durante el día), comparativamente se mantiene más fresco que los tejidos residenciales adyacentes, especialmente frente al Casco Histórico de Vallecas.

En relación con el contexto cercano de Campus Sur, el Casco Histórico de Vallecas destaca como punto principal de isla de calor urbana, concentrando los valores más altos tanto diurnos como nocturnos. Se adjudican estos resultados a su morfología compacta, escasez de vegetación y alta densidad construida. Por el contrario, los barrios de Palomeras Sur y Valdebernardo muestran niveles de severidad climática más bajos, siendo estos barrios de tejido abierto y con mayor presencia de vegetación. No obstante, comparando estas dos áreas podemos ver la influencia del pavimento en el impacto de resultados de severidad climática ya que Palomeras presenta mayores superficies de aparcamiento que tienen un impacto directo en la absorción de calor.

Por esta razón, se podría decir que Campus Sur funciona como una pieza clave en la estrategia de adaptación frente a las olas de calor ya que tiene un potencial muy alto para ser considerado como refugio climático, no solamente por su carácter de conjunto de edificios públicos y sus grandes superficies disponibles, sino principalmente por su ubicación, estructura morfológica y presencia de vegetación de calidad. Campus Sur funciona como elemento clave en el desarrollo de propuestas de campus universitarios como refugios climáticos dado que el ámbito es uno de los sectores a nivel municipal con mayores valores de severidad climática y, por tanto, una zona de especial interés para su priorización.

3 Análisis microclimático de Campus Sur

3.1 Análisis cuantitativo del microclima

Las ciudades están conformadas por un conjunto de variables que, al interactuar entre sí, modifican la atmósfera y dan lugar a lo que hoy conocemos como clima urbano. Estas variables se agrupan en dos grandes categorías: por un lado, aquellas asociadas a la forma urbana, y por otro, las relacionadas con las actividades antropogénicas. El primer grupo incluye los materiales, superficies y la morfología urbana, cuyos atributos influyen directamente en el entorno inmediato. Estas características determinan la capacidad de la ciudad para absorber, reflejar y emitir radiación, así como retener agua (Oke et al., 2017).

Estudiar las variables que intervienen en esta transformación del clima en la escala microclimática en Campus Sur es fundamental para comprender estos procesos. Facilitará, además, la toma de decisiones informadas en un contexto de adaptación y mitigación al cambio climático, especialmente en entornos urbanos donde las condiciones microclimáticas afectan tanto al bienestar de las personas como a la eficiencia energética de las edificaciones.

Por ello, el objetivo de este apartado es caracterizar las variables que afectan a las condiciones microclimáticas en el área de estudio. Esta caracterización se aborda desde una perspectiva cuantitativa, considerando variables que han sido ampliamente estudiadas por la comunidad científica.

3.1.1. Metodología

Para llevar a cabo el análisis microclimático en Campus Sur, en primer lugar, se realiza una selección de indicadores objetivo. A continuación, se lleva a cabo un análisis de cada uno de ellos utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG). Esto ha permitido el procesamiento de datos geoespaciales obtenidos a partir de imágenes satelitales, así como un levantamiento 3D del entorno utilizando información capturada mediante vuelos equipados con sensores LiDAR¹ con una densidad de 5 puntos por metro cuadrado. Adicionalmente, se ha utilizado *Ladybug*, un conjunto de herramientas de código abierto que permiten analizar y simular condiciones de confort térmico.

El primer indicador considerado en este análisis es el de **radiación solar incidente sobre paramentos horizontales**. Se estimó para los meses de junio, julio, agosto y septiembre, obteniendo un mapa de radiación solar para cada uno de estos meses. En una primera iteración, los resultados obtenidos consideraban únicamente la volumetría de los edificios. Luego, en una segunda iteración, se incluyó la presencia de la vegetación para visualizar de qué forma influye su presencia en estos espacios.

El segundo indicador considerado ha sido el de **frecuencia de sombras**. Este permite identificar las superficies que, a lo largo del día, permanecen más tiempo en sombra, así como aquellas más expuestas a la radiación solar. Los resultados obtenidos permiten identificar espacios convenientemente e insuficientemente sombreados, lo que facilitará la detección de áreas potenciales de intervención. Esto incluirá tanto la optimización de los espacios sombreados en las horas clave de protección frente a la radiación solar como la identificación de zonas que requieran más sombra.

¹ [Instituto Geográfico Nacional](#) (2024). Obra derivada de LiDAR-PNOA-cob3 2022-2025 CC-BY 4.0 [scne.es](#)

El tercer indicador es el **índice de permeabilidad de los suelos**. Los suelos permeables permiten la filtración del agua, lo que favorece la refrigeración natural en conjunto con la vegetación a través de la evapotranspiración, ayudando a mitigar las altas temperaturas. En contraparte, las superficies impermeables, alteran el balance hídrico y radiativo superficial, disminuyendo o perdiendo el efecto de enfriamiento natural.

El cuarto y último indicador evalúa el **bienestar higrotérmico en el exterior**. Para evaluar el confort térmico se utilizó el índice biometeorológico Universal Thermal Climate Index (UTCI), el cual mide la sensación térmica en el exterior considerando factores como la temperatura, la humedad, la velocidad del viento y la radiación solar.

3.1.2. Resultados

Análisis de radiación solar

La radiación solar se ha calculado en base a un promedio diario mensual para los meses de junio, julio, agosto y septiembre, expresando los valores en kWh/m²/día. El análisis se realizó en dos iteraciones: en la primera se consideró exclusivamente la volumetría del parque edificado, mientras que en la segunda se incorporó, además, la presencia de vegetación. El objetivo de esta doble iteración es representar gráficamente el efecto atenuante de la vegetación en la radiación solar incidente sobre las superficies expuestas.

Los resultados sitúan a los meses de junio y julio como los de mayor promedio mensual de radiación solar, alcanzando un valor máximo de 6,91 kWh/m²/día. En contraste, septiembre presenta el valor más bajo entre los cuatro meses analizados, con un mínimo de 4,94 kWh/m²/día.

Las zonas más expuestas a la bóveda celeste —principalmente áreas abiertas sin elementos que limiten la incidencia solar— registran los valores de mayor radiación. Por el contrario, los valores más bajos se localizan en las proximidades de los edificios, especialmente en los espacios intermedios que quedan entre los distintos campus. Asimismo, las áreas con grandes masas de vegetación, como las situadas en la calle Alan Turing o entre la calle Mercator y Arboleda, contribuyen significativamente a la reducción de la radiación solar incidente sobre el suelo.

La segunda iteración del análisis permite evaluar el efecto de la vegetación sobre la radiación solar. Se observa una diferencia de hasta un 3,44 kWh/m²/día en junio y julio, 3,37 kWh/m²/día en agosto y 2,81 kWh/m²/día en septiembre entre las zonas con mayor y menor exposición. En términos porcentuales, la vegetación puede reducir en promedio hasta un 52% la radiación solar que alcanza las superficies.

En el Anexo 1. se incluyen todos los **Mapas de radiación solar** en una escala que permite visualizar con mayor detalle los resultados.



Figura 18. Radiación solar para el mes de junio. Los valores indican el promedio diario mensual de radiación solar recibida en las superficies. A la izquierda, resultados de radiación solar sin arbolado existente. A la derecha, resultados considerando el arbolado existente. Elaboración propia.

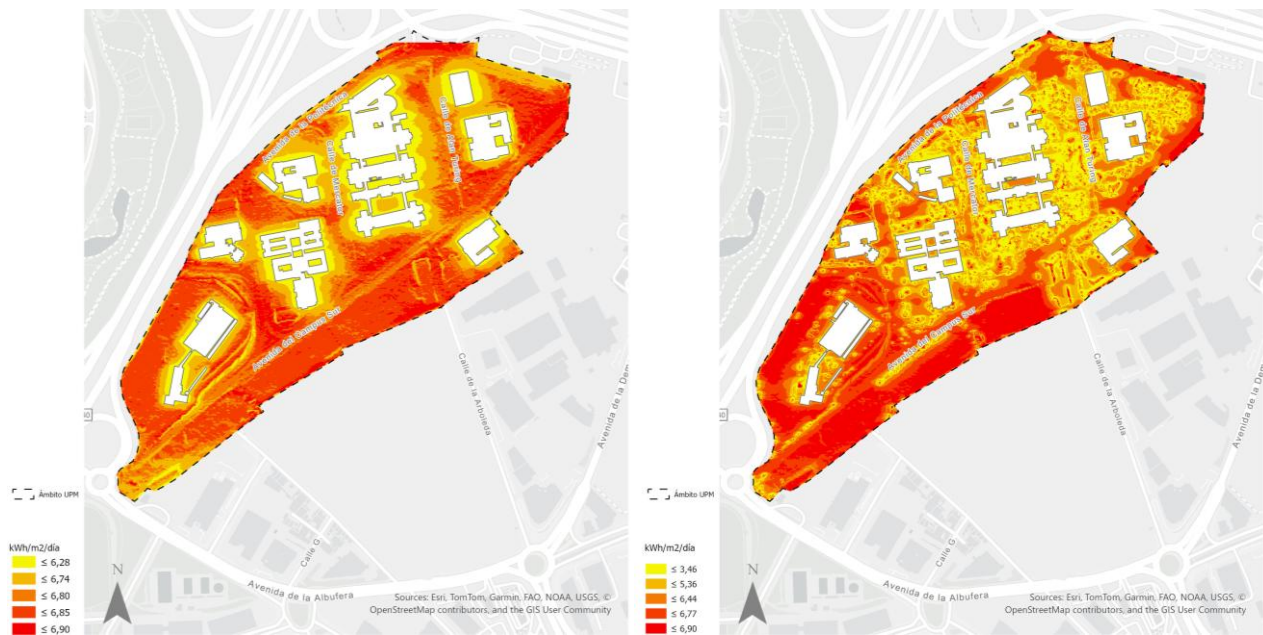


Figura 19. Radiación solar para el mes de julio. Los valores indican el promedio diario mensual de radiación solar recibida en las superficies. A la izquierda, resultados de radiación solar sin arbolado existente. A la derecha, resultados considerando el arbolado existente. Elaboración propia.

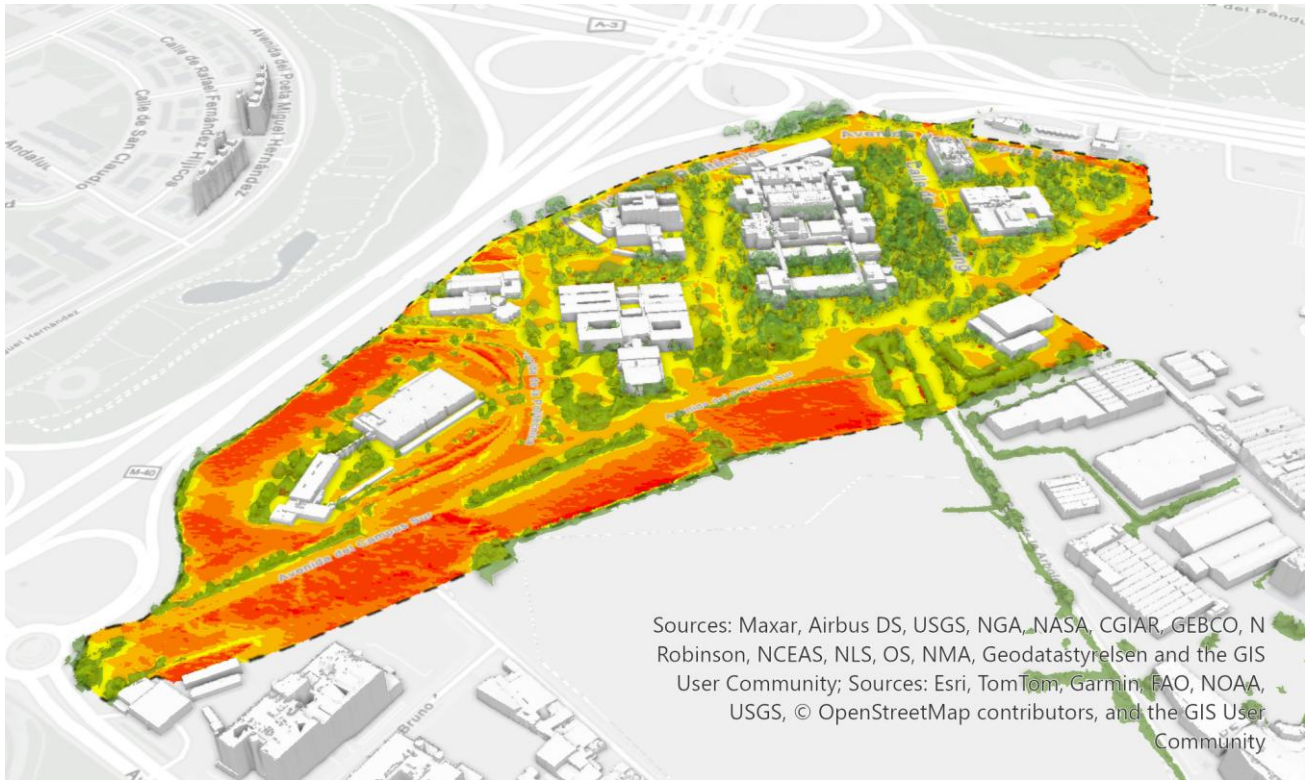


Figura 20. Imagen 3D del ámbito de estudio donde se muestra el arbolado considerado para el estudio de radiación solar del mes de julio. Elaboración propia.

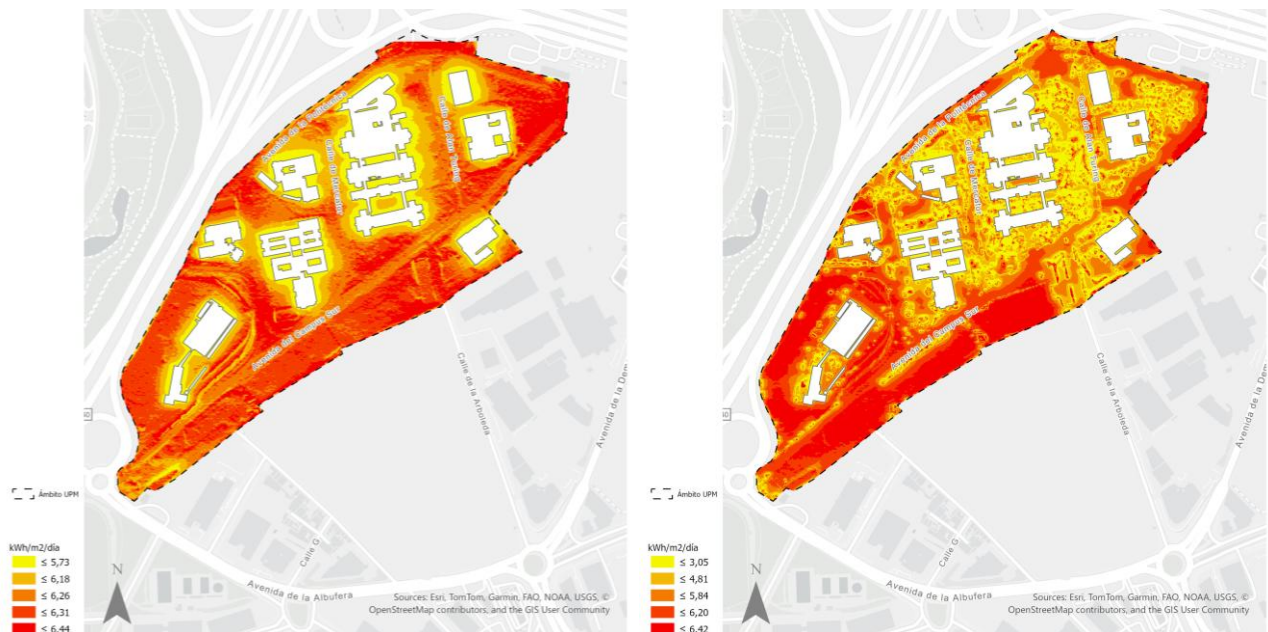


Figura 21. Radiación solar para el mes de agosto. Los valores indican el promedio diario mensual de radiación solar recibida en las superficies. A la izquierda, resultados de radiación solar sin arbolado existente. A la derecha, resultados considerando el arbolado existente. Elaboración propia.

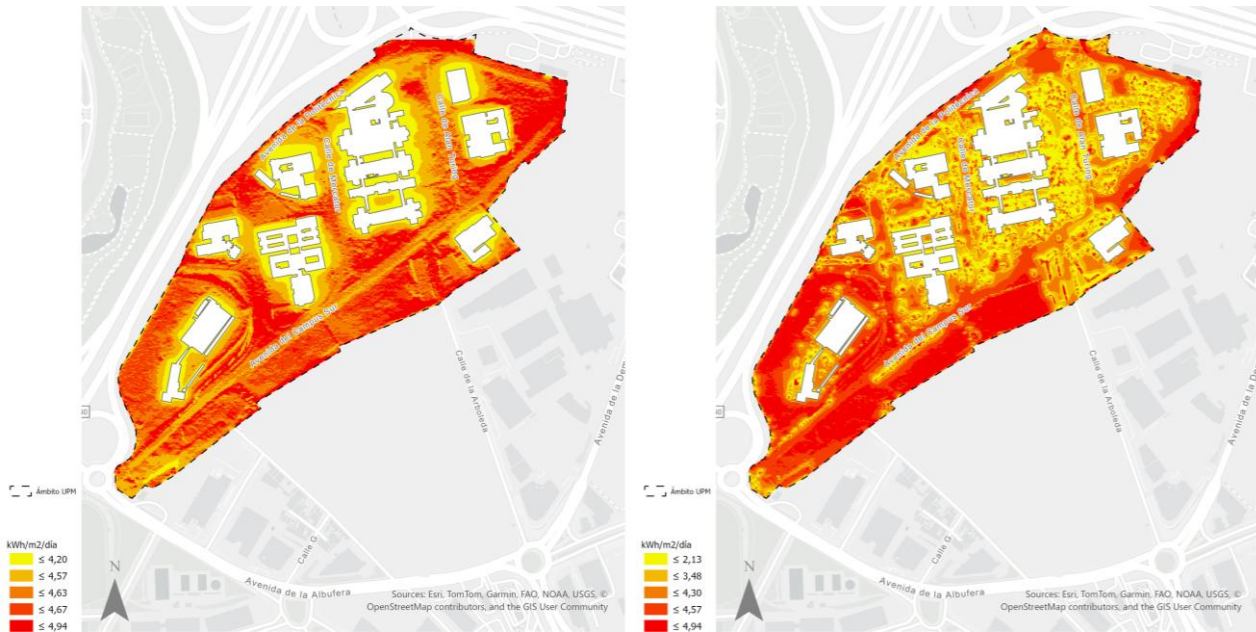


Figura 22. Radiación solar para el mes de septiembre. Los valores indican el promedio diario mensual de radiación solar recibida en las superficies. A la izquierda, resultados de radiación solar sin arbolado existente. A la derecha, resultados considerando el arbolado existente. Elaboración propia.

Análisis de Frecuencia de sombras

A continuación, se presentan los resultados para el cálculo de la frecuencia de sombras. Este indicador se ha calculado para el día 20 para los meses de junio (solsticio de verano), julio, agosto y septiembre de 2024. Considerando el interés en poder identificar aquellas zonas que carecen de sombras en verano, el horario analizado se situó entre las 10:00 h y las 19:00 h. La escala de colores representa la cantidad de horas que una superficie dada se encuentra en sombra.

Al igual que en el análisis de radiación solar, aquí se han realizado dos iteraciones: una en la que solamente se han considerado los edificios existentes y otra, en la que se ha incluido además del parque edificado, la vegetación.

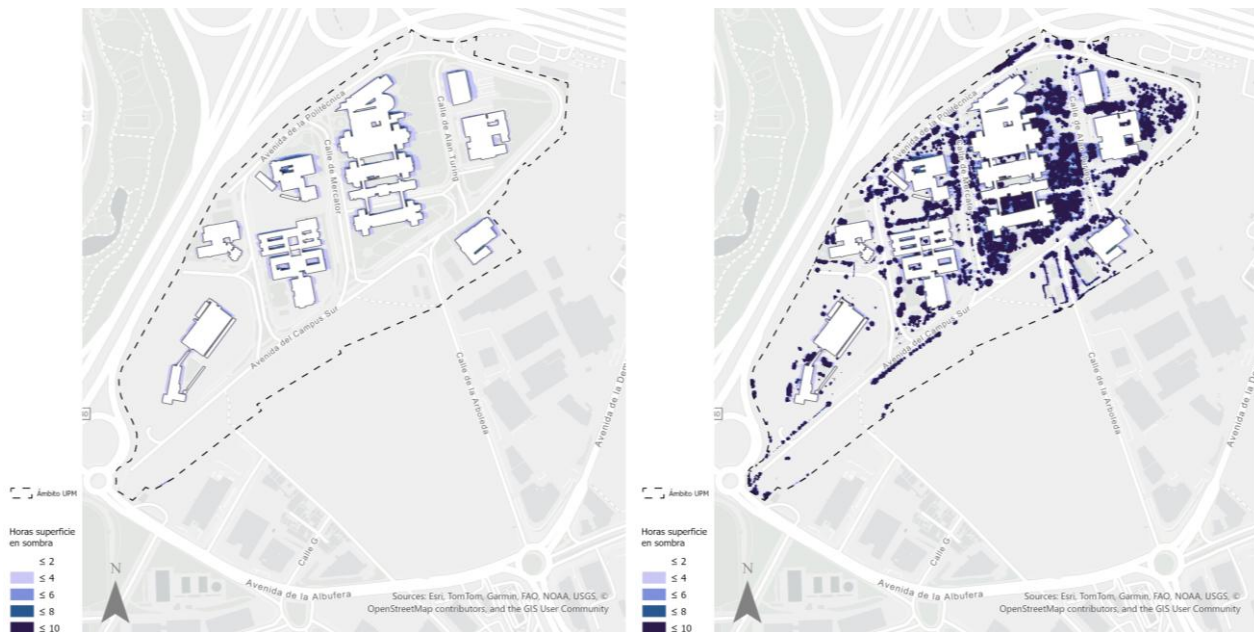


Figura 23. Frecuencia de sombras para el día 20 de junio 2024 (solsticio de verano). Los valores indican la cantidad de horas en que una superficie dada se encuentra en sombra durante la franja de las 10:00 y 19:00 h. A la izquierda, resultados sin considerar el arbolado. A la derecha, resultados con el arbolado existente. Elaboración propia.



Figura 24. Vista 3D Frecuencia de sombras para el día 20 de junio 2024 (solsticio de verano), entre las 10:00 y 19:00 h, sin considerar la presencia de vegetación. En la imagen de derecha a izquierda: Centro Superior de Diseño de Moda de Madrid (CSDMM); Centro de Informática y Comunicaciones (ETSISI) y Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación (ETSIST). Elaboración propia.

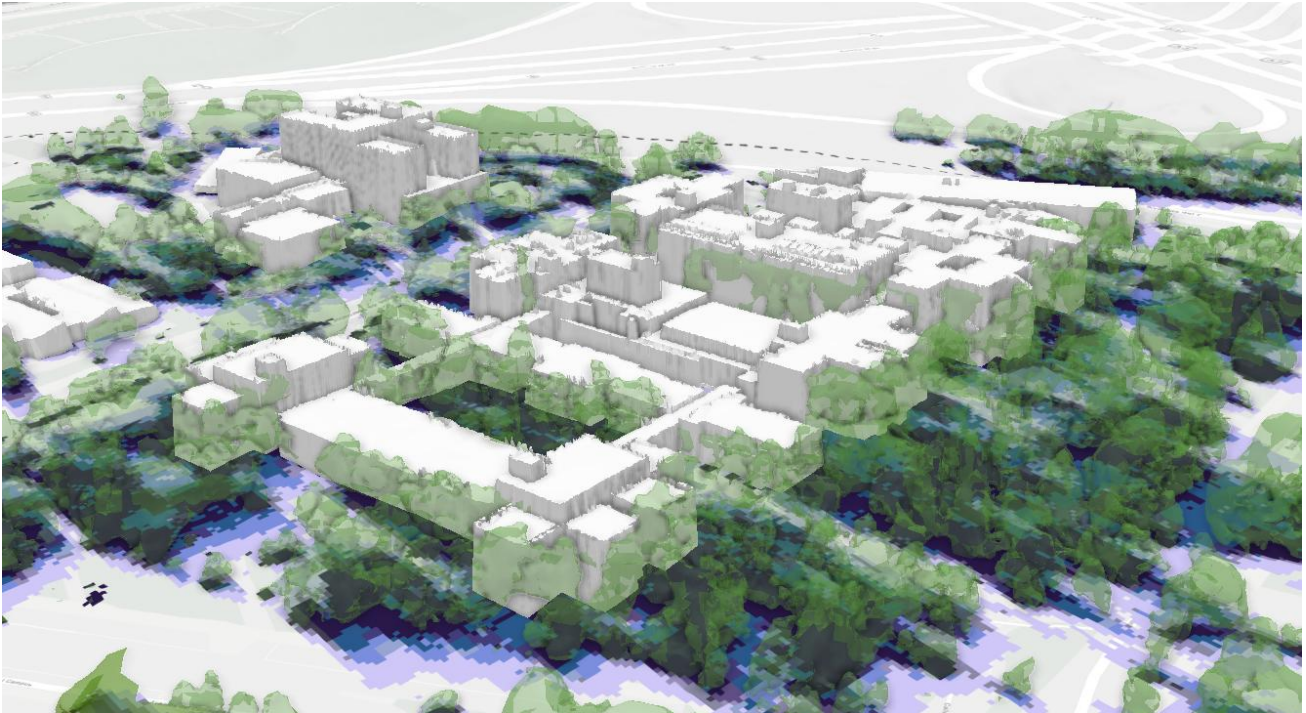


Figura 25. Vista 3D Frecuencia de sombras para el día 20 de junio 2024 (solsticio de verano), entre las 10:00 y 19:00 h, considerando la presencia de vegetación. En la imagen de derecha a izquierda: Centro Superior de Diseño de Moda de Madrid (CSDMM); Centro de Informática y Comunicaciones (ETSISI) y Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación (ETSIST). Elaboración propia.

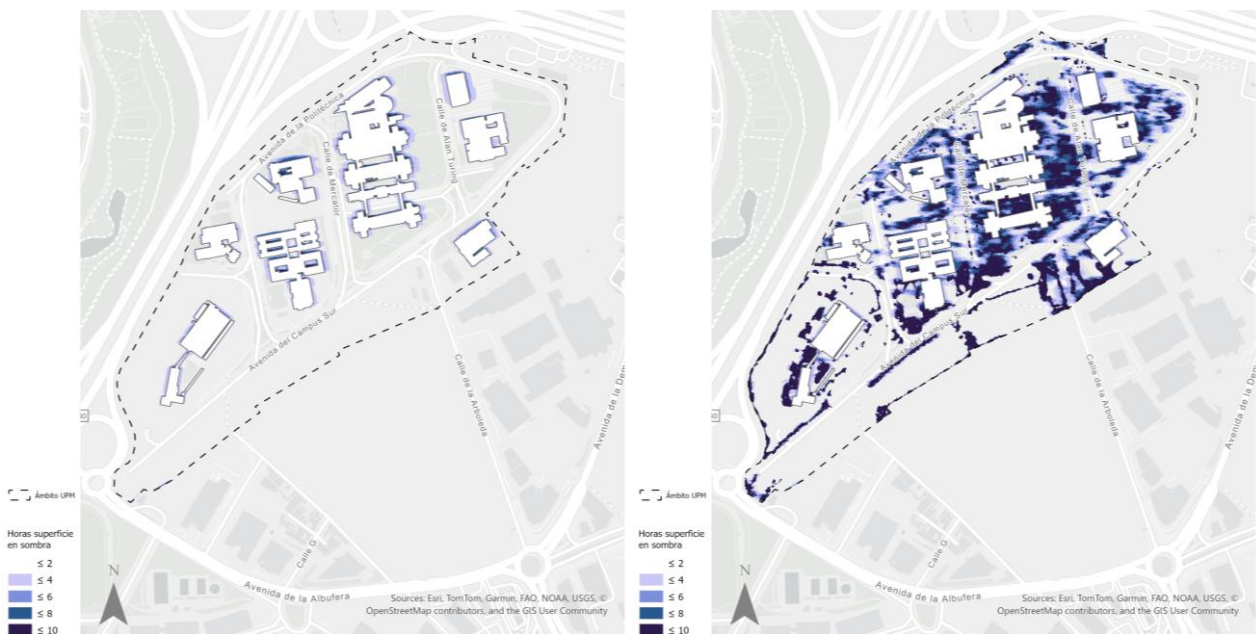


Figura 26. Frecuencia de sombras para el día 20 de julio 2024 (solsticio de verano). Los valores indican la cantidad de horas en que una superficie dada se encuentra en sombra durante la franja de las 10:00 y 19:00 h. A la izquierda, resultados sin considerar el arbolado. A la derecha, resultados con el arbolado existente. Elaboración propia.

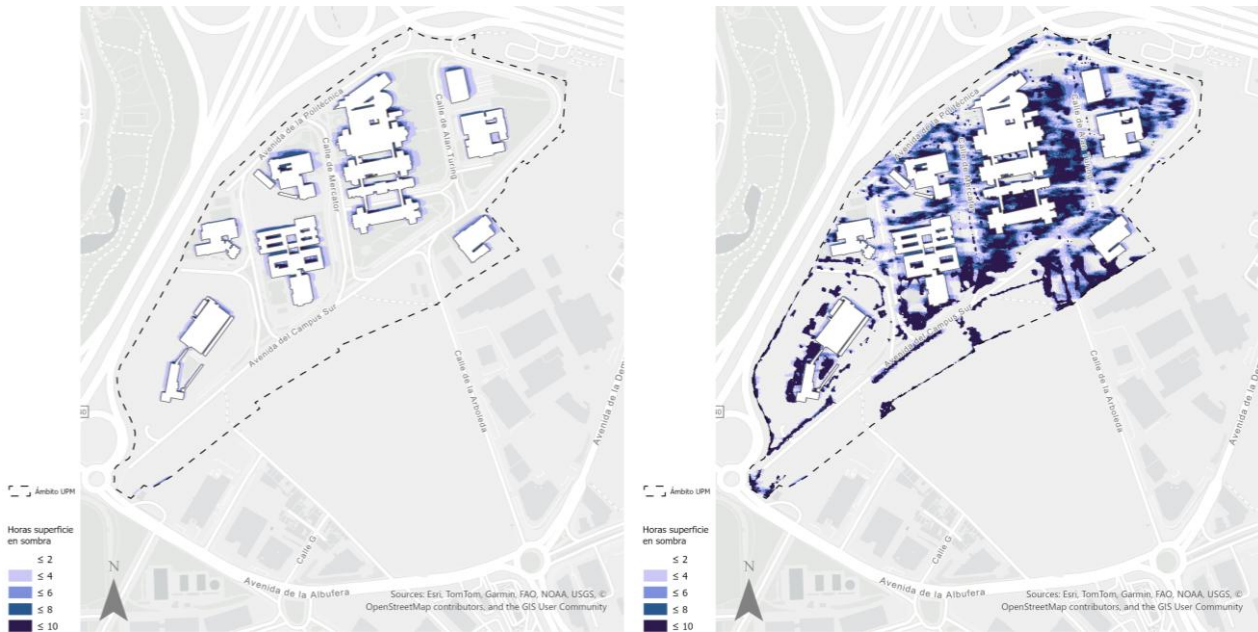


Figura 27. Frecuencia de sombras para el día 20 de agosto 2024 (solsticio de verano). Los valores indican la cantidad de horas en que una superficie dada se encuentra en sombra durante la franja de las 10:00 y 19:00 h. A la izquierda, resultados sin considerar el arbolado. A la derecha, resultados con el arbolado existente. Elaboración propia.

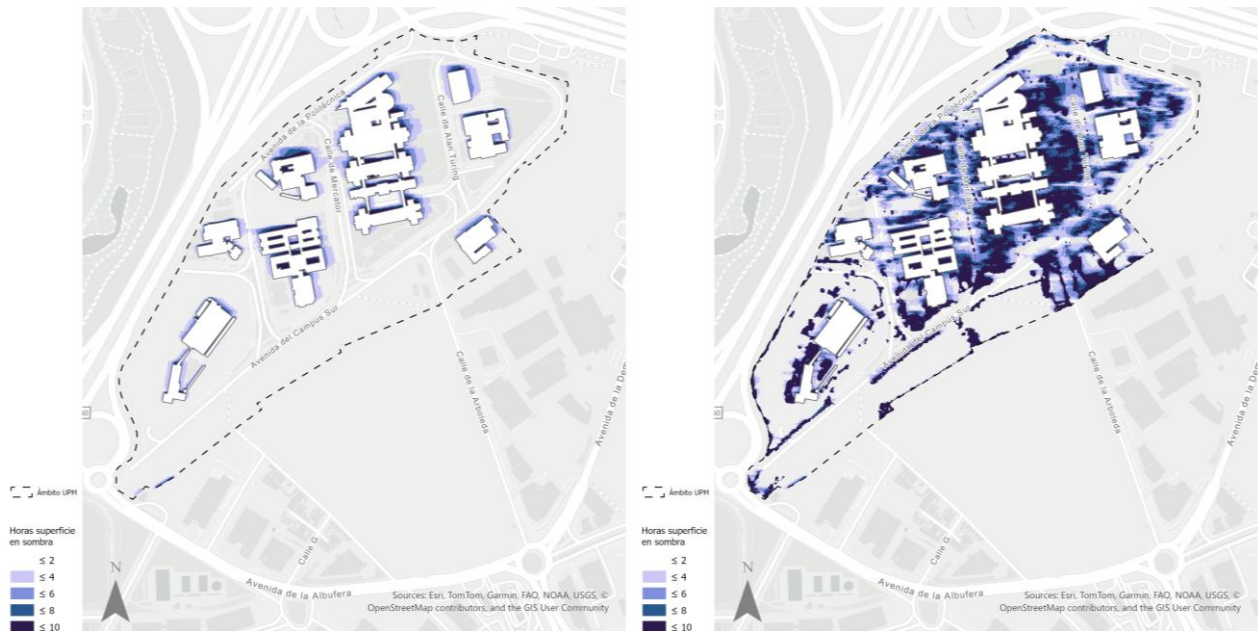


Figura 28. Frecuencia de sombras para el día 20 de septiembre 2024 (solsticio de verano). Los valores indican la cantidad de horas en que una superficie dada se encuentra en sombra durante la franja de las 10:00 y 19:00 h. A la izquierda, resultados sin considerar el arbolado. A la derecha, resultados con el arbolado existente. Elaboración propia.

En cuanto a los resultados, se observa que durante los meses de verano hay una escasa presencia de sombra en las zonas de mayor circulación peatonal, en especial en la calle de La Arboleda que corresponde al itinerario

que conecta las estaciones de Metro Sierra de Guadalupe y Vallecas de Cercanías con Campus Sur. Misma situación se observa en la Avda. del Campus Sur donde se encuentran las principales paradas de autobús.

En general, debido a la orientación de los edificios de Campus Sur, las fachadas este y oeste son las que acumulan un mayor de horas en sombra. Al considerar además la presencia de la vegetación, se observa que las zonas arboladas situadas al este de la ETSIST y del CITSEM constituyen los espacios con mayor superficie sombreada.

A partir de los resultados, se analizó el efecto de la vegetación en la ampliación de las áreas en sombra durante la franja horaria comprendida entre las 10:00 h y las 19:00 h. Para ello, se tomó como referencia las superficies que permanecen en sombra durante 4 horas o menos. La comparación entre los mapas con y sin vegetación muestra que la presencia de arbolado incrementa en promedio un 27% de la superficie en sombra.

Análisis de Impermeabilidad de los suelos

Para el análisis de impermeabilidad de los suelos se ha utilizado el producto 'Imperviousness Density' del Servicio de Vigilancia Terrestre de Copernicus. Este dataset, con una resolución de 10 metros por píxel, representa el porcentaje de impermeabilidad del suelo, donde valores más bajos indican menor impermeabilidad y valores más altos, mayor impermeabilidad.

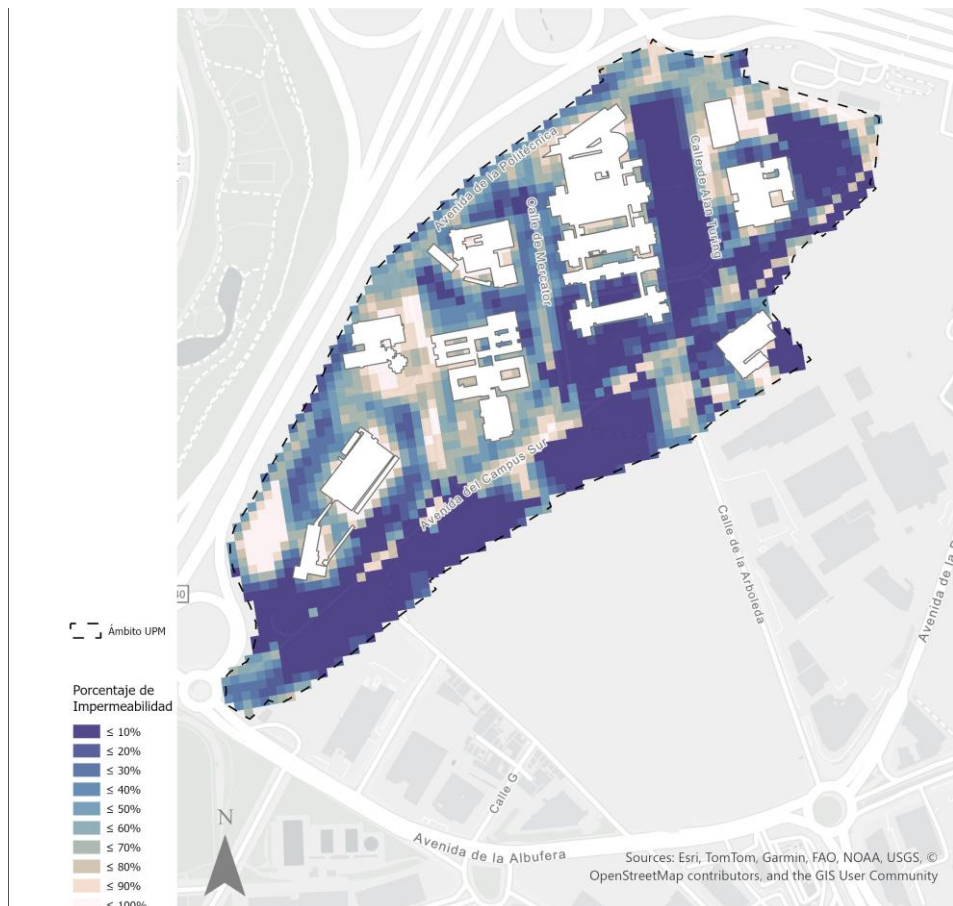


Figura 29. Mapa de Impermeabilidad de los suelos (2018). Fuente datos: Servicio de Vigilancia terrestre de Copernicus.

En el mapa se observa una distribución de valores elevados de impermeabilidad en las áreas edificadas, y en las infraestructuras viales (calle de la Arboleda, Avda. del Campus Sur), mientras que los espacios abiertos

presentan menor impermeabilización. La zona oeste del ámbito de estudio tiene porcentajes altos que se sitúan entre un 70 y un 100%, lo que indica presencia de pavimentos y zonas edificadas. Sin embargo, se aprecian zonas con una menor impermeabilidad como son las zonas del sector este del ámbito y el borde hacia el sur de la Avda. del Campus Sur, donde la presencia de vegetación y suelos desnudos es prominente.

Análisis de Bienestar Higrotérmico exterior

Para calcular y analizar el bienestar higrotérmico exterior se utilizó el índice Universal de Clima Térmico (UTCI, por sus siglas en inglés) es una medida estandarizada que evalúa el confort térmico humano en espacios exteriores. Integra variables como la temperatura del aire, la humedad relativa, la velocidad del viento y la radiación térmica. Su principal ventaja es la capacidad de representar el impacto combinado de estas condiciones sobre el cuerpo humano, permitiendo una evaluación objetiva y comparable del estrés térmico en entornos urbanos.

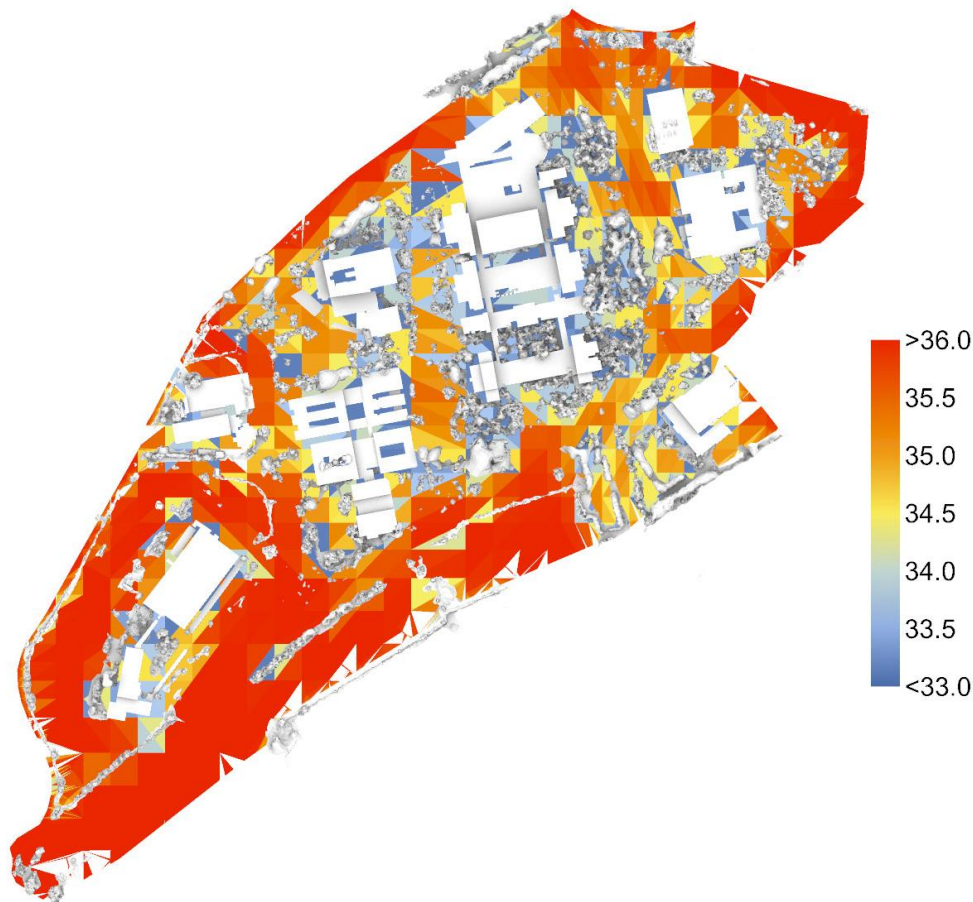


Figura 30. Índice UTCI calculado para el mes de julio a las 15.00 h. Los valores están expresados en grados Celsius (°C).

El UTCI se representa mediante un valor numérico expresado en grados Celsius (°C), similar a la temperatura del aire, lo que facilita su interpretación. Este valor no indica la temperatura real, sino la temperatura equivalente fisiológica que una persona sentiría bajo determinadas condiciones climáticas.

De acuerdo con la escala del UTCI, en el ámbito de estudio los valores más bajos se sitúan entre los 33 °C y los 36 °C, lo que corresponde a la categoría de estrés térmico fuerte. Las zonas exteriores más confortables coinciden principalmente con áreas que cuentan con cobertura vegetal, como ocurre con el arbolado ubicado en el lado oeste de la calle Alan Turing, que se encuentra más protegido frente a la radiación solar. En contraste, en la fachada oeste del edificio ETSIST, junto a la calle Mercator, aunque se registran algunos de los valores más bajos de UTCI, su extensión es muy limitada debido a la escasa presencia de elementos que proporcionen sombra, siendo además una de las zonas más expuestas a la radiación solar directa. Por último, en las áreas completamente expuestas a la bóveda celeste se observan las condiciones más desfavorables, con los valores más elevados de UTCI en todo el ámbito analizado.

3.1.3. Conclusiones análisis cuantitativo

El presente análisis microclimático ha permitido caracterizar, desde una perspectiva cuantitativa, las principales variables que influyen en las condiciones térmicas y ambientales de Campus Sur, con el objetivo de aportar información útil para la planificación urbana orientada a la adaptación al cambio climático. Los resultados obtenidos evidencian la relevancia que tienen las características de los materiales en cuanto a su permeabilidad, así como la cobertura vegetal sobre el comportamiento térmico del entorno, con especial atención en los meses estivales.

En primer lugar, el estudio de radiación solar incidente mostró una marcada exposición en zonas abiertas y desprovistas de vegetación, alcanzando valores máximos de hasta 6,91 kWh/m²/día en los meses de junio y julio. La comparación entre escenarios con y sin arbolado permitió contrastar el efecto atenuador de la vegetación, capaz de reducir en promedio hasta un 52% de la radiación solar sobre las superficies. Este dato subraya la importancia de preservar y ampliar la cobertura vegetal en espacios estratégicos, como patios y recorridos peatonales para mitigar el sobrecalentamiento superficial y mejorar el confort térmico exterior.

El análisis de la frecuencia de sombras refuerza esta necesidad, revelando una escasez crítica de sombra en zonas clave de tránsito peatonal, como la calle de La Arboleda y la Avenida del Campus Sur, ejes que conectan las estaciones de transporte público con los edificios universitarios. La inclusión de vegetación en la modelización muestra un incremento promedio del 27 % en la superficie sombreada durante las horas de mayor exposición solar, lo que pone en valor el papel del arbolado como infraestructura verde esencial en entornos educativos de alta circulación.

En relación con la permeabilidad del suelo, los datos reflejan una elevada proporción de superficies impermeables, especialmente en el sector oeste del campus, donde predominan edificaciones y pavimentos. Este patrón limita los procesos naturales de infiltración y evapotranspiración, fundamentales para el enfriamiento pasivo del entorno. Sin embargo, se identificaron áreas con menor grado de impermeabilización —principalmente en el sector este y en bordes vegetados— que pueden considerarse como oportunidades para ampliar superficies permeables y reforzar la resiliencia climática del campus.

Finalmente, la evaluación del confort térmico mediante el índice UTCI proporciona una visión integrada del bienestar higrotérmico en exteriores, incorporando variables como temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación. Los resultados evidencian que los valores más bajos de UTCI, correspondientes a la categoría de *estrés térmico fuerte*, se localizan en áreas con mayor presencia de vegetación, como el entorno arbolado del lado oeste de la calle Alan Turing, que se encuentra más protegido de la radiación solar. En cambio, las zonas expuestas directamente al sol, especialmente aquellas carentes de sombra o cobertura vegetal —como la fachada oeste del edificio ETSIST y los espacios abiertos del campus—, presentan los valores más elevados

de UTCI, lo que indica condiciones térmicas considerablemente más desfavorables para el uso peatonal en verano. Esta información reafirma la necesidad de estrategias de diseño climático que prioricen el uso de vegetación y materiales permeables para mejorar el confort térmico y la habitabilidad de los espacios exteriores del campus.

3.2 Análisis cualitativo del microclima

El análisis cuantitativo desarrollado en el apartado anterior se complementa con el análisis cualitativo que se presenta a continuación. En este sentido, la información sobre los fenómenos climáticos urbanos, el uso de espacios exteriores, la movilidad de los habitantes y las actividades que se desarrollan en el barrio y el campus resultan esenciales para identificar espacios de oportunidad. Este conocimiento, que proviene directamente de las personas usuarias del campus, permitirá complementar la toma de decisiones sobre las potenciales intervenciones a desarrollar en Campus Sur.

3.2.1. *Objetivo*

El propósito de este análisis es el de obtener datos de primera mano de quienes utilizan el campus para elaborar un diagnóstico que permita comprender e identificar el uso, funcionamiento e interacciones en el espacio urbano. Esto posibilitará detectar áreas de mejora y priorizar acciones en el campus, el espacio público y el tejido urbano.

3.2.2. *Metodología*

La metodología consiste en caracterizar la zona a partir del conocimiento que la ciudadanía aporta en el ámbito de estudio. Se organizaron sesiones de mapeo colaborativo, durante las cuales los usuarios identificaron problemáticas y propusieron soluciones mediante el conocimiento activo de la comunidad y el codiseño participativo (véase **Figura 31**).

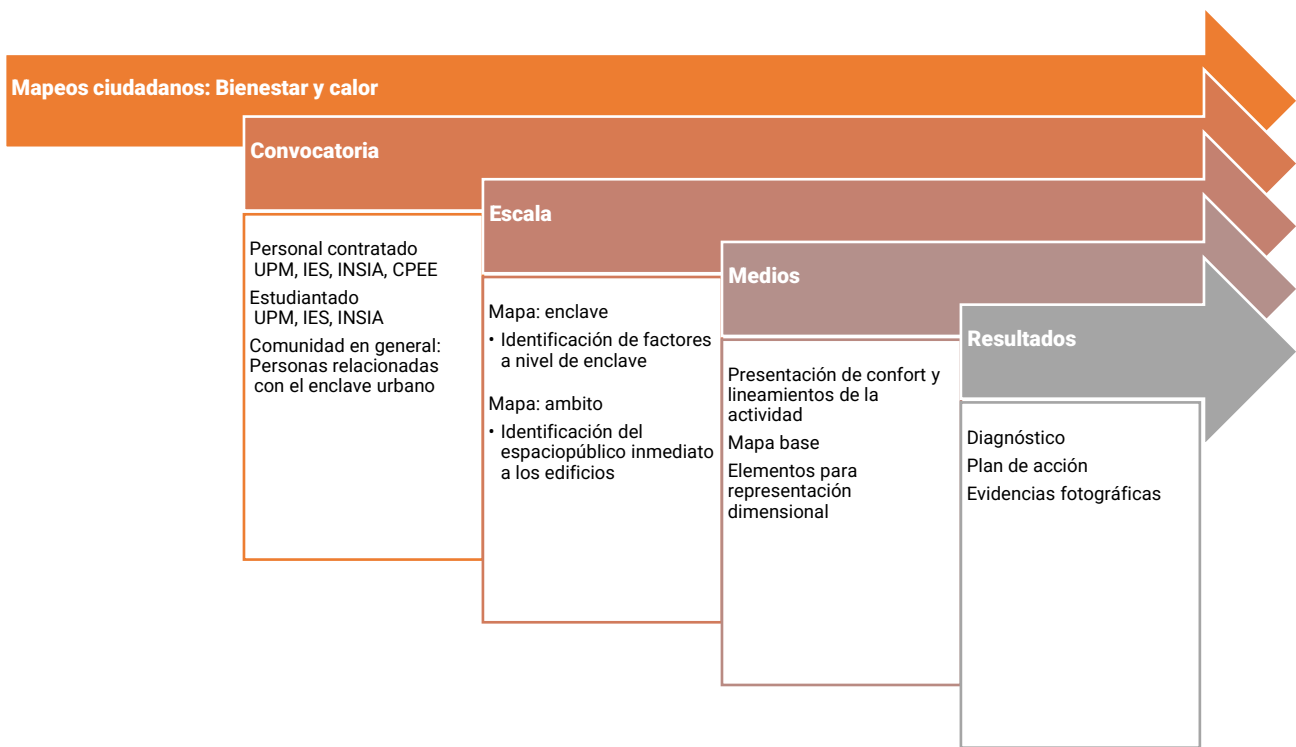


Figura 31 Metodología basada en la desarrollada por Torrego-Gómez et al. (2024).

La convocatoria a los talleres se efectuó a través de correo electrónico a personal docente e investigador (PDI), personal técnico, de gestión administración y servicios (PTGAS) y delegaciones de estudiantes de los distintos centros de Campus Sur, así como a representantes de centros educativos ubicados en el campus (colegio e instituto). Además, se colocó cartelería en diversos edificios (véase **Figura 32**) y se difundió la invitación mediante redes sociales. Se puso a disposición un formulario de contacto para confirmar la asistencia y facilitar la comunicación posterior con los participantes.

Cada uno de los talleres se organizaron en dos fases: una sesión introductoria con registro de actividades, y una caracterización espacial colaborativa. En cada uno de estos talleres participaron cuatro miembros del equipo investigador que redacta el presente informe.



Mapeo climático: Calor y bienestar en Campus Sur

ACCIONES DE INNOVACIÓN CLIMÁTICA
ÁREA DE OPORTUNIDAD CAMPUS SUR

¿QUIÉN?

Todas las personas que habitan o trabajan en CAMPUS SUR (Estudiantes, PDI, PTGAS, personal de limpieza, etc. de la UPM y personal docente y administrativo del IES Palomeras Vallecas y CPEE Vallecas)

¿CUÁNDO?

Elige uno de los dos días para participar en los talleres!
- Martes 11 de marzo 12.00 h a 14.00h
- Miércoles 12 de marzo 15:30h a 17:30h

¿DÓNDE?

Aula A3001 ETS Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación
(Campus Sur - UPM)
Nikola Tesla s/n (Madrid)



CONFIRMA TU
INSCRIPCIÓN



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID

CONVENIO ACCIONES DE INNOVACIÓN CLIMÁTICA URBANA EN ÁREAS DE OPORTUNIDAD EN EL
MARCO DE LA MISIÓN EUROPEA DE CIUDADES CLIMÁTICAMENTE NEUTRAS E INTELIGENTES EN EL
EUROPEAN CITY OF MADRID Y LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



MADRID
Urbanismo,
Medio Ambiente
y Movilidad

Figura 32 Cartel de invitación colocado en los distintos centros de Campus Sur, y distribuidos a través de correo electrónico y redes sociales. Elaboración propia.

Sesión introductoria con registro de actividades

Las personas participantes asistieron a una sesión introductoria enfocada en el bienestar y el clima urbano durante la época estival. Se les mostraron los resultados preliminares del análisis del clima local en Campus Sur a través de los mapas de severidad climática (véase apartado 2.4), apuntando a la pertinencia de contar con su experiencia como usuarios/as del campus a la hora de completar el análisis.

Tras finalizar esta introducción, se les solicitó completar un registro de actividades a través de un formulario proporcionado por la organización del taller. En este formulario, se debía recoger la experiencia de un día típico de verano en el campus, describiendo tanto los recorridos como los lugares visitados. Esto permite obtener indicios sobre las actividades desarrolladas por las personas usuarias y orientar, en consecuencia, la fase de caracterización espacial colaborativa.

Caracterización espacial colaborativa

Una vez recopilada la experiencia de un día típico de verano, desde la coordinación del taller se dio comienzo a la fase de mapeo colaborativo. Para ello se estableció una batería de códigos comunes para llevar a cabo la identificación de elementos y zonas de interés. Para ello se facilitaron los materiales necesarios para señalar sus aportaciones en el mapa tanto dentro de Campus Sur como en su entorno urbano. Se emplearon los siguientes elementos (ver **Figura 33**):

- **Sombrillas de papel:** para identificar refugios climáticos, enclaves o actividades temporales durante el verano.
- **Chinchetas amarillas:** para señalar puntos de calor moderado.
- Chinchetas rojas: para marcar puntos de calor extremo.
- **Chinchetas verdes:** para identificar zonas verdes y áreas arboladas.
- **Chinchetas azules:** para resaltar fuentes de agua o bebederos.
- **Chinchetas blancas:** para indicar áreas que deberían estar bajo sombra.
- **Acetato azul:** para representar zonas de bienestar térmico.
- **Acetato rojo:** para señalar zonas de malestar térmico.

Además, se dispusieron dos materiales adicionales para evaluar el estado de mantenimiento de las áreas del ámbito:

- **Acetato verde:** para marcar áreas verdes o arboladas con buen mantenimiento.
- **Acetato amarillo:** para identificar zonas que requieren mantenimiento o en las que este debería reforzarse.

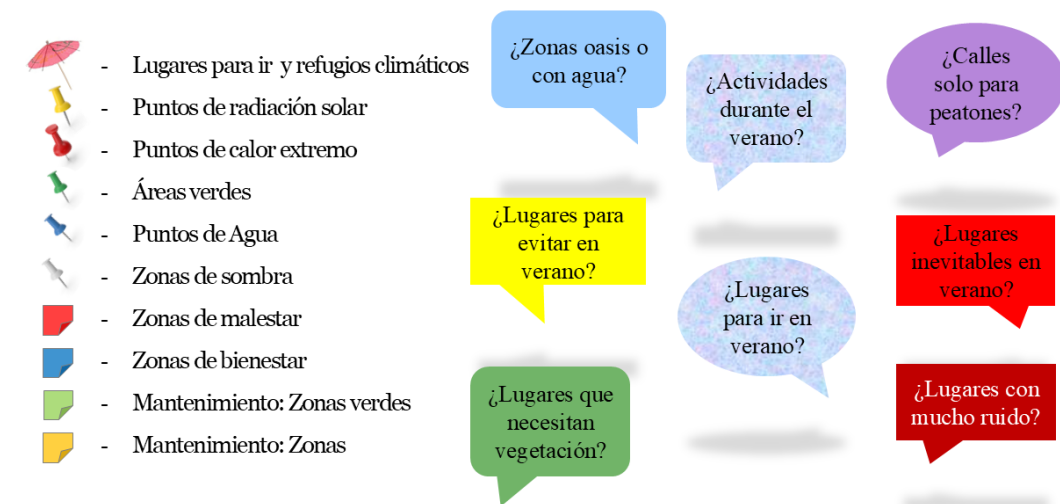


Figura 33 Descripción de los elementos utilizados durante la caracterización espacial. Elaboración propia a partir de Torrego-Gómez et al(2024).

La sesión de mapeo comenzó formulando preguntas básicas a los participantes, con el objetivo de identificar las actividades urbanas presentes tanto en el enclave como dentro del ámbito del campus. Algunos de los interrogantes fueron:

- ¿Cómo se desplaza al campus?
- ¿Es usuario de transporte público?
- ¿Cómo son sus desplazamientos en el interior del campus?
- ¿Identifica lugares como inseguros dentro del campus?
- ¿Cómo se desplaza en el interior del campus?
- ¿Considera el campus un lugar de refugio climático?
- ¿El campus cuenta con puntos de agua o fuentes?
- ¿Hay actividades temporales que suceden durante el verano?
- ¿Qué servicios del campus se quedan habilitados en verano?
- ¿Hay zonas del campus que detectes de calor medio o extremo?
- ¿Qué áreas verdes del campus usas más?
- ¿Hay puntos fríos dentro del campus?

Las respuestas se plasmaron en un mapa, asignando a cada respuesta una ubicación específica mediante los elementos descritos en los párrafos anteriores. Al concluir el taller, se retiraron los materiales utilizados y se fijaron todos los elementos al mapa con cinta adhesiva para su posterior integración en la cartografía GIS.

3.2.3. Desarrollo y resultados

Los talleres de mapeos se desarrollaron los días 11 y 12 de marzo en la Aula A3001 en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación. Participaron trece personas entre estudiantes, PTGAS (personas de mantenimiento y responsables de biblioteca), y PDI. Además, asistieron profesoras del Centro Público de Educación Especial Vallecas. El equipo facilitador estuvo conformado por personas integradas en el equipo redactor del presente documento. (Ver **Figura 34**)



Figura 34 Participantes del taller 1 (arriba) y participantes del taller 2 (abajo). Elaboración propia.

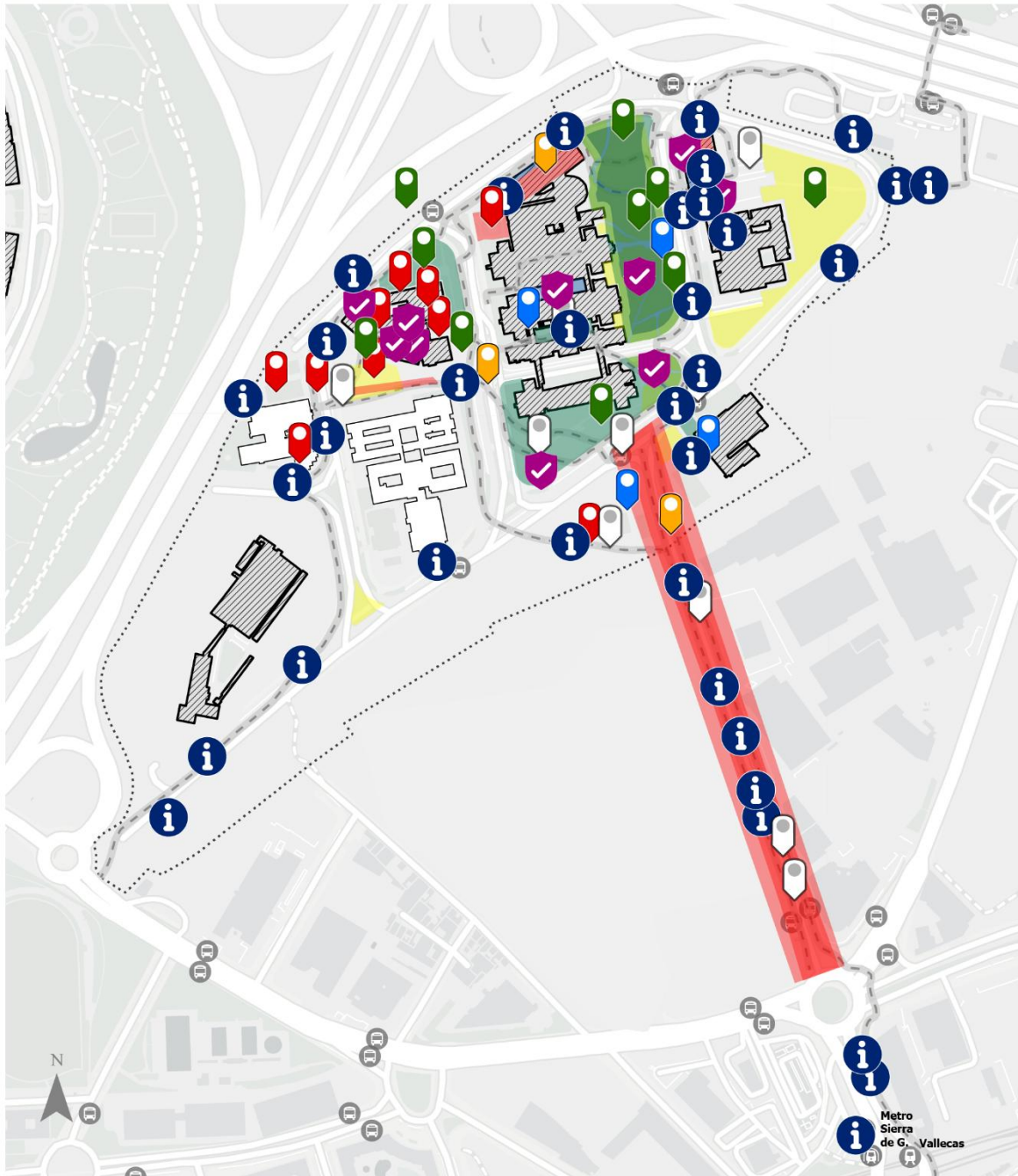
El resultado de las dos sesiones de mapeo colaborativo permitió recopilar un total de 81 comentarios de las personas participantes, siguiendo la metodología propuesta (ver **Figura 35**). Además, se añadió información

sobre el funcionamiento habitual del campus para mejorar su comprensión. Toda esta información se organizó en tres categorías:

- Movilidad: 34 anotaciones
- Bienestar: 20 anotaciones
- Mantenimiento: 27 anotaciones



Figura 35 Resultados de la sesión de mapeos. izquierda taller 1 y derecha taller 2. Elaboración propia.



LEYENDA

Etiquetas

- Agua
- Calor
- Calor extremo
- Sombra

- Zonas verdes
- Refugio
- Información

Áreas

- Bienestar
- Malestar
- Buen mantenimiento
- Falta de mantenimiento
- Ámbito de Campus Sur

Recorridos

- Recorridos peatonales

Edificios

- Edificios campus sur UPM
- Otros edificios educativos

Figura 36 Resultado de las dos sesiones de mapeos colaborativos. Elaboración propia.

Ideas derivadas del diagnóstico colaborativo

Los temas abordados en las sesiones fueron muy diversos y cumplieron los objetivos trazados por la organización (ver **Figura 36**). Finalmente, se agruparon en tres categorías movilidad, bienestar, y mantenimiento.

- **Movilidad**, para los aspectos relacionados con la movilidad dentro del campus, mediante transporte público, vehículo privado, vehículos de movilidad personal o caminando.
- **Bienestar**, para los temas relacionados con el confort y la incomodidad en los edificios y espacios exteriores del campus.
- **Mantenimiento**, para los temas relacionados con la conservación y mejora de las infraestructuras del campus, tanto en zonas verdes como en edificios.

Movilidad

La sesión de mapeo comenzó con una consulta a las personas usuarias sobre la movilidad (ver **Figura 37**) en el campus. Algunas personas manifestaron usar el vehículo privado y que no suelen tener complicaciones para encontrar estacionamiento. Sin embargo, mencionaron que las plazas sombreadas en verano por árboles eran muy escasas “I113”. Adicionalmente, señalaron que las vías del campus se encontraban en mal estado “I101” así como una falta de claridad en la señalización, ocasionando que, a pesar de las restricciones de acceso al campus, algunos conductores hicieran caso omiso e ingresaran al mismo inclusive con vehículos de carga sobredimensionados que causaban complicaciones en la movilidad y circulación interior del campus. Se mencionó que algunas de las señales se veían ocultas por la vegetación “I122”.

Las personas que utilizan bicicletas o vehículos de movilidad personal (VMP) señalaban que no tenían zonas de aparcamiento cercanas a los edificios y protegidas del sol “CE101”, lo cual desincentiva su uso. Además, manifestaron que la conexión en ciertos tramos de la ruta era peligrosa “C101”. Esta situación se debe a que no hay carril bici exclusivo ni continuo, lo que obliga a los ciclistas a decidir por donde cruzar y les puede poner en peligro “I103”. Se destaca la necesidad de un carril exclusivo entre el campus y la Calle de la Arboleda hasta la estación de metro y la red de carriles bici. Como favorable, se identifica la estación de Bicimad frente a la biblioteca como elemento que facilita la movilidad “I107”.

Las personas usuarias del transporte público declararon que, en verano, la línea de autobús “E” desaparece y reduce su frecuencia “I104-I105”, obligando a cambiar de ruta y aumentando el tiempo de desplazamiento hacia el campus o recurriendo a otros tipos de transporte como el uso del vehículo privado o la bicicleta. Las personas usuarias del metro y cercanías señalaron que prefieren caminar a tomar el autobús cuando las condiciones lo permitían, debido al alto tráfico en horas pico “I202”. Las paradas de autobús más usadas en el campus son las situadas en la calle de la Arboleda “S204-S203”.

En temas de movilidad peatonal, uno de los aspectos más mencionados fue el mal estado de los pavimentos “I101” sobre la Calle de la Arboleda causando caídas a peatones. Así mismo, los usuarios echan en falta el sendero que permitía cortar el paso entre la Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía (ETSIGCT) y la calle de la Arboleda “I114-CE204” (cerrado actualmente por obras), así como la necesidad de tener un sendero con pavimento que les permita transitar con seguridad en días de lluvia “S202”. Otro camino detectado para evitar la lluvia es la interconexión de edificios “S201”.

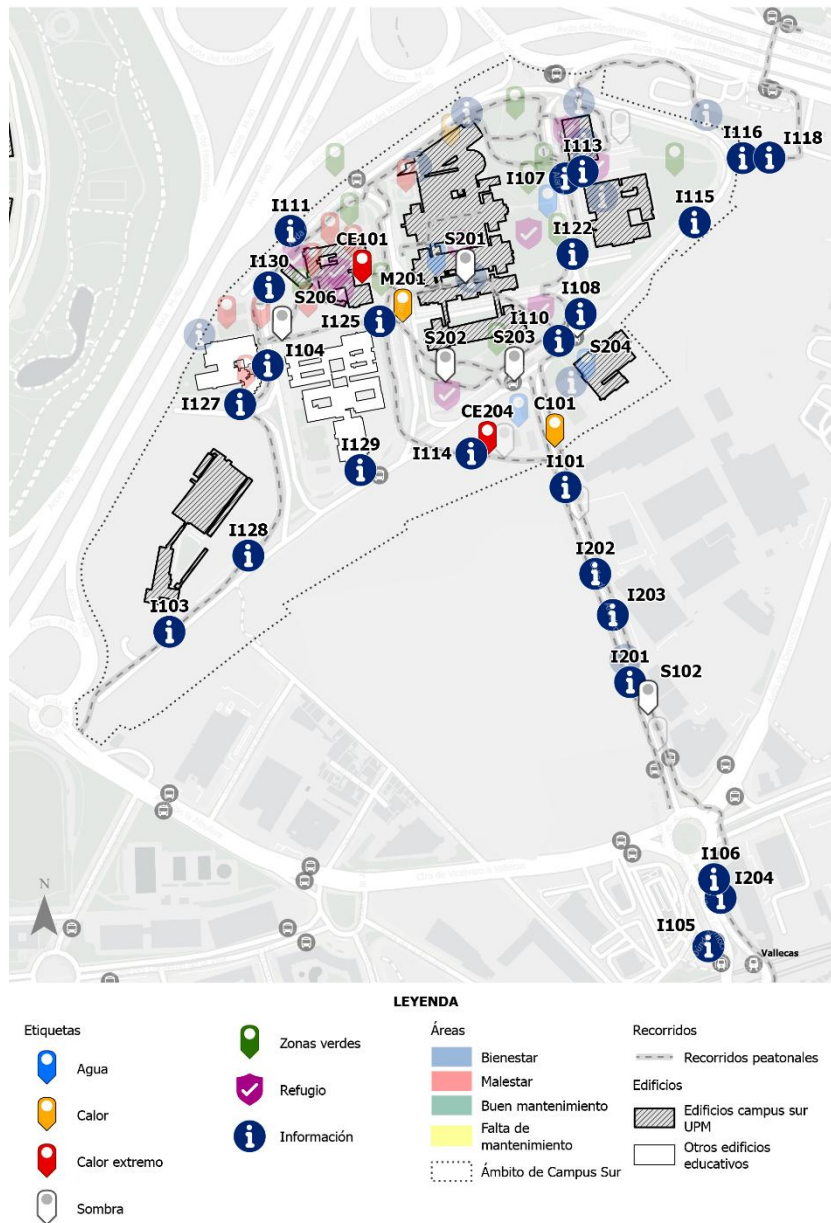


Figura 37 Mapa de movilidad en el Campus. Elaboración propia.

La accesibilidad es una barrera para algunas personas usuarias del campus a la hora de acceder a sus edificios y servicios. En concreto, quienes se desplazan desde el CPEE Vallecas hacia los edificios del campus, deben hacer un recorrido más largo, o en algunos casos, saltar el murete de cerramiento para acceder a la cafetería de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía (ETSIGCT), estando próximos los edificios entre sí “S206-I125”. La situación se agrava para las personas en sillas de ruedas por el mal estado de los pavimentos, la falta de rampas y la escasez de sombra, sobre todo, cuando se desplazan hacia la Biblioteca del Campus, “I130”.

También se identificaron problemas de accesibilidad en las conexiones peatonales entre el CPEE Vallecas y la Calle de la arboleda “I129”; y entre el CPEE Vallecas y los equipamientos del Centro Deportivo Municipal de Palomera y las piscinas. Las docentes reportaron caídas de los estudiantes en las aceras “I128” y la necesidad

de cambiar de acera durante el trayecto debido a su mal estado y la falta de cruces seguros con condiciones de accesibilidad “S102”, sobre todo cuando movilizaban a estudiantes en sillas de ruedas.

La seguridad peatonal es un tema que se mencionó manifestando conocer accidentes de peatones, lo cual es atribuido a excesos de velocidad de los vehículos en el perímetro del campus “I115”. Otros factores comentados fueron la mala ubicación de los resaltos “I110”, la escasa señalización en la zona “I122”, la falta de visión en los cruces, y la falta de cruces peatonales “I203-M201”. Asimismo, se señaló la necesidad de separadores-islas para delimitar los cruces “I108” y proporcionar protección a los peatones.

Algunos accidentes mencionados ocurrieron en el cruce de la calle Alan Turing y la Avenida del Campus Sur y en la intersección entre la calle de la arboleda y Avenida del Campus Sur.

La percepción de seguridad es uno de los factores influyentes para el desplazamiento peatonal. Se identificaron puntos de inseguridad en el camino hacia el puente peatonal sobre la vía A-3 “I116-I118” y la zona norte del campus, sobre la Avenida del Campus Sur “I111”.

Otros de los temas abordados es la presencia de restos de elementos para el consumo de estupefacientes en la zona, puntualmente, jeringuillas encontradas en la Calle de la Arboleda “I201”, en el área aledaña a la estación de Renfe Vallecas “I204” y en la bolsa de estacionamiento entre los edificios del CPEE de Vallecas, IES Palomeras y INSIA en la “I127”.

Bienestar

Durante la actividad de mapeos, las personas participantes identificaron diferentes lugares del campus como potenciales refugios climáticos y zonas de bienestar (ver **Figura 38**). Entre algunas de interior destacan, la Biblioteca de Campus Sur “R202”, especialmente en las salas de estudio y el depósito del sótano, donde estudiantes y trabajadores manifestaban estar en confort. Otro de los edificios es el Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía (ETSIGCT), donde se valoró la zona de estudio, la cafetería “R201” y el pasillo que conduce del exterior a la cafetería “R103” y.

En las áreas exteriores, se indicaron los patios verdes entre los edificios de ETS de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación y ETS de Ingeniería de Sistemas Informáticos. Los estudiantes suelen aprovechar este espacio por medio de sillas que sacaban al exterior “R105”. Caso opuesto ocurre en el patio del edificio ETS de Ingeniería de Sistemas Informáticos “I124” que fue identificada como una zona no estancial pese a su efecto verde.

Otra de las zonas verdes identificadas es el aparcamiento de la biblioteca frente al edificio CITSEM. Es un área con arbolado de alineación que cuenta con una jardinera donde la gente puede descansar junto a un Olmo “R107”. La zona arbolada sobre el costado oeste de la calle de Alan Turing es considerada refugio. Las mesas de picnic al aire libre son usadas frecuentemente “R102-R104”.

También, se identificó como refugio el área al norte del edificio de ETSIGCT “R106”, a pesar de no tener mobiliario para sentarse. Cuando este existía, no era posible dar clase por el ruido generado. Finalmente, el área norte del campo de pruebas de topografía es una zona usada por las personas del CPEE de Vallecas para tomar la merienda o el café “ZV107”.

Los usuarios del campus manifestaron la pérdida de sombra sobre el espacio público en época estival, especialmente en la zona de la calle de la Arboleda, que anteriormente contaba con arbolado sin mantenimiento ocasionando malestar a los peatones al chocar con sus ramas. Esta situación provocó que los árboles fueran talados y en consecuencia la sombra de verano se ha perdido “S101”.

El ruido ambiental es un aspecto determinante en el bienestar. Los usuarios reportaron exceso de ruido por el sistema de climatización en el edificio de la biblioteca “I120”, así mismo, el personal de mantenimiento señaló la ineficiencia de la climatización, identificando zonas frías y calientes dentro del mismo edificio debido a la estratificación del aire.

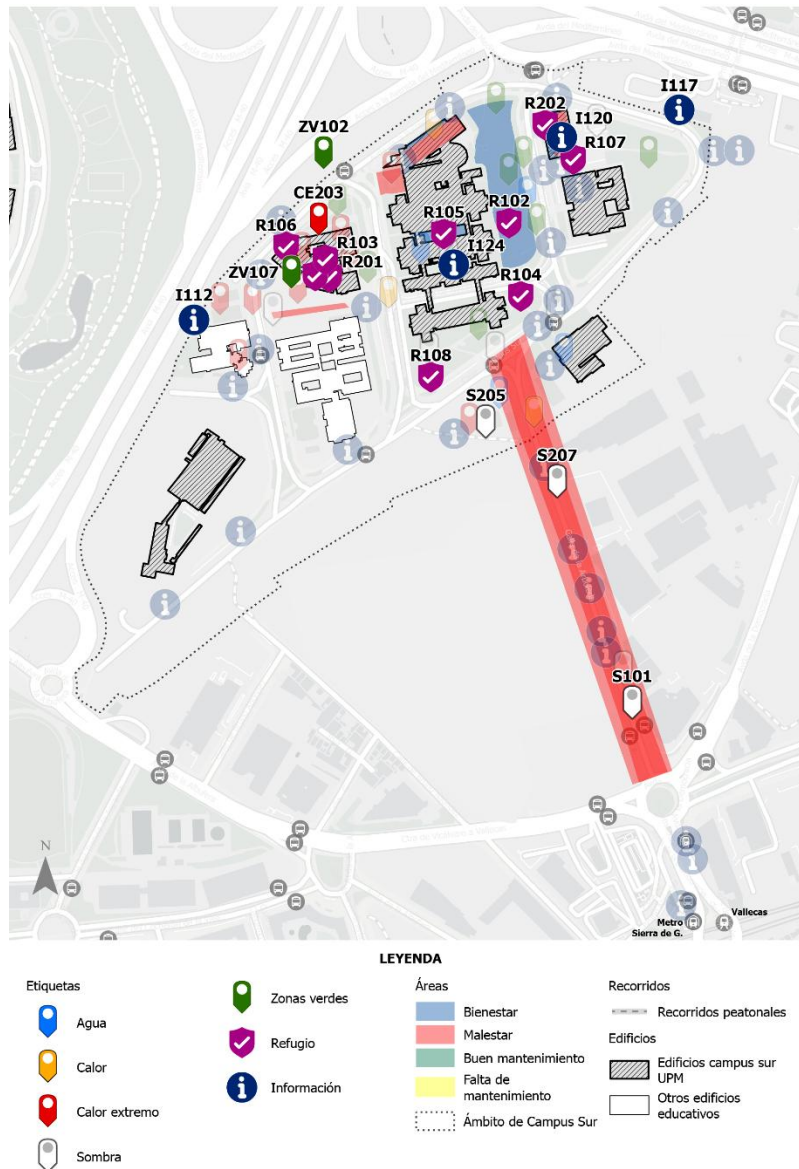


Figura 38 Mapa de bienestar en el Campus. Elaboración propia.

En cuanto al ruido exterior, se identifica la calle de la Arboleda por su alto tráfico “S207” y la vía M40 que incide sobre el edificio ETSITGCT. Los estudiantes manifiestan malestar acústico y térmico “CE203”, sobre todo en verano cuando no pueden manipular las ventanas por el ruido. En ese sentido, se identificó que en el área entre la vía M40 (salida 15B) y la Avenida del Campus Sur existía una pantalla vegetal para hacer de barrera acústica. Sin embargo por recortes de presupuesto no se realizó la fumigación programada por el equipo de mantenimiento de las áreas verdes “ZV102”.

Finalmente, otro factor de bienestar es el acceso a servicios de la universidad por la comunidad universitaria, como la alimentación o el descanso. Se reporta que la cafetería del edificio de ETSITGCT suele tener un aforo

completo constantemente, lo cual genera mucho ruido e incomodidad dentro de sus instalaciones “R103”. Lo anterior produce que varias personas del personal de la universidad y del CPEE decidan desplazarse fuera del campus para tomar café o merendar, caminando a veces más de un kilómetro hasta una estación de servicio, un bar o un supermercado “I117”.

Mantenimiento

En la primera sesión de los talleres, se encontraban entre las personas participantes, Personal Técnico de Gestión y de Administración y Servicios (PTGAS) que tenían experiencia en Campus Sur, compartiendo que, a lo largo de los años, ha habido una disminución de personal de mantenimiento y recortes en el presupuesto para llevar a cabo el mantenimiento del arbolado y zonas verdes. Esta situación afecta al estado de conservación de las zonas verdes, siendo muy importante la falta de personal especializado para dar mantenimiento preventivo a las instalaciones.

Las personas técnicas con experiencia manifestaron falta de planificación y directrices a largo plazo por parte de los directivos. Esta situación se ve agravada para la vegetación existente que se seca por falta de riego y en ocasiones se deja de mantener por directrices superiores “ZV105-ZV106” debido al coste económico que supone el riego, por lo que es más restringido. Aunque se han intentado buscar soluciones alternativas como usar agua regenerada, esto no ha sido posible de implementar en el campus (ver **Figura 39**).

La zona de arbolado “ZV103” preocupa a los técnicos porque se ha perdido de masa vegetal “ZV103-ZV104”. A su vez, los técnicos destacan el costado oeste de la calle de Alan Turing como una de las zonas que necesitan más riego y cuidado “ZV201-ZV108”.

Por otro lado, las personas identificaron oportunidades de mejora en los edificios del campus. Sobre todo, en el edificio del Centro de Investigación en Tecnologías Software y Sistemas Multimedia para la Sostenibilidad (CITSEM). Se destacó este espacio como una potencial zona a evitar debido a que los talleres no contaban con climatización “I121”. Así mismo, en el edificio ETSITGCT varias personas docentes y estudiantes manifestaron la necesidad de sistemas de protección exterior sobre la fachada sur, destacando que las persianas interiores actuales no son suficientes para proteger del calor en verano “CE102”.

También, en el Bloque XV de cafetería de la ETSISI, el sistema de climatización se identificó como averiado “C102”, causando malestar térmico a los usuarios tanto en verano como en invierno. Acorde con las personas usuarias, las trabajadoras de la cafetería deben usar ropa térmica en invierno para aumentar confort adaptativo.

El estudiantado de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía (ETSIGCT) identificó el campo de pruebas como una zona de calor durante el verano “CE201”. Sin embargo, al ser un campo de pruebas para los estudiantes, se debe procurar no realizar intervenciones que cambien el uso de la zona.

Finalmente, sobre los edificios, las personas del CPEE Vallecas también manifestaron necesitar toldos como medida de protección en verano “CE106”.

Otro tema abordado fue la presencia de residuos y escombros ajenos al mantenimiento y funcionamiento del campus, que son abandonados por personas ajenas al campus. Esta situación se concentra en las zonas cercanas a los contenedores de residuos, en especial en el punto cercano al bloque XV de la cafetería “I126” y la bolsa de aparcamiento entre el CPEE Vallecas y el INSIA “I127”.

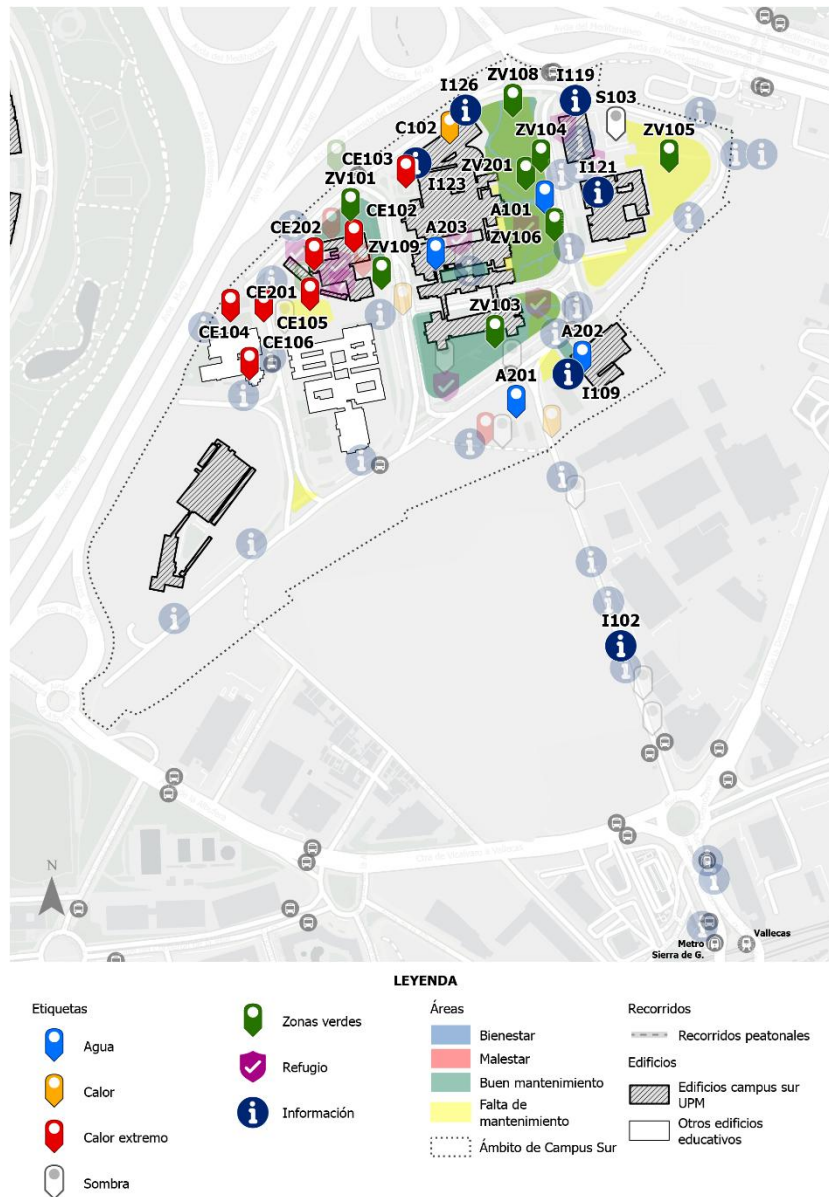


Figura 39 Mapa de mantenimiento en el Campus. Elaboración propia.

3.2.4. Conclusiones del análisis cualitativo

El campus y sus edificios representan un potencial refugio climático con un alto valor para la comunidad. Por ello se deben buscar medios y medidas para subsanar las carencias y deficiencias del mismo, de modo que mantenga el valor para la comunidad.

En general, las personas que forman parte del campus tienen un alto sentido de pertenencia, tanto que se preocupan ante la situación de recortes y falta de personal. Está claro que la comunidad reclama una hoja de ruta o plan de conservación concertado a largo plazo que se alinee con las necesidades de la comunidad universitaria en general y que sobre todo cuente con directrices claras, presupuestos, recursos humanos y materiales para conservar y mejorar la continuidad del campus.

Lo anterior permitirá que, a pesar de los cambios en los diferentes órganos directivos, las personas contratadas tengan una hoja de ruta clara que permita actuar a largo plazo, realizar los correctivos, y, sobre todo que garantice la conservación de los espacios verdes para que puedan actuar como espacios de oasis ante episodios de olas de calor.

Se destaca que, en materia de riego se deberían explorar otras opciones al uso de agua potable como el uso de agua regenerada y apta para el riego o tratar las aguas grises que genera el campus como alternativas. Esto debe estar acompañado de un sistema de riego eficiente que permita un mejor aprovechamiento del recurso hídrico, disminuyendo costes y preservando el recurso hídrico.

En la misma línea, se deberán evaluar las especies de arbolado actual y programar su reemplazo generacional con especies endémicas con una menor necesidad de riego y una mayor adaptación al calor, junto con un plan de mantenimiento y seguimiento que garantice los servicios ecosistémicos y permita la absorción de emisiones de CO₂.

La comunidad universitaria es consciente del confort en los edificios, por ello, se deberán acometer las acciones correctivas necesarias para preservar la infraestructura actual, mejorar la protección solar sobre todo en estancias desfavorables en verano, así como las reparaciones, goteras y ajustes en el sistema de climatización tanto en la cafetería del bloque XV como en el edificio CITSEM.

Otro tema en proceso de abordaje es la movilidad, con el reto de mantener y mejorar la infraestructura vial (vías y aceras). Este tema se está trabajando actualmente desde el Ayuntamiento de Madrid, mediante el reemplazo del pavimento de la vía, el cambio de material de las aceras y la reconfiguración del ancho de las calles, lo que permitirá mejorar la accesibilidad y la movilidad peatonal. Así mismo, se debe incentivar la intermodalidad de transporte mediante el uso de vehículos de movilidad personal, mediante conexiones seguras que prioricen este tipo de movilidad y preparen al campus para una movilidad descarbonizada y electrificada.

Finalmente, esta metodología sirve como base para acercarse a la comunidad universitaria quien se mostró de forma abierta y colaborativa a aportar su perspectiva del campus. Por lo tanto, es valorable realizar este tipo de talleres regularmente incentivando a su participación en sesiones desarrolladas por las diferentes personas que forman la comunidad universitaria de Campus Sur.

3.3 Conclusiones del estudio microclimático

La caracterización climática de Campus Sur pone de manifiesto la complejidad de las dinámicas térmicas y ambientales que se desarrollan en este entorno universitario, así como su relevancia estratégica en el contexto urbano de Madrid frente al cambio climático. A partir de una aproximación metodológica integral —que ha combinado análisis de severidad climática a escala municipal, estudios microclimáticos cuantitativos y trabajo cualitativo con la comunidad universitaria— se ha logrado construir una imagen precisa y multifacética del comportamiento climático del campus y sus potencialidades de adaptación.

Desde el análisis de severidad climática, se identificó una fuerte heterogeneidad térmica entre los diferentes barrios colindantes, derivada de las particularidades morfológicas y del grado de cobertura vegetal de cada zona. El Casco Histórico de Vallecas aparece como una de las áreas con mayor intensidad de isla de calor urbana, mientras que zonas como Palomeras Sur y Valdebernardo presentan condiciones menos severas, en

parte gracias a su menor densidad edificatoria y mayor presencia de espacios verdes. En este contexto, el Campus Sur se posiciona como una pieza clave dentro de la red de posibles refugios climáticos de la ciudad: pese a registrar valores elevados de severidad durante el día, su estructura morfotológica más abierta y la calidad de su vegetación hacen que se mantenga relativamente más fresco que su entorno inmediato. Esta condición lo convierte en un ámbito prioritario para el diseño de estrategias de adaptación, en especial considerando su función pública y educativa.

El análisis cuantitativo de las variables microclimáticas profundizó en las condiciones internas del campus y su comportamiento térmico estacional, haciendo evidente el papel crucial de la vegetación y la permeabilidad del suelo como moduladores del entorno térmico. Se comprobó, por ejemplo, que la presencia de arbolado puede reducir en más de un 50 % la radiación solar incidente sobre el suelo, lo cual tiene un impacto directo en el confort térmico exterior. Del mismo modo, el análisis de sombras y exposición solar evidenció déficits importantes de sombra en ejes clave de movilidad peatonal, que podrían mitigarse mediante estrategias de revegetación bien dirigidas. En este sentido, el índice UTCI (Universal Thermal Climate Index) aportó una visión integrada del confort higrotérmico, mostrando que las zonas más protegidas y arboladas registran condiciones significativamente más favorables, mientras que los espacios expuestos al sol —como la fachada oeste de ETSIST— son susceptibles de generar situaciones de estrés térmico severo en verano. Estas observaciones refuerzan la necesidad de actuar sobre el diseño climático del campus, incorporando vegetación y materiales permeables como elementos estructurales de una planificación urbana resiliente.

Desde el enfoque cualitativo, la investigación reveló que la comunidad universitaria percibe con claridad tanto el valor ambiental del campus como sus principales debilidades. Existe una fuerte identificación con el espacio y una demanda explícita de establecer una hoja de ruta institucional para su conservación y mejora que contemple recursos estables y acciones sostenidas más allá de los cambios en la gestión administrativa. Las propuestas recogidas apuntan, por un lado, a reforzar la infraestructura verde —mediante planes de mantenimiento y reemplazo del arbolado con especies más resilientes al calor— y, por otro, a mejorar la gestión del agua a través del uso de sistemas eficientes de riego y fuentes alternativas como agua regenerada. A ello se suman demandas relacionadas con la mejora de la infraestructura edificada, como la protección solar, la reparación de cubiertas y la optimización de los sistemas de climatización.

Asimismo, la movilidad y accesibilidad aparecen como aspectos en transformación, con intervenciones en curso por parte del Ayuntamiento que podrían facilitar una transición hacia formas de movilidad más sostenibles. En esta línea, la promoción de la intermodalidad y el uso de vehículos de movilidad personal aparece como una oportunidad para avanzar hacia un campus descarbonizado y mejor conectado.

En conjunto, este diagnóstico integrado muestra que Campus Sur no solo enfrenta retos importantes frente al cambio climático, sino que también dispone de condiciones favorables para convertirse en un ejemplo de adaptación urbana climática a escala local. Su rol como espacio público, educativo y verde, sumado al compromiso de su comunidad, lo convierten en un laboratorio ideal para implementar soluciones basadas en la naturaleza, estrategias de diseño climático y modelos de gobernanza participativa.

4 Recomendaciones de intervención

4.1 Criterios de intervención

Las siguientes directrices proponen un marco de intervención para el espacio público urbano desde una óptica de sostenibilidad y adaptación climática a escala microclimática. Se busca fomentar entornos más resilientes frente a episodios de calor extremo, que funcionen en conjunto interior-exterior, abordando aspectos clave como el confort térmico, la gestión hídrica y la mejora de la habitabilidad peatonal.

Las propuestas se organizan en torno a tres líneas estratégicas: la revalorización de las zonas estanciales como espacios de transición y, en determinados momentos del día, como refugios climáticos exteriores; la selección de materiales que reduzcan la acumulación térmica y favorezcan la infiltración del agua en el suelo; y la configuración de itinerarios peatonales que garanticen una movilidad cómoda, continua y climáticamente confortable.

A continuación, se desarrollan los criterios específicos para cada una de estas temáticas:

- Zonas estanciales
- Materialidad
- Itinerarios peatonales

4.1.1 Zonas Estanciales

Las zonas estanciales conforman espacios clave dentro de la infraestructura urbana adaptativa, concebidas como elementos complementarios a los refugios climáticos interiores —como por ejemplo la biblioteca—. Su función principal es potenciar la conectividad térmica entre estos espacios de refugio interior, actuando como espacios de transición que mejoran la continuidad y eficacia de la red de resiliencia frente al calor urbano. Aunque no están diseñadas para sustituir a los refugios interiores, pueden llegar a cumplir funciones similares de forma puntual y en horarios específicos, siempre que las condiciones microclimáticas lo permitan, mediante el uso de estrategias pasivas como la utilización de elementos que generen sombra. El diseño de estas áreas debe centrarse en optimizar su habitabilidad térmica sin depender exclusivamente de su capacidad para ofrecer confort durante episodios extremos de calor.

Se propone su adecuación mediante soluciones de **sombreado natural y artificial**, incluyendo pérgolas vegetadas, toldos vela y actuaciones de renaturalización urbana capaces de reducir la temperatura superficial y ambiental. El equipamiento debe integrar mobiliario urbano multifuncional y ergonómico —bancos con respaldo, mesas de uso colectivo—, así como una red eficiente de **luminarias LED** que refuercen la seguridad nocturna y la continuidad de los itinerarios peatonales.

La presencia de **puntos de agua potable** es imprescindible tanto para la hidratación de los usuarios como para reforzar la identidad del espacio público. Asimismo, se plantea la inclusión de **aparcamientos para bicicletas protegidos** de la radiación solar y la lluvia, fomentando modos de transporte activo y sostenible.

Para poder desarrollar estas propuestas se seleccionan, primero, las áreas de intervención elegidas las cuales luego se clasifican en dos grupos como se puede observar en la Figura 40: **Zonas a aprovechar (ZP_02)** y **Zonas a potenciar (ZP_01)**.

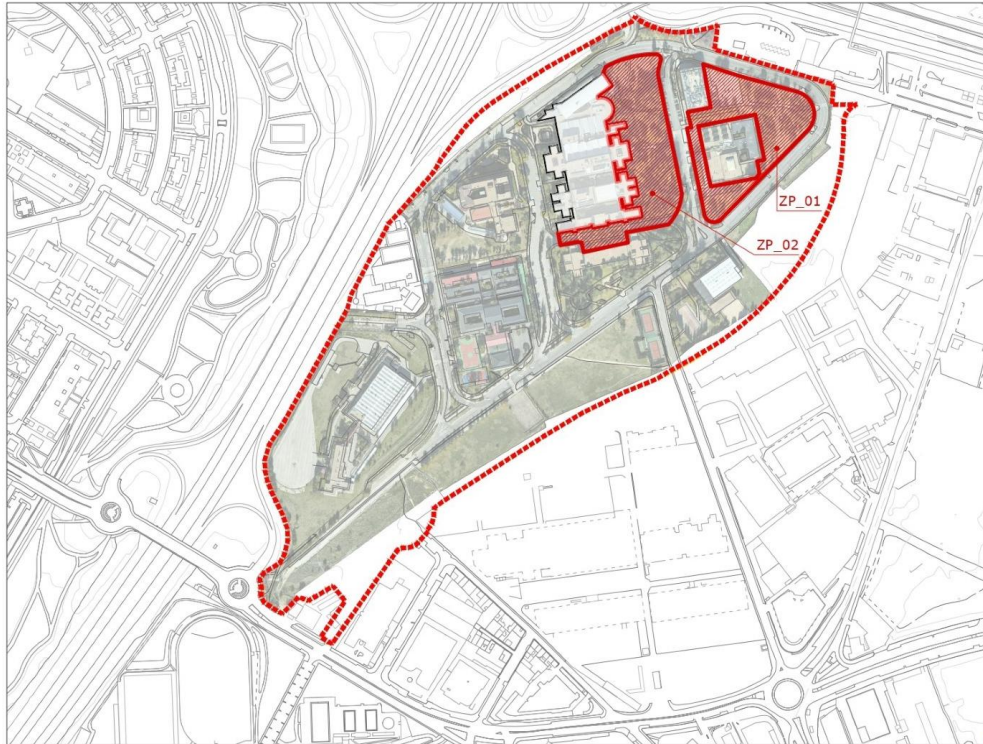


Figura 40. Áreas de intervención propuestas y clasificación. Elaboración propia

Las propuestas para ambas zonas se detallan a continuación:

a) En zonas que ya presentan condiciones medioambientales favorables – Zonas a aprovechar (ZP_02), o espacios que ya cuentan con una sombra suficiente para proteger durante los horarios de mayor intensidad de calor:

- Suplir estos espacios con mobiliario propicio para las estancias temporales (p. ej., bancos, mesas para poder comer en el exterior) incorporando además puntos de hidratación.
- Cambiar el pavimento existente por otros más permeables, de menor inercia y mayor reflectancia.
- Crear aparcamientos de bici que se encuentren protegidos del sol y la lluvia, cercanos a las entradas principales de los edificios.

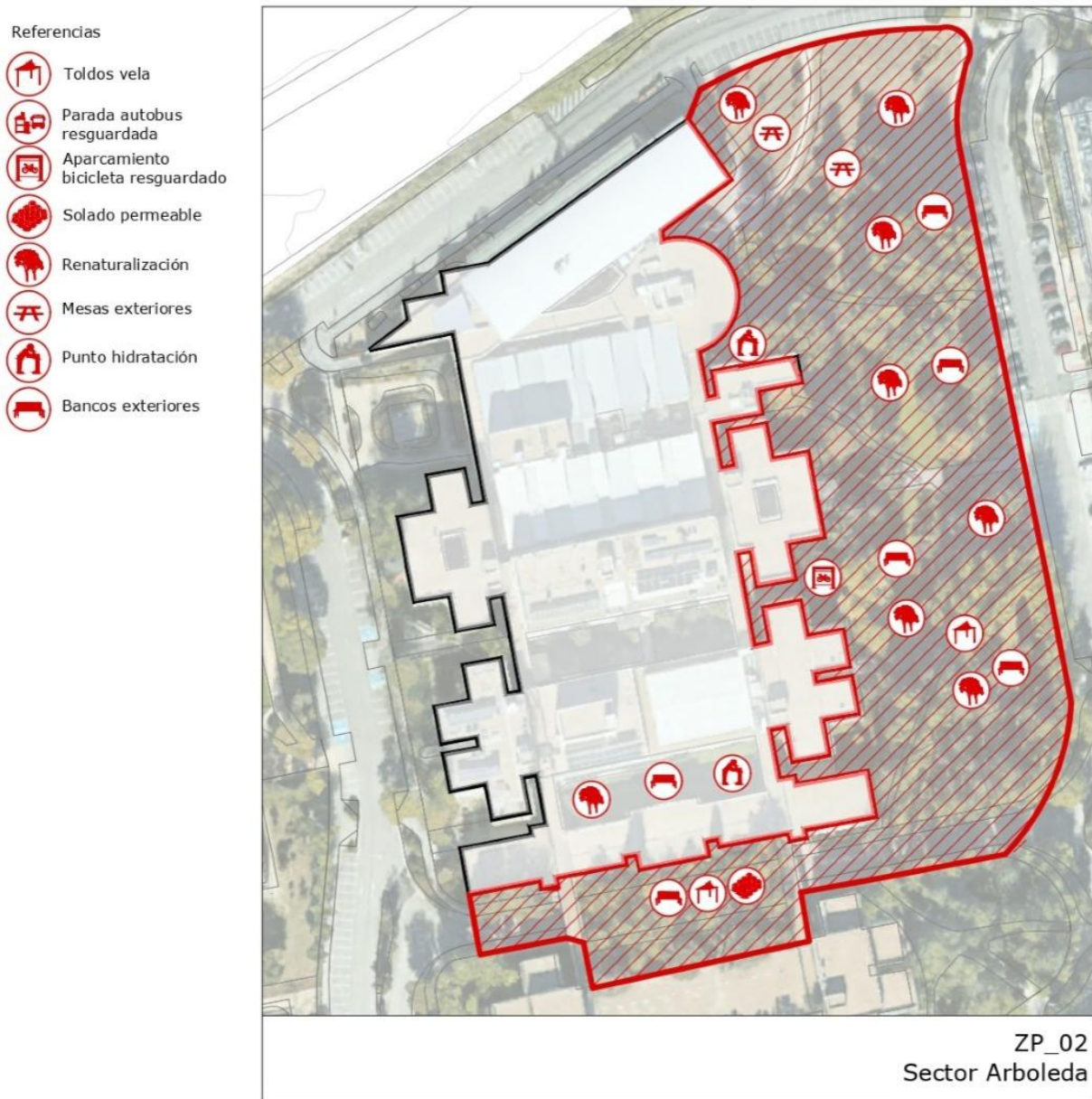


Figura 41. Propuestas concretas para la ZP02. Elaboración propia

b) En zonas intermedias próximas a los edificios universitarios – Zonas a potenciar (ZP_01), o espacios intermedios ubicados en zonas estratégicas y que se encuentran próximos a los edificios universitarios:

- Incorporar criterios de sombreado mediante la plantación de arbolado complementando con pérgolas vegetadas o toldos velas para asegurar la existencia de áreas sombreadas.
- Incorporar mobiliario urbano para estancias temporales (p. ej., bancos, mesas para poder comer en el exterior) además puntos de hidratación.
- Cambiar el pavimento existente por otros más permeables, de menor inercia y mayor reflectancia.
- Crear aparcamientos de bici que se encuentren protegidos del sol y la lluvia, cercanos a las entradas principales de los edificios.

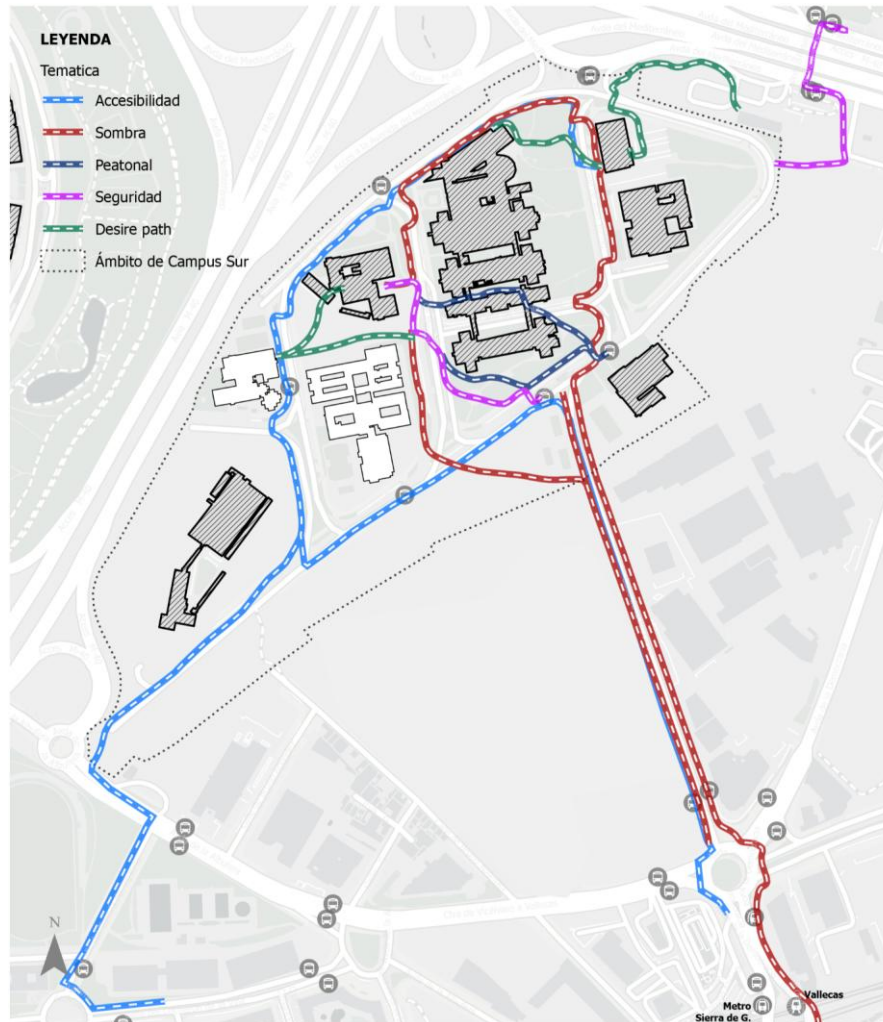


Figura 42. Propuestas concretas para la ZP 01. Elaboración propia

4.1.2 Materialidad a Utilizar

La selección de materiales para el espacio público debe responder a criterios de confort térmico y permeabilidad. Se priorizará el uso de pavimentos con **alta reflectancia solar** (albedo elevado), baja capacidad de absorción térmica y escasa inercia térmica, con el fin de mitigar el efecto isla de calor. Se promoverán soluciones permeables como terrizos compactados, adoquines intertrabados con junta abierta, celdas permeables vegetadas u otros pavimentos drenantes que favorezcan la **infiltración de agua** y reduzcan el escurrimiento superficial.

4.1.3 Itinerarios Peatonales



Los itinerarios peatonales deben diseñarse como **corredores climáticamente confortables** y funcionales, conectando los equipamientos y nodos urbanos mediante trazados accesibles, continuos, sombreados y con criterios de género. El pavimento será permeable y de baja acumulación térmica, favoreciendo tanto la **gestión hídrica** como la reducción del albedo urbano. Se recomienda la incorporación de estructuras de sombreado con criterios bioclimáticos (vegetación arbórea, pérgolas, toldos) y sistemas de **señalización e iluminación LED eficiente**, que aseguren una orientación clara y seguridad permanente. Estos recorridos, más allá de su función de movilidad, deben pensarse como elementos estructurantes del sistema de adaptación urbana, especialmente en contextos sensibles como campus universitarios o áreas escolares.

Se dará prioridad a los recorridos más transitados como la Calle de la Arboleda y las calles que conecten con los accesos a los edificios del campus, sobre todo con el transporte público (Metro o cercanías).

Infraestructura para la movilidad alternativa

El campus necesita de conexiones seguras con la ciudad que incentiven al cuerpo educativo a moverse por medio de vehículos de movilidad personal. Para ello, se debe disponer de carriles exclusivos para proteger a los ciclistas, señalizados por medio de señales de tránsito, protegidos por elementos vegetales que proyecten sombra en época estival y por carteles que sugieran direcciones. Así mismo, es fundamental que estas infraestructuras estén interconectadas con la ciudad mediante puentes y carriles exclusivos lo cual da seguridad a los usuarios y permite evitar emisiones de CO2 por los desplazamientos de vehículos de combustión.

También se debe realizar la instalación de infraestructuras para el estacionamiento de bicicletas cerca de los espacios públicos de acceso a los edificios con elementos que protejan los vehículos de las condiciones climáticas (sol y lluvia).

Cruces seguros

Se debe mejorar la seguridad de los cruces peatonales y los espacios públicos ubicados a las afueras de los accesos de los edificios del campus mediante resaltos y pavimentos que incentiven a los vehículos a bajar la velocidad de circulación. Esta estrategia también debe aplicarse en la Avenida del Campus Sur.

Regularización de senderos

Se debe identificar los senderos de tierra dentro de las zonas verdes y regularizarlos por medio de pavimentos permeables que permitan mejores condiciones de seguridad en días de lluvia mejorando el mantenimiento de las zonas verdes.

5 Referencias

- Almendros Coca, M. Á. (1992). Aspectos climáticos del parque del Retiro (Madrid). *Estudios Geográficos*, 53(207), 217-240.
- Almendros, M. Á., & López Gómez, A. (1995). La isla de calor en Madrid y las situaciones sinópticas. *Estudios Geográficos*, 56(219), 207-221.
- Cuerdo-Vilches, T., Díaz, J., López-Bueno, J. A., Luna, M. Y., Navas, M. A., Mirón, I. J., & Linares, C. (2023). Impact of urban heat islands on morbidity and mortality in heat waves: Observational time series analysis of Spain's five cities. *Science of The Total Environment*, 890, 164412. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164412>
- Fernández García, F., Allende Álvarez, F., Rasilla Álvarez, D., Martilli, A., & Alcaide Muñoz, J. (2016). *Estudio de detalle del clima urbano de Madrid* (p. 215). Ayuntamiento de Madrid. Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad.
- Fernández García, F., Almendros Coca, M. Á., & López Gómez, A. (1996). The influence of the relief in the urban heat island in Madrid. The thalwegs of the Manzanares and the Abroñigal [La influencia del relieve en la isla de calor de Madrid: Las vaguadas del Manzanares y del Abroñigal]. *Estudios Geográficos*, 57(224), 473-494.
- Fernández García, F., & Galán, E. (1995). Clima y contaminación atmosférica en Madrid. *Estudios Geográficos*, 56(219), 263-284.
- Fernández García, F., & Rasilla Álvarez, D. (2008). Olas de calor e influencia urbana en Madrid y su área metropolitana. *Estudios Geográficos*, LXIX(265), 495-518. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.0440>
- López Gómez, A. (1985). El clima de las ciudades. *Arbor*, 121(474), 20.
- López Gómez, A., López Gómez, J., Fernández García, F., & Arroyo Ilera, F. (1988). *El clima urbano de Madrid: La isla de calor*. CSIC.
- López Gómez, A., López Gómez, J., Fernández García, F., & Moreno Jiménez, A. (1993). *El clima urbano: Teledetección de la isla de calor en Madrid*. MOPT. <http://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=JEWPsCRjv7YC&pgis=1>

- López-Bueno, J. A., Díaz, J., Sánchez-Guevara, C., Sánchez-Martínez, G., Franco, M., Gullón, P., Núñez Peiró, M., Valero, I., & Linares, C. (2020). The impact of heat waves on daily mortality in districts in Madrid: The effect of sociodemographic factors. *Environmental Research*, 190, 109993. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109993>
- López-Moreno, H., Núñez-Peiró, M., Sánchez-Guevara Sánchez, C., & Neila González, F. J. (2022). On the identification of Homogeneous Urban Zones for the residential buildings' energy evaluation. *Building and Environment*, 207, 108451. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108451>
- Núñez Peiró, M. (2022). *Empirical model of the urban heat island of Madrid for its integration in building energy modelling = Modelo empírico de la isla de calor urbana de Madrid para su integración en la simulación energética de edificios*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Núñez Peiró, M., Sánchez-Guevara, C., & Neila González, F. J. (2017). Update of the Urban Heat Island of Madrid and Its Influence on the Building's Energy Simulation. En *Sustainable Development and Renovation in Architecture, Urbanism and Engineering* (Número March, pp. 339-350). https://doi.org/10.1007/978-3-319-51442-0_28
- Núñez-Peiró, M., Sánchez-Guevara Sánchez, C., & Neila González, F. J. (2021). Hourly evolution of intra-urban temperature variability across the local climate zones. The case of Madrid. *Urban Climate*, 39, 100921. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100921>
- Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (2017). *Urban climates*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781139016476>
- Salamanca, F., Krpo, A., Martilli, A., & Clappier, A. (2010). A new building energy model coupled with an urban canopy parameterization for urban climate simulations-part I. formulation, verification, and sensitivity analysis of the model. *Theoretical and Applied Climatology*, 99(3-4), 331-344. <https://doi.org/10.1007/s00704-009-0142-9>
- Sánchez-Guevara, C., Núñez Peiró, M., Taylor, J., Mavrogianni, A., & Neila González, J. (2019). Assessing population vulnerability towards summer energy poverty: Case studies of Madrid and London. *Energy and Buildings*, 190, 132-143. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.02.024>

- Sánchez-Guevara Sánchez, C., Núñez Peiró, M., & Neila González, F. J. (2017). Urban Heat Island and Vulnerable Population. The Case of Madrid. En P. Mercader-Moyano (Ed.), *Sustainable Development and Renovation in Architecture, Urbanism and Engineering* (pp. 3-13). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51442-0_1
- Sobrino, J. A., Ultra-Carrió, R., Sòria, G., Jiménez-Muñoz, J. C., Franch, B., Hidalgo, V., Mattar, C., Julien, Y., Cuenca, J., Romaguera, M., Gómez, J. A., De Miguel, E., Bianchi, R., & Paganini, M. (2013). Evaluation of the surface urban heat island effect in the city of Madrid by thermal remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 34(June), 1-16. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.716548>
- Torrego-Gómez, D., Gayoso-Heredia, M., Núñez-Peiró, M., & Sánchez-Guevara, C. (2024). Mapping summer energy poverty: The lived experience of older adults in Madrid, Spain. *Energy Research & Social Science*, 110, 103449. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103449>
- Yagüe, C., Zurita, E., & Martínez, A. (1991). Statistical analysis of the Madrid urban heat island. *Atmospheric Environment*, 25(3), 327-332. [https://doi.org/10.1016/0957-1272\(91\)90004-X](https://doi.org/10.1016/0957-1272(91)90004-X)

6 Anexo 1.

6.1. Mapas de radiación solar

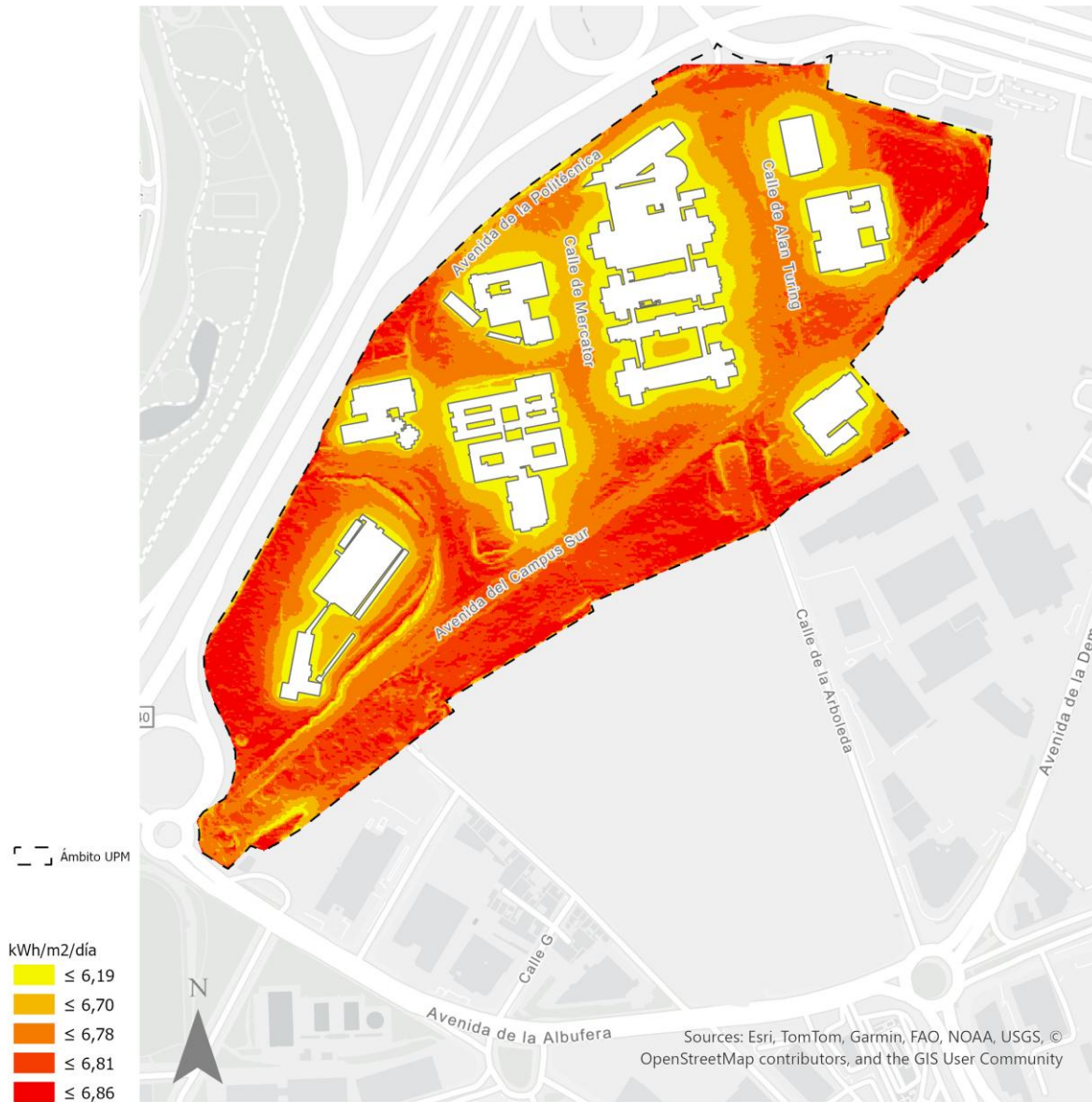


Figura 43. Radiación Solar mes de junio sin considerar el arbolado existente. Los valores indican el promedio diario mensual de radiación solar recibida en las superficies. Elaboración propia.

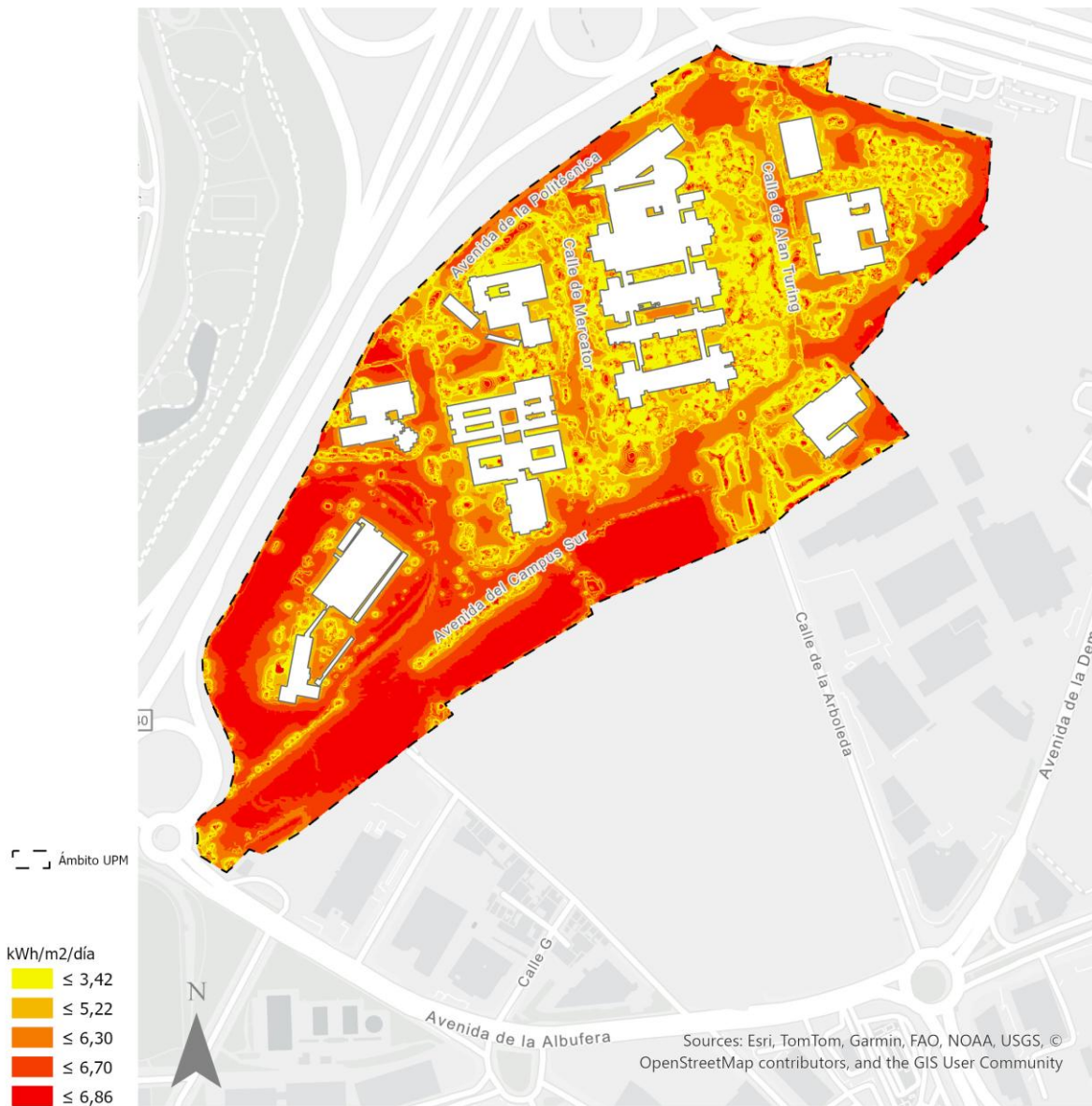


Figura 44. Radiación Solar mes de junio considerando el arbolado existente. Los valores indican el promedio diario mensual de radiación solar recibida en las superficies. Elaboración propia.

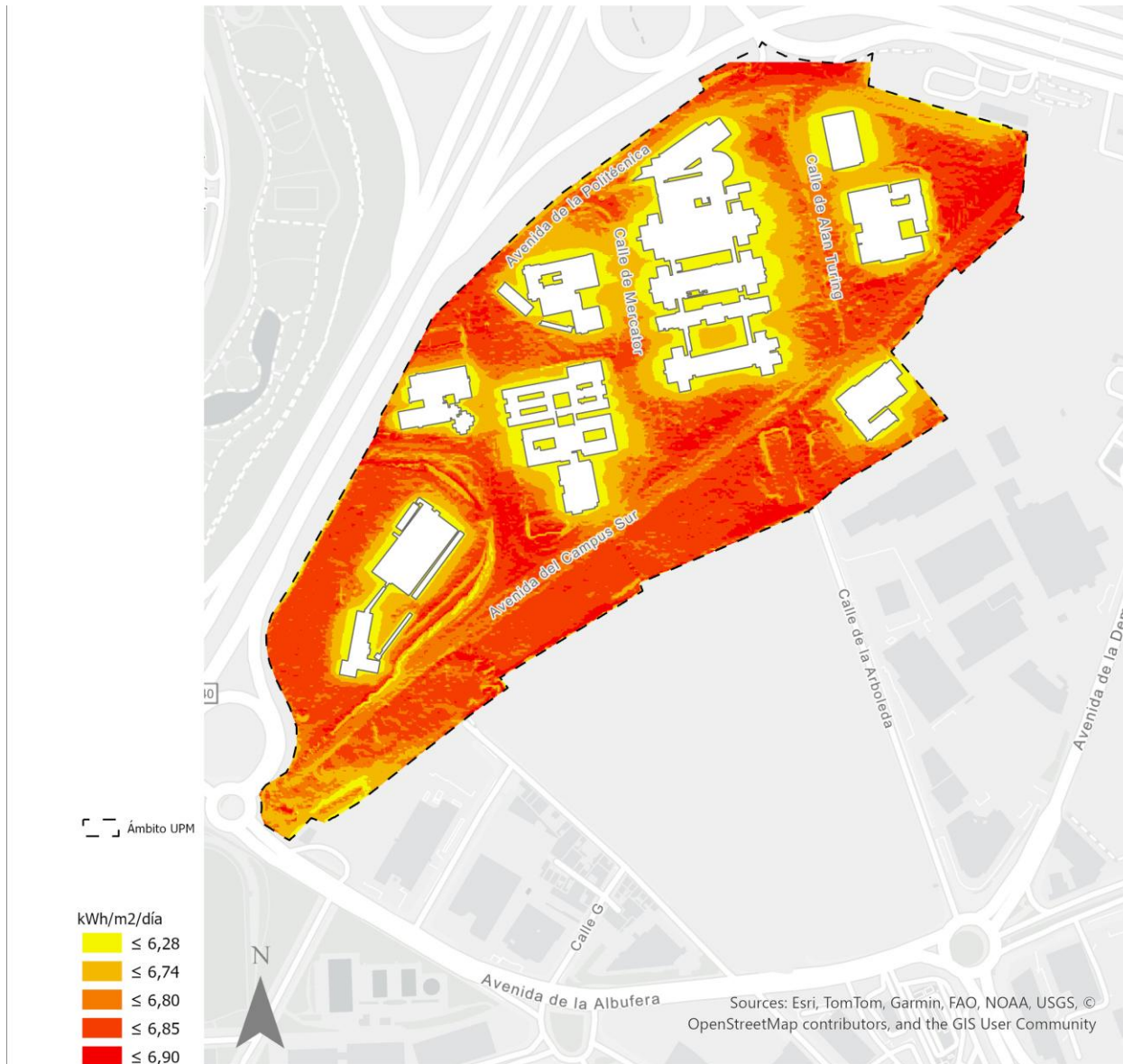


Figura 45. Radiación Solar mes de julio sin considerar el arbolado existente. Los valores indican el promedio diario mensual de radiación solar recibida en las superficies. Elaboración propia.

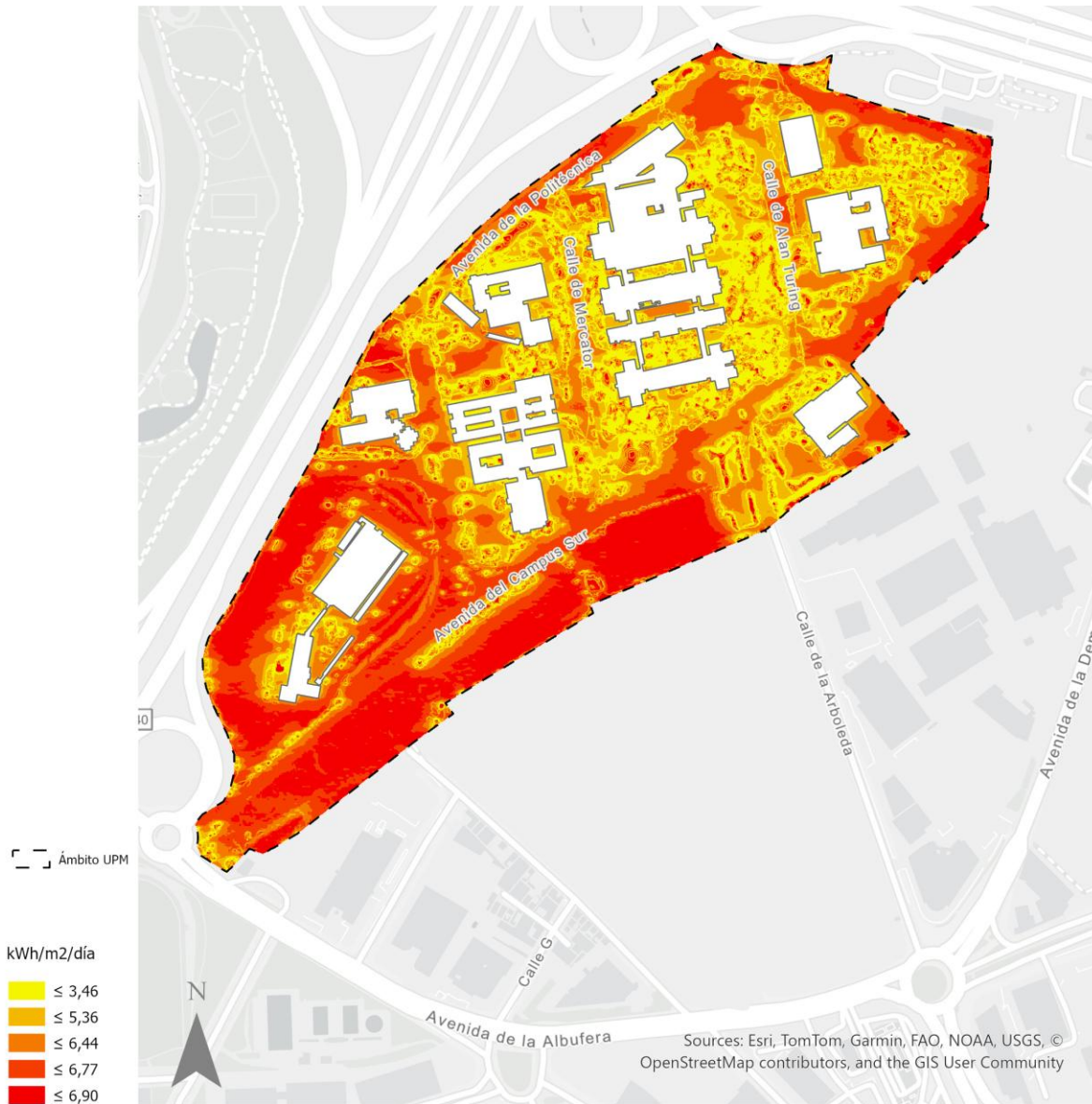


Figura 46. Radiación Solar mes de julio considerando el arbolado existente. Los valores indican el promedio diario mensual de radiación solar recibida en las superficies. Elaboración propia.

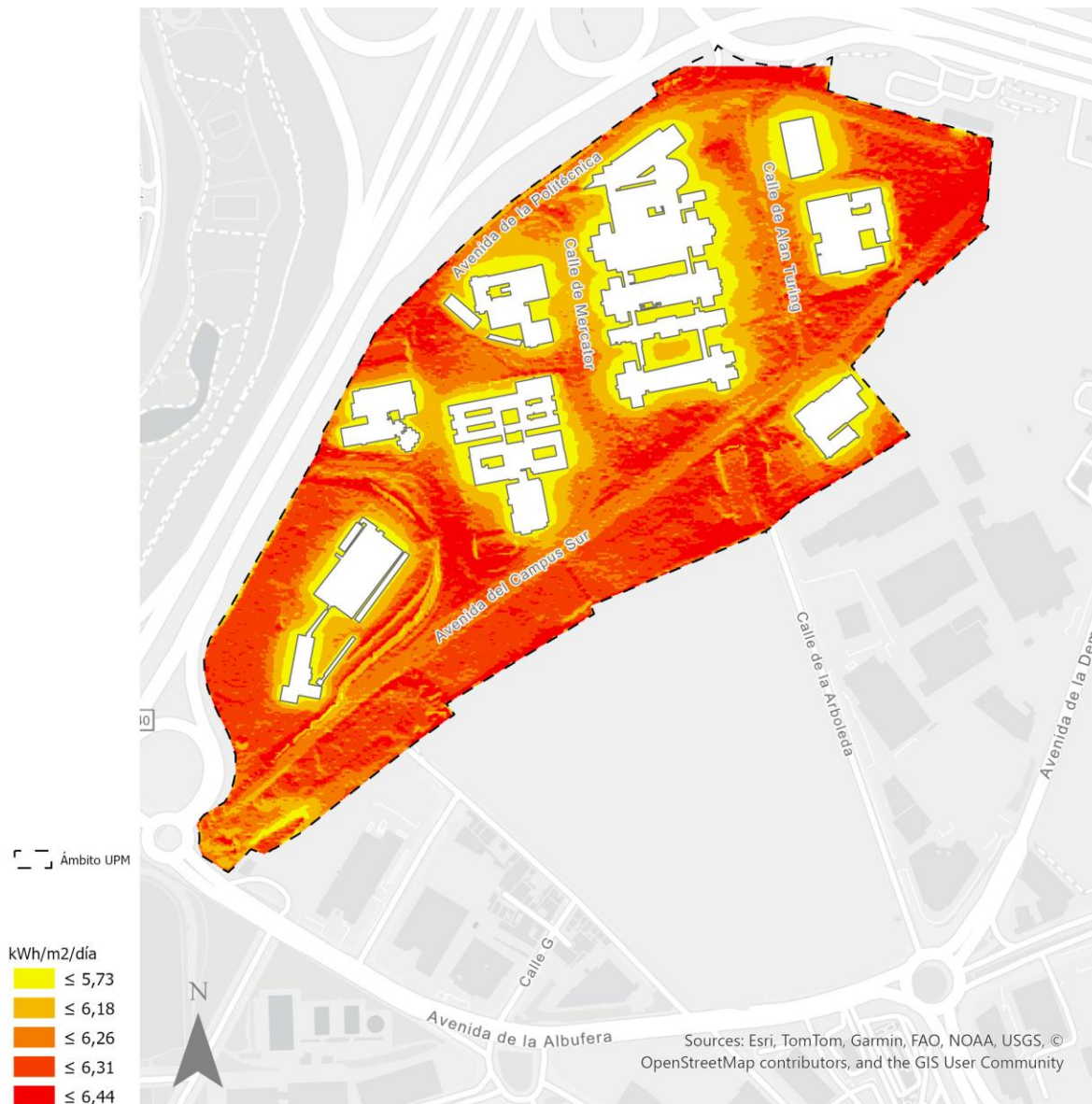


Figura 47. Radiación Solar mes de agosto sin considerar el arbolado existente. Los valores indican el promedio diario mensual de radiación solar recibida en las superficies. Elaboración propia.

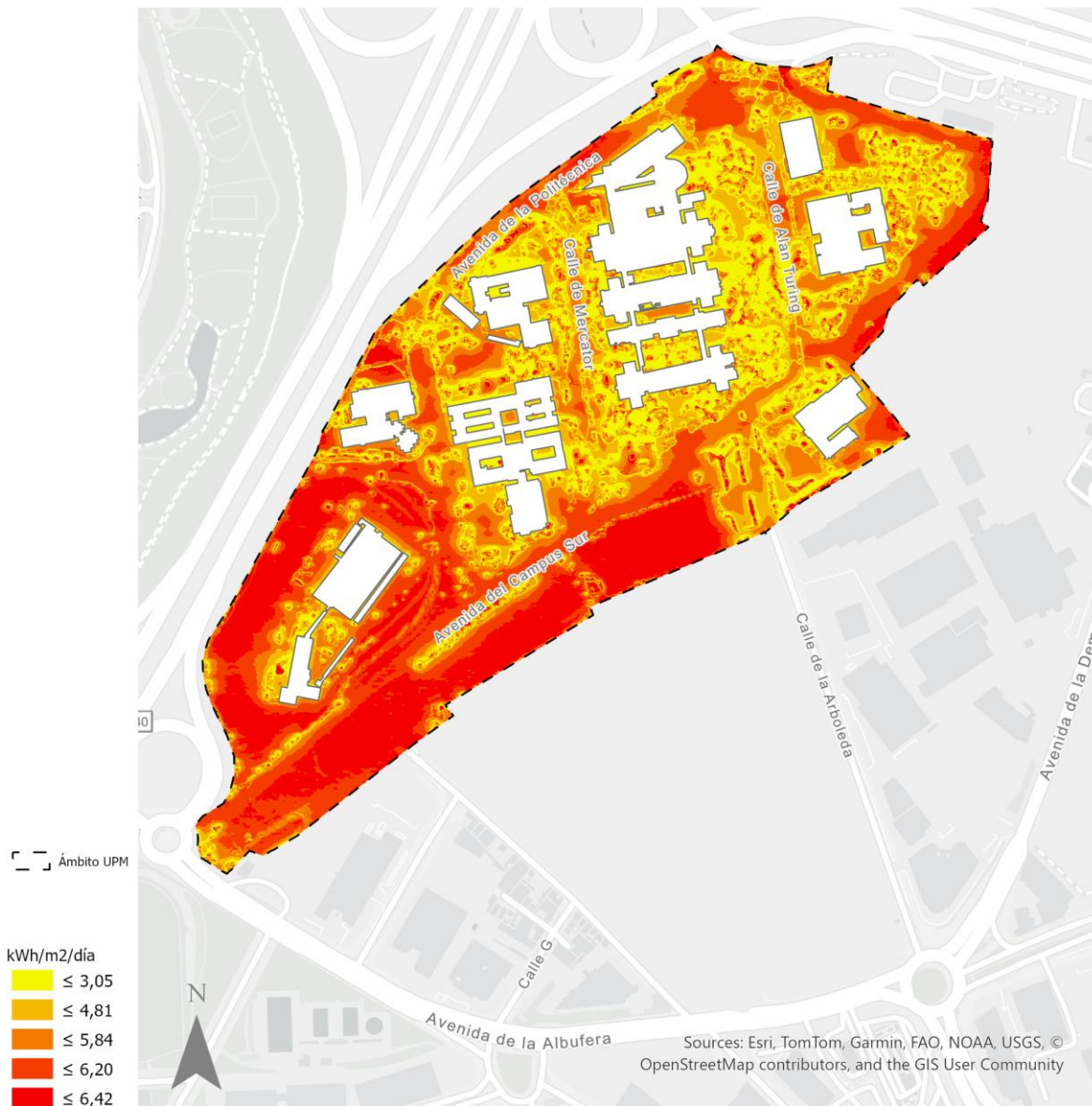


Figura 48. Radiación Solar mes de agosto considerando el arbolado existente. Los valores indican el promedio diario mensual de radiación solar recibida en las superficies. Elaboración propia.

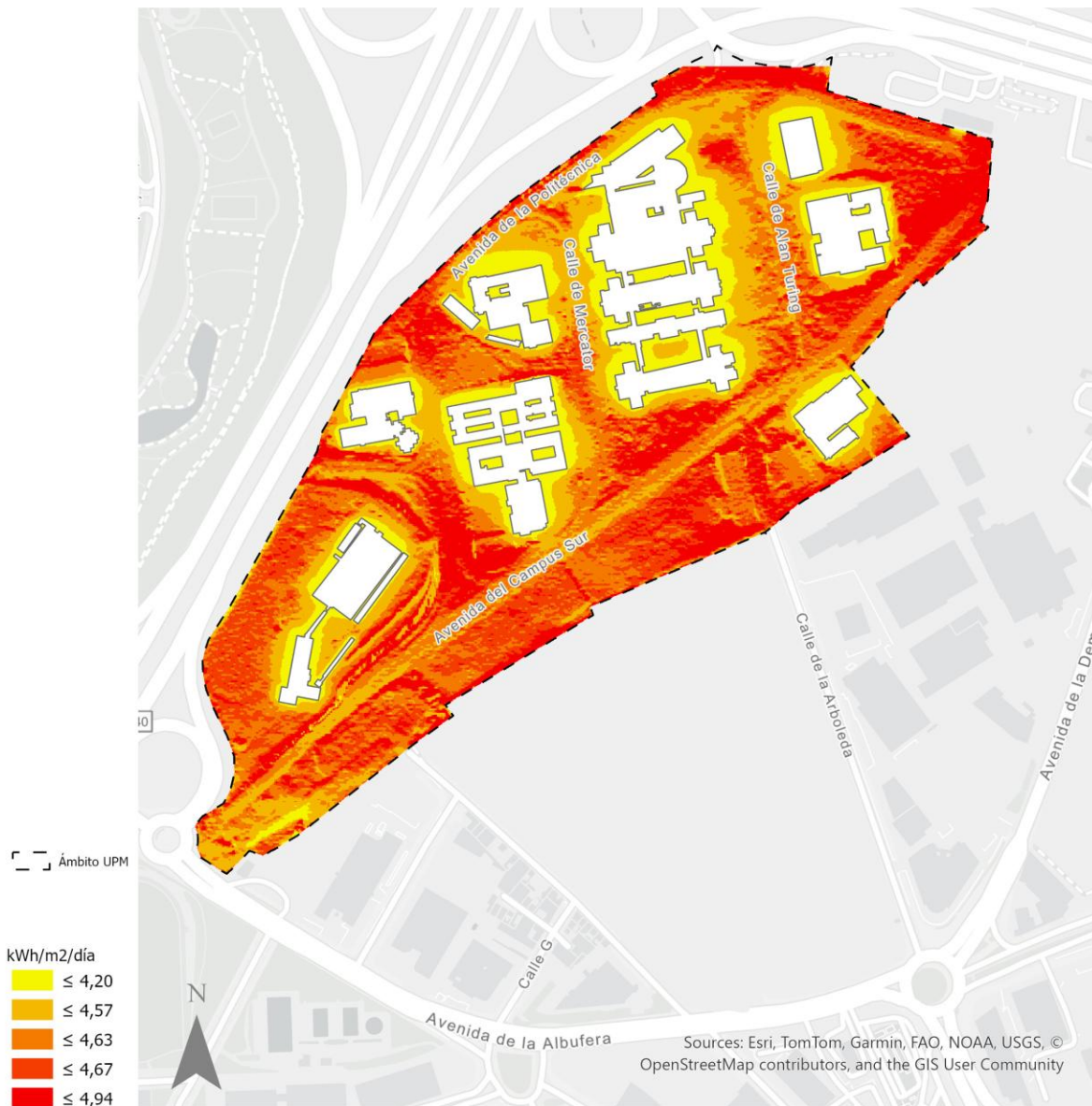


Figura 49. Radiación Solar mes de septiembre sin considerar el arbolado existente. Los valores indican el promedio diario mensual de radiación solar recibida en las superficies. Elaboración propia.

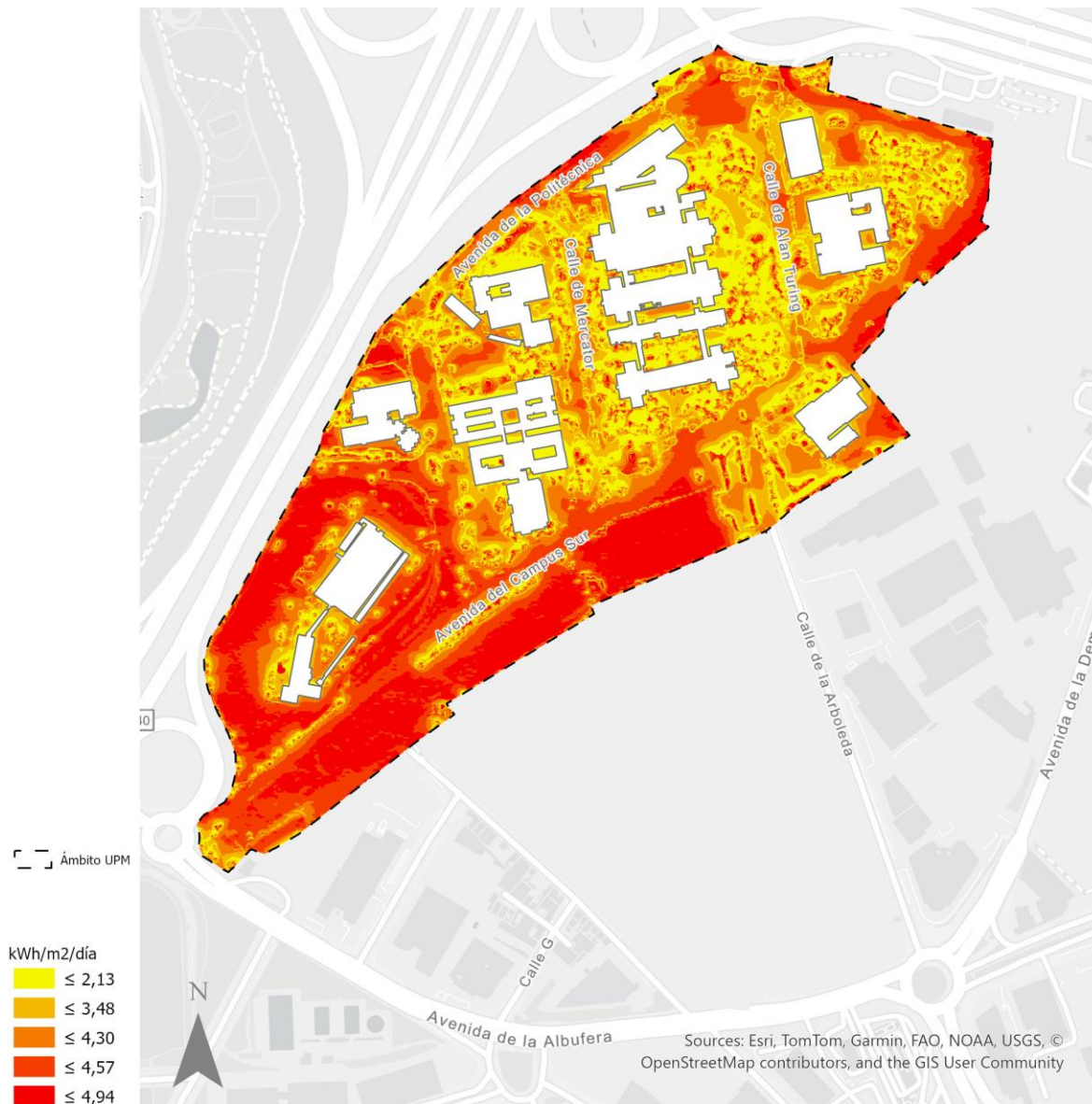


Figura 50. Radiación Solar mes de septiembre considerando el arbolado existente. Los valores indican el promedio diario mensual de radiación solar recibida en las superficies. Elaboración propia.

6.2. Mapas de Frecuencia de sombras

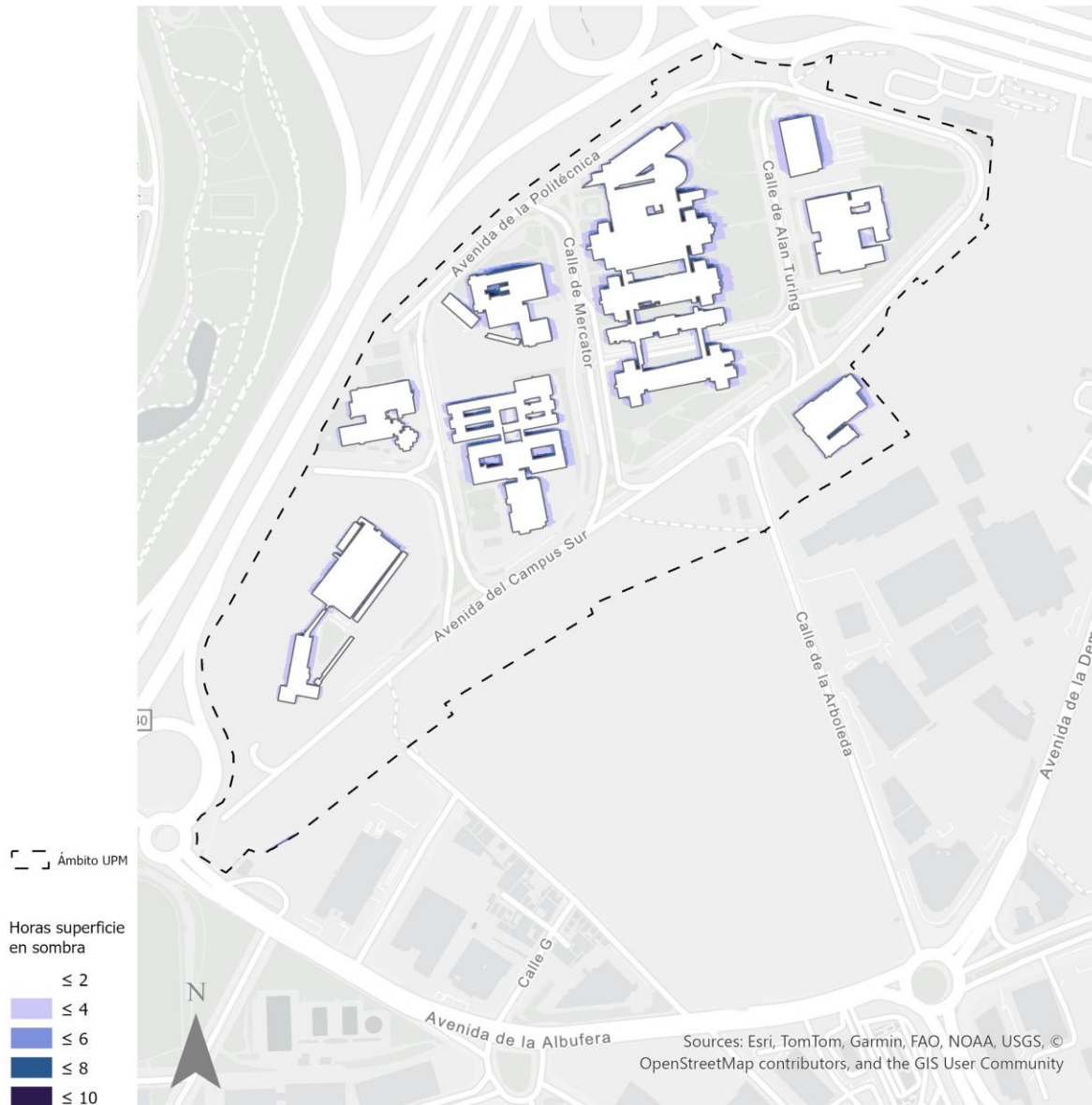


Figura 51. Frecuencia de sombras para el día 20 de junio 2024 (solsticio de verano) sin considerar la presencia del arbolado existente. Los valores indican la cantidad de horas en que una superficie dada se encuentra en sombra durante la franja de las 10:00 y 19:00 h. Elaboración propia.

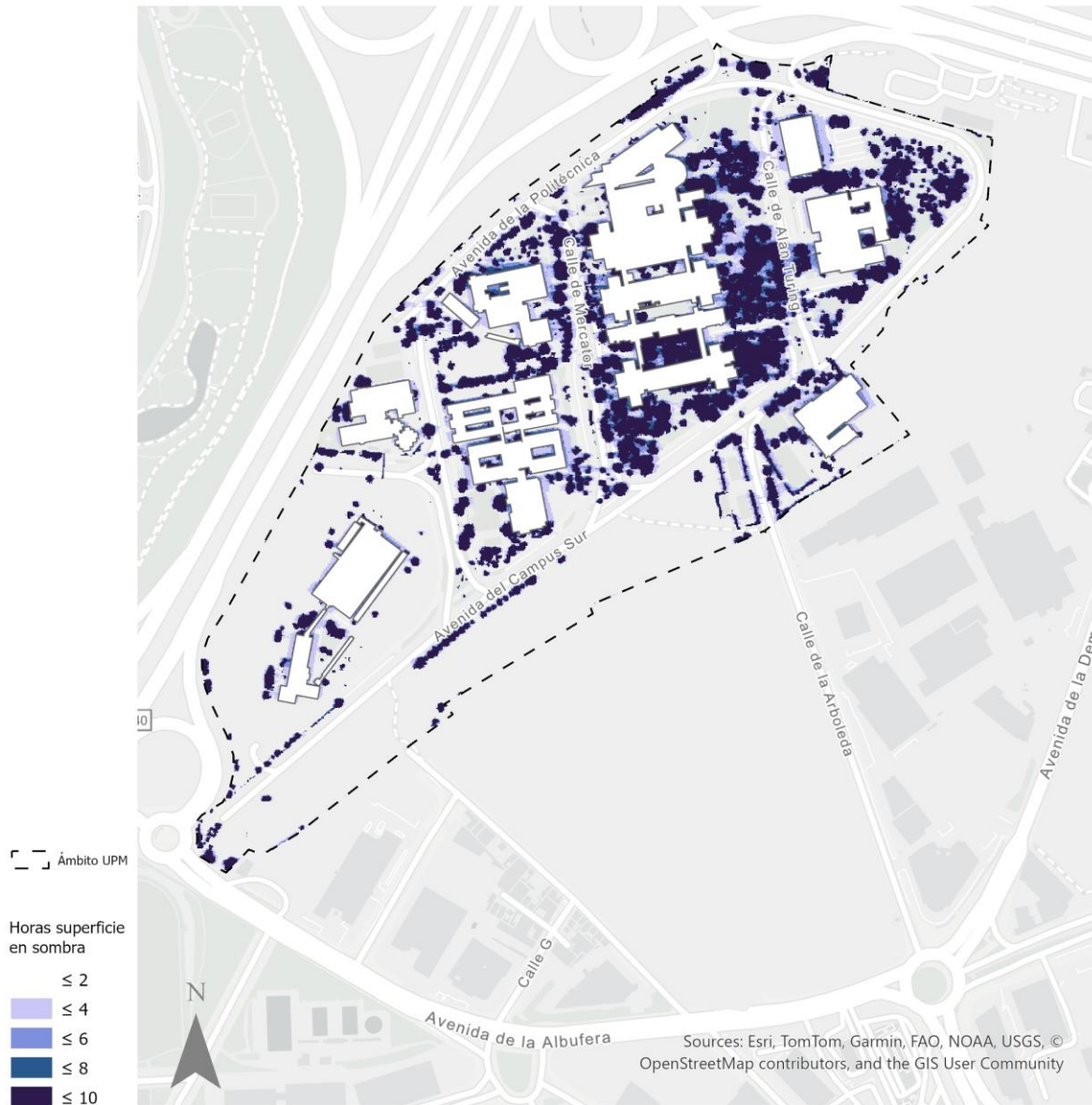


Figura 52. Frecuencia de sombras para el día 20 de junio 2024 (solsticio de verano) considerando el arbolado existente. Los valores indican la cantidad de horas en que una superficie dada se encuentra en sombra durante la franja de las 10:00 y 19:00 h. Elaboración propia.

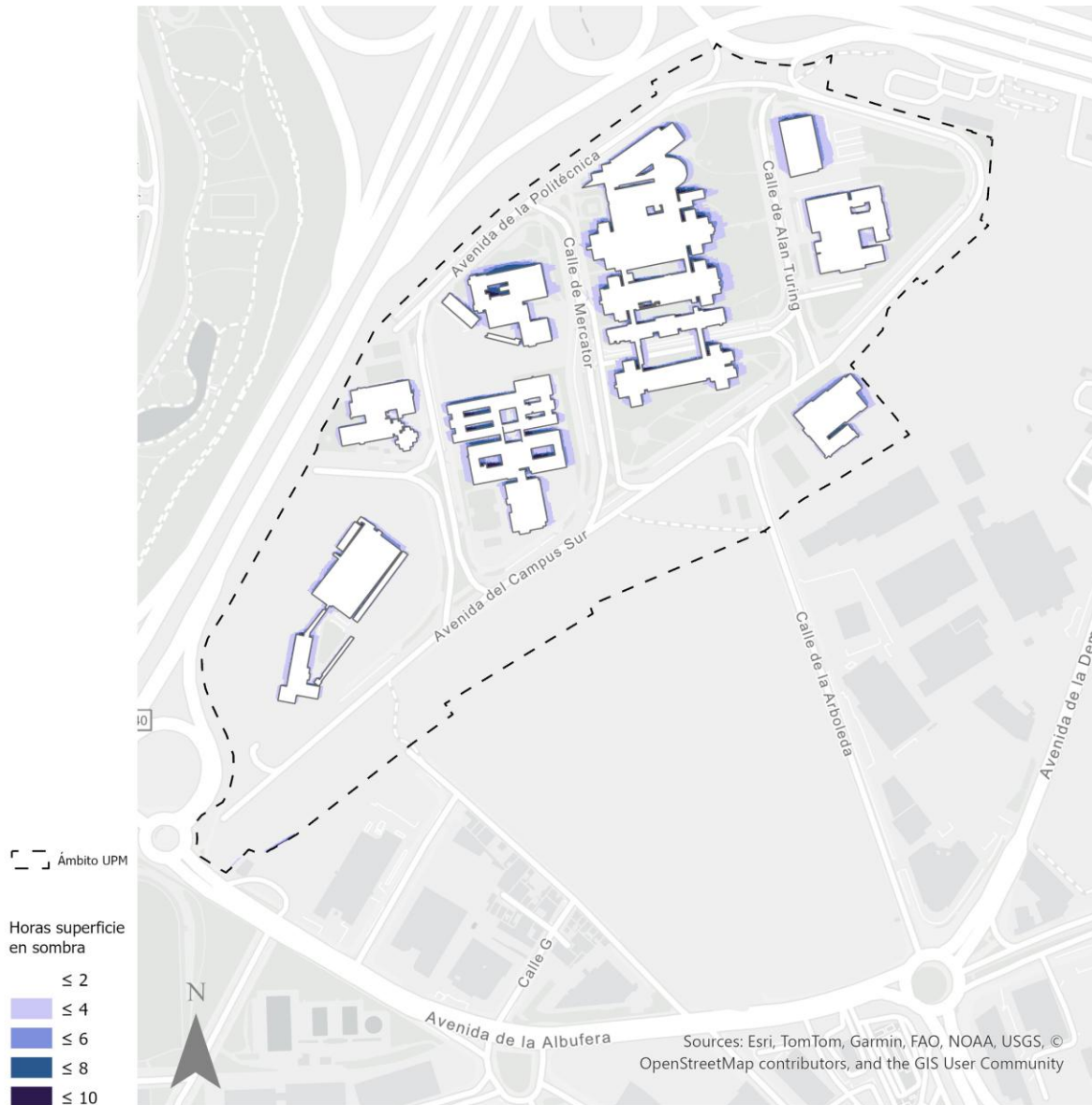


Figura 53. Frecuencia de sombras para el día 20 de julio 2024 (solsticio de verano) sin considerar la presencia del arbolado existente. Los valores indican la cantidad de horas en que una superficie dada se encuentra en sombra durante la franja de las 10:00 y 19:00 h. Elaboración propia.

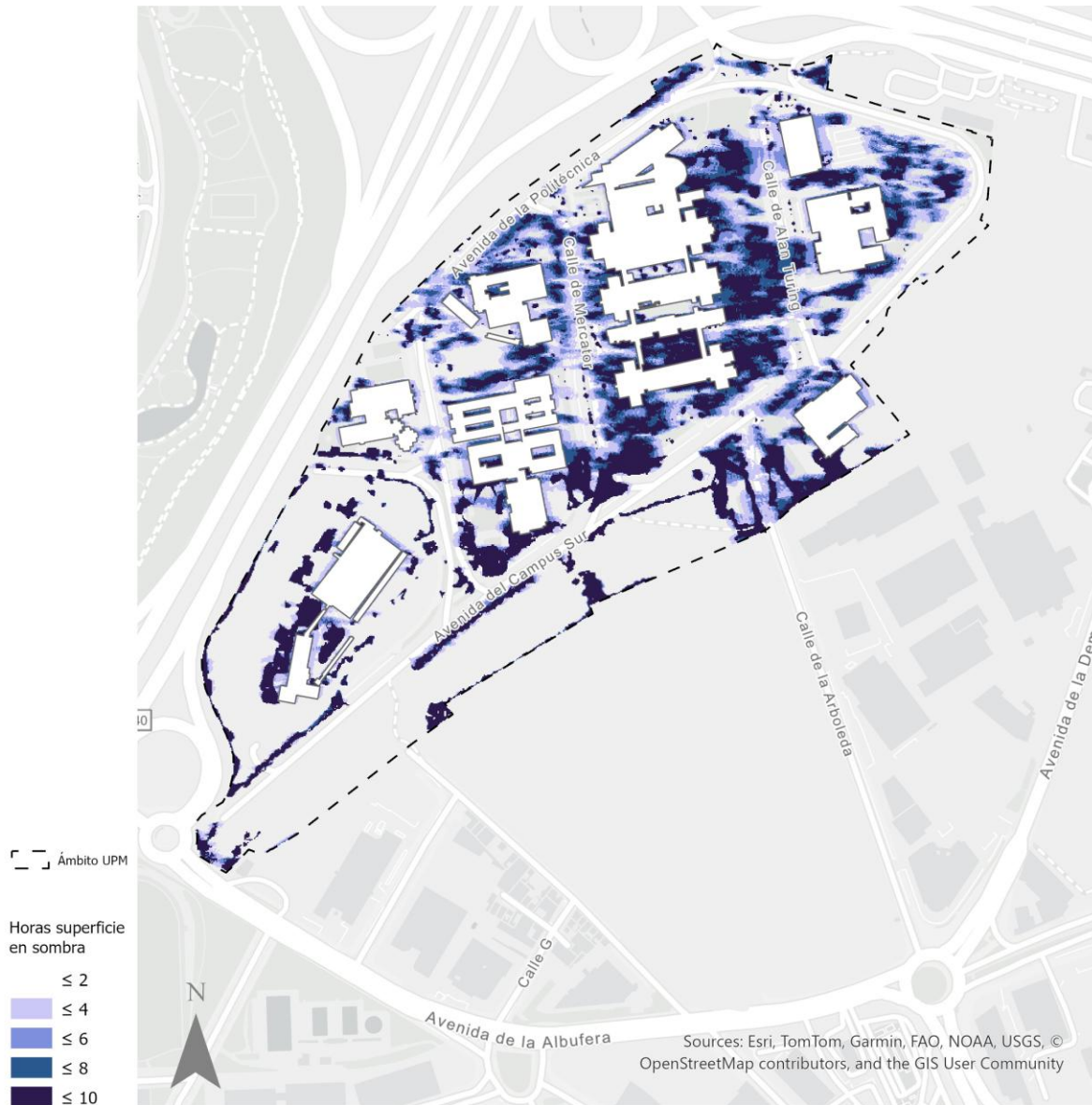


Figura 54. Frecuencia de sombras para el día 20 de julio 2024 (solsticio de verano) considerando el arbolado existente. Los valores indican la cantidad de horas en que una superficie dada se encuentra en sombra durante la franja de las 10:00 y 19:00 h. Elaboración propia.

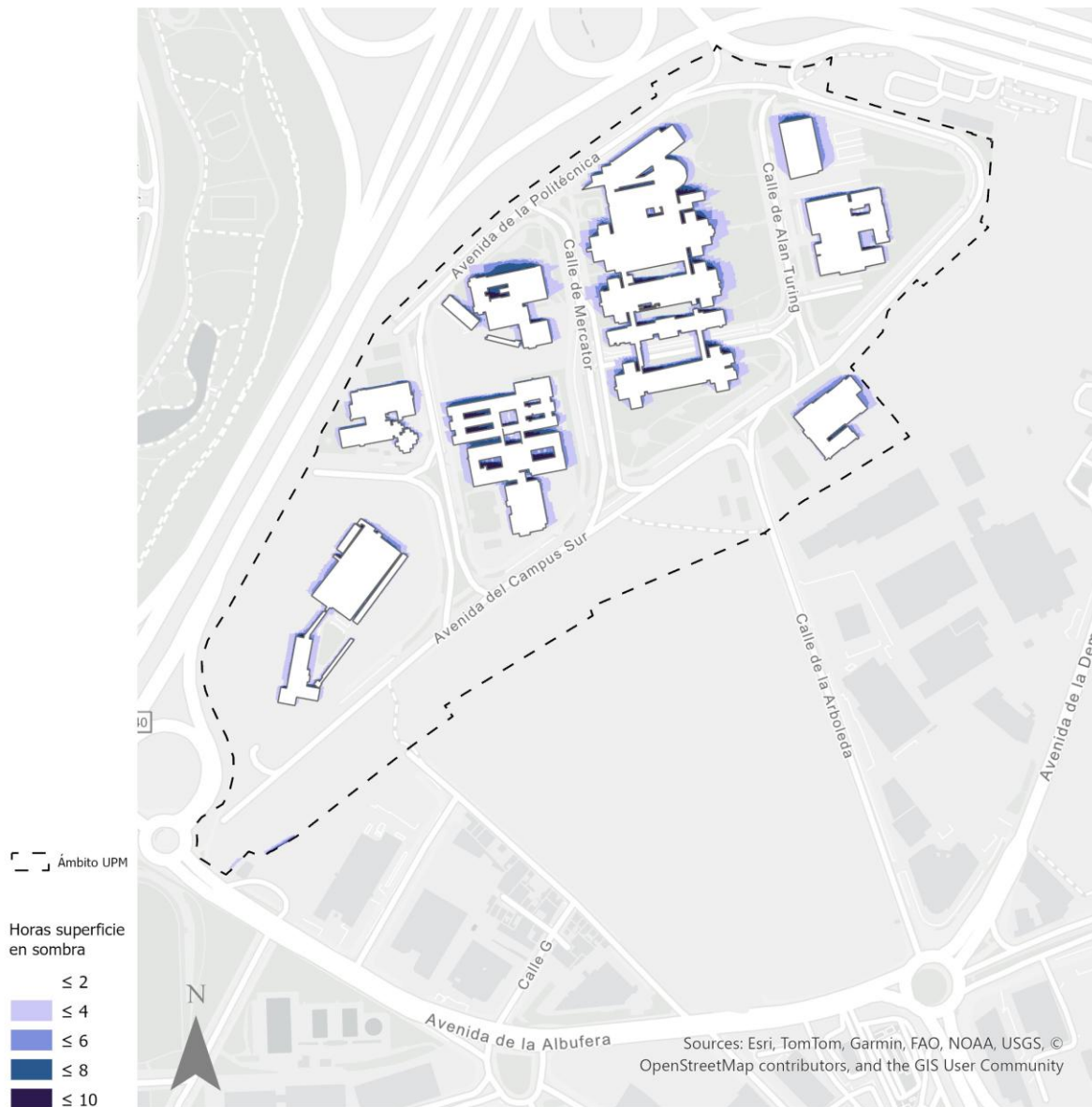


Figura 55. Frecuencia de sombras para el día 20 de agosto 2024 (solsticio de verano) sin considerar la presencia del arbolado existente. Los valores indican la cantidad de horas en que una superficie dada se encuentra en sombra durante la franja de las 10:00 y 19:00 h. Elaboración propia.

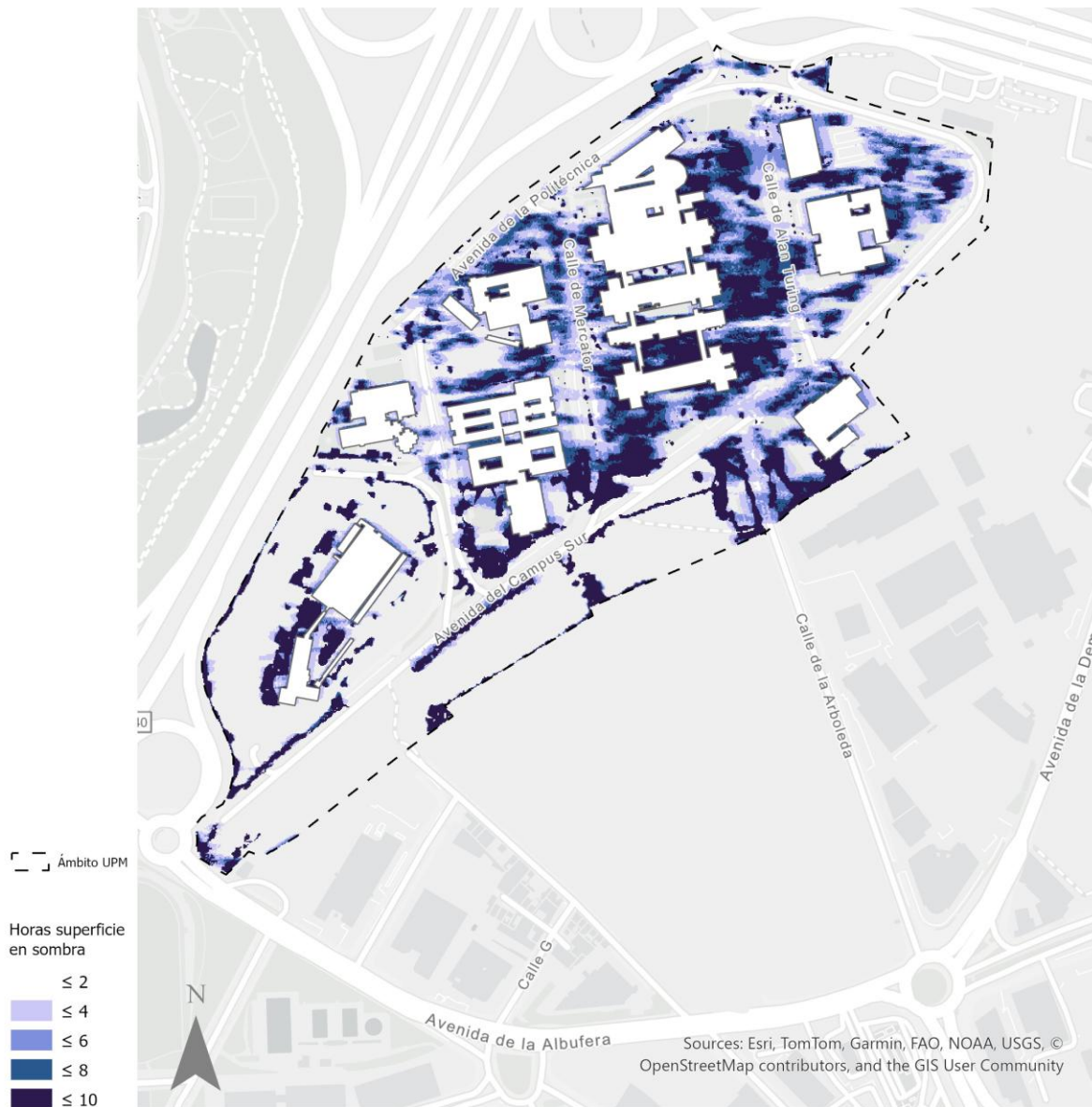


Figura 56. Frecuencia de sombras para el día 20 de agosto 2024 (solsticio de verano) considerando el arbolado existente. Los valores indican la cantidad de horas en que una superficie dada se encuentra en sombra durante la franja de las 10:00 y 19:00 h. Elaboración propia.

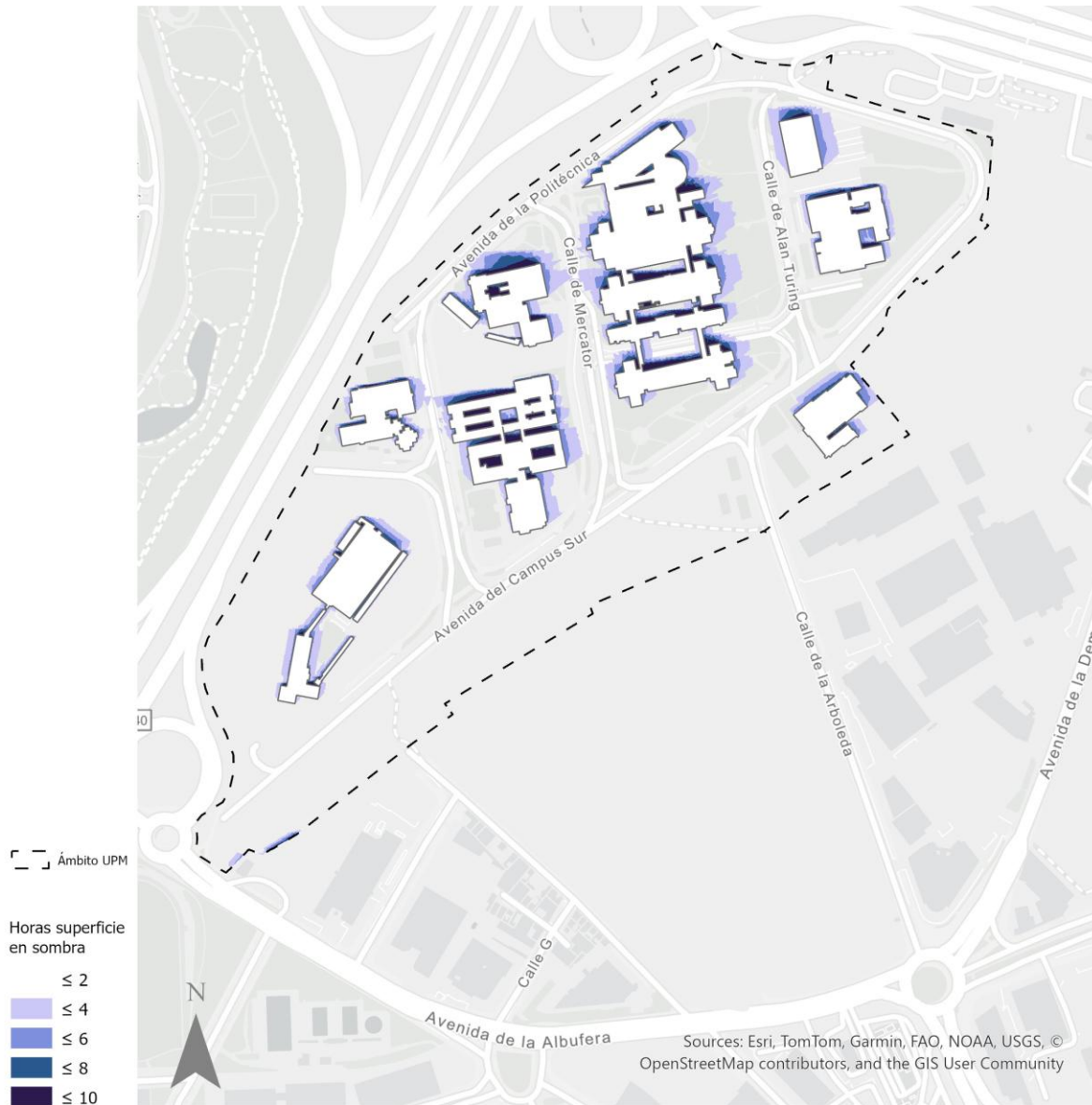


Figura 57. Frecuencia de sombras para el día 20 de septiembre 2024 (solsticio de verano) sin considerar la presencia del arbolado existente. Los valores indican la cantidad de horas en que una superficie dada se encuentra en sombra durante la franja de las 10:00 y 19:00 h. Elaboración propia.

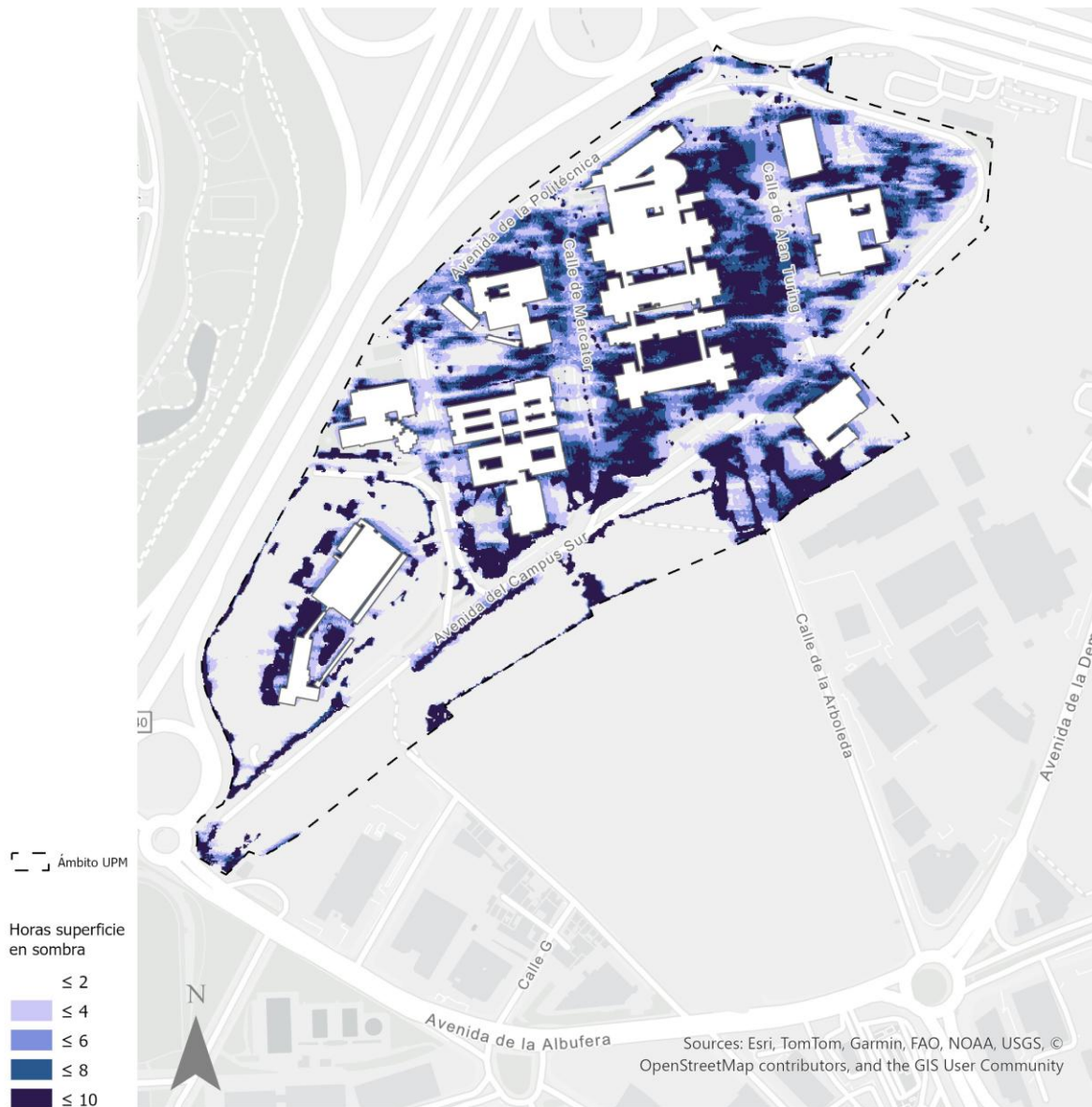


Figura 58. Frecuencia de sombras para el día 20 de septiembre 2024 (solsticio de verano) considerando el arbolado existente. Los valores indican la cantidad de horas en que una superficie dada se encuentra en sombra durante la franja de las 10:00 y 19:00 h. Elaboración propia.

7 Glosario

Bienestar térmico

Condición fisiológica y psicológica de equilibrio térmico en la que el cuerpo humano no requiere modificar su temperatura interna mediante mecanismos de autorregulación. Se considera un estado subjetivo, dependiente de variables ambientales y personales.

Bóveda

celeste

Este concepto hace referencia a la representación del cielo en una esfera imaginaria.

Clima urbano

Conjunto de condiciones atmosféricas específicas del entorno urbano, influenciadas por factores como la morfología urbana, los materiales constructivos, la densidad edificatoria, la vegetación y la actividad antropogénica.

Confort térmico

Grado de satisfacción de las personas con respecto al ambiente térmico que les rodea. Es un estado subjetivo evaluable mediante modelos fisiológicos y se considera óptimo cuando la mayoría de los ocupantes no sienten ni frío ni calor excesivo.

CWS – Citizen Weather Stations (Estaciones meteorológicas ciudadanas)

Red de estaciones meteorológicas de bajo coste, instaladas por ciudadanos o instituciones no gubernamentales, que proporcionan datos atmosféricos localizados en tiempo real. Aunque presentan limitaciones en precisión, ofrecen gran densidad espacial y utilidad para análisis urbanos.

Disconfort térmico

Sensación de incomodidad térmica producida por la exposición a condiciones ambientales fuera del rango de confort. Puede implicar malestar físico, fatiga o riesgo para la salud, y se relaciona directamente con situaciones de estrés térmico.

ERA5

Base de datos de reanálisis climático desarrollada por el Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio (ECMWF por sus siglas en inglés), que combina observaciones meteorológicas y modelos numéricos para proporcionar series temporales horarias de variables climáticas desde 1950, con una resolución espacial de 30 km.

Estratificación del aire

Fenómeno físico por el cual el aire dentro de un espacio cerrado o en la atmósfera se organiza en capas con diferentes temperaturas y densidades. Normalmente, el aire más caliente (menos denso) tiende a subir y formar capas superiores, mientras que el aire más frío (más denso) se acumula en las capas inferiores.

Estrés térmico

Carga fisiológica generada por condiciones térmicas ambientales (calor o frío extremo) que superan la capacidad del organismo humano para mantener su temperatura interna constante. Puede producir efectos negativos sobre la salud, especialmente en grupos vulnerables.

Gap-Filling (GF) - Rellenado de información

Técnica de imputación de datos ausentes en registros climáticos mediante interpolaciones, regresiones o datasets auxiliares. Su objetivo es mantener la continuidad y robustez de las series temporales o espaciales para su uso en análisis ambientales.

Grados día de refrigeración (GDR)

Indicador acumulativo que cuantifica la demanda de refrigeración en función del exceso de temperatura exterior respecto a un umbral base de confort (habitualmente 18 °C). Se expresa en grados por día y se utiliza para estimar consumos energéticos.

Kriging Bayesiano Empírico con Regresión (EBK)

Método de interpolación espacial que combina técnicas bayesianas con regresiones locales, generando superficies continuas de una variable a partir de puntos dispersos e incorporando estimaciones de incertidumbre. Muy adecuado para variables ambientales heterogéneas.

Landsat 8

Satélite de observación terrestre operado por la NASA y el USGS, que proporciona imágenes multiespectrales y térmicas con una resolución de 30 m. Es utilizado en estudios de uso del suelo, cobertura vegetal, temperatura superficial y cambios urbanos.

LiDAR (Light Detection and Ranging)

Tecnología de teledetección activa que emplea pulsos láser para medir distancias con alta precisión. Genera modelos digitales de elevación y nubes de puntos tridimensionales, siendo fundamental en estudios de morfología urbana y cobertura vegetal.

Microclima

Conjunto de condiciones climáticas específicas que se desarrollan en un espacio reducido, influenciado por elementos como la orientación, materiales, presencia de vegetación y características geométricas del entorno inmediato.

Severidad climática

Indicador compuesto que caracteriza la magnitud, duración y frecuencia de eventos climáticos extremos (como olas de calor). Su análisis permite clasificar zonas según su vulnerabilidad térmica y orientar medidas de mitigación o adaptación.

UTCI – Universal Thermal Climate Index

Índice biometeorológico internacionalmente reconocido para la evaluación del confort térmico en exteriores. Considera temperatura del aire, velocidad del viento, humedad relativa y radiación solar, proporcionando una estimación fisiológica del estrés térmico.