



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

Renaturalización del ámbito de Campus Sur y su entorno

Volumen IV.

Documento final

Septiembre de 2025

Equipo de trabajo que firma el documento: Ana Macías Palomo, doctora ingeniera de montes · 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

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.	Introducción.....	9
1.1.	Objeto y estructura del documento.....	9
1.2.	Documentación y fuentes empleadas.....	10
1.3.	Metodología.....	10
1.4.	Ámbito espacial.....	10
2.	Estudio del entorno de Campus Sur.....	14
2.1.	Climatología.....	14
2.1.1.	Temperatura.....	14
2.1.2.	Precipitación.....	15
2.1.3.	Velocidad y exposición a los vientos.....	17
2.1.4.	Impacto del cambio climático y la isla de calor.....	18
2.2.	Interpretación de la vegetación remanente.....	19
2.3.	Vegetación actual del campus.....	21
2.4.	Presencia de fauna.....	23
3.	Metodología.....	27
3.1.	Análisis de la cobertura arbórea mediante fotografía aérea.....	27
3.1.1.	Cálculo de la cobertura arbórea total.....	28
3.1.2.	Estimación de la remoción de contaminación atmosférica.....	29
3.1.3.	Valoración de la remoción de contaminantes del aire.....	29
3.2.	Inventario de la vegetación arbórea.....	30
3.2.1.	Identificación de especies.....	30
3.2.2.	Posición geográfica.....	30
3.2.3.	Medición de altura.....	31
3.2.4.	Medición del diámetro.....	31
3.3.	Cálculo del índice 3-30-300.....	32
3.4.	Análisis preliminar de riesgo del arbolado.....	33
3.4.1.	Estado fisiológico.....	33
3.4.2.	Prioridad de actuación.....	34
3.5.	Diagnóstico de uso y gestión de zonas verdes del Campus.....	34
3.6.	Metodologías de selección de especies en arbolado urbano: integración de criterios expertos y sistemas cuantitativos.....	35
3.6.1.	El criterio experto en contextos urbanos.....	35
3.6.2.	Integración de herramientas documentales y digitales.....	35
4.	Resultados.....	43

4.1.	Cobertura arbórea y permeabilidad.....	43
4.2.	Indicador 3-30-300.....	46
4.3.	Datos del inventario de arbolado.....	48
4.3.1.	Diversidad de especies	48
4.3.1.	Distribución diamétrica	50
4.3.2.	Distribución geográfica	51
4.4.	Estudio preliminar de riesgo del arbolado.....	52
4.5.	Catálogo de especies recomendadas.....	56
4.6.	Identificación de zonas prioritarias para intervenciones de fomento de la biodiversidad	57
5.	Propuestas	60
5.1.	Objetivos de las propuestas	60
5.2.	Inventario de propuestas	61
5.2.1.	Reforestaciones (Fichas OB-12, OB-24 y OB-26).....	61
5.2.2.	Zona estancial forestal (Ficha OB13).....	65
5.2.3.	Actuaciones en bosque sur de coníferas (Ficha GM07)	67
5.2.4.	Actuaciones sobre el arbolado y plan de gestión (fichaEST-04)	68
5.2.5.	Intervenciones para mejora de la biodiversidad (ficha GM-08)	70
6.	Referencias.....	73

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Ortofotos de la zona de Campus Sur de los años 1970, 1975 y 1981 que muestran la creación de los viales y la construcción de los primeros edificios del campus (Fuente: Geoportal Comunidad de Madrid)	12
Ilustración 2. Ortofotos de la zona de Campus Sur del año 1981 en la que se observa la presencia del arbolado de las zonas verdes (Fuente: Geoportal Comunidad de Madrid)	13
Ilustración 3. Ortofoto de la zona de Campus Sur del año 1995 en la que se observa la que la configuración de la vegetación y las zonas verdes tiene una estructura similar a la que se observa en la actualidad sin haber sufrido cambios significativos desde entonces (Fuente: Geoportal Comunidad de Madrid)	13
Ilustración 4. Temperatura máxima y mínima promedio (Fuente: WeatherSpark, Estación de Ciudad Lineal)	14
Ilustración 5. Temperatura promedio por hora, codificada por colores en bandas. Las áreas sombreadas superpuestas indican la noche y el crepúsculo civil. (Fuente: WeatherSpark, Estación de Ciudad Lineal)	15
Ilustración 6. Días por mes en los que existe precipitación. (Fuente: Meteoblue, localización Puente de Vallecas)	16
Ilustración 7. Temperaturas medias y precipitaciones mensuales. (Fuente: Meteoblue, localización Puente de Vallecas)	16
Ilustración 8. Rosa de los vientos o representación gráfica de la dirección e intensidad del viento. (Fuente: Meteoblue, Estación Puente de Vallecas)	17
Ilustración 9. Días de viento y velocidad por mes a lo largo del año. (Fuente: Meteoblue, Estación Puente de Vallecas)	17
Ilustración 10. Evolución de la temperatura máxima para la ciudad de Madrid, para el escenario RPC 8.5 (Fuente: AdapteCCa, visor de escenarios de cambio climático, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico)	18
Ilustración 11. Evolución de la Evapotranspiración temporal en la ciudad de Madrid ((Fuente: AdapteCCa, visor de escenarios de cambio climático, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico)	18
Ilustración 12. Isla de calor en el municipio de Madrid (Fuente: Proyecto MODIFICA, Universidad Politécnica de Madrid, Sanchez et al, 2017)	19
Ilustración 13. Mapa litológico de la zona en estudio: mostaza: arcosas ocres claras; rosa: serie blanca (sedimentos terciarios neógenos-químicos y evaporíticos); gris: yesos y arcillas (sedimentos terciarios y neógenos-sedimentos químicos y evaporíticos) (Fuente: Geoportal de la Comunidad Autónoma de Madrid. https://www.comunidad.madrid/servicios/mapas/geoportal-comunidad-madrid)	20
Ilustración 14. Zona ajardinada del campus en la que se observa la combinación de distintas especies y estratos.	22
Ilustración 15. Zona ajardinada de Campus Sur en la que predominan las especies de hoja perenne.	22
Ilustración 16. Terrenos de Campus Sur colonizados por especies herbáceas adventicias actualmente sin mantenimiento.	23
Ilustración 17. Vegetación arbórea y arbustiva espontánea en una zona marginal junto a una carretera en el campus.	23
Ilustración 18. Imágenes de las especies de vertebrados presentes en el entorno de Campus Sur (Fuente: Base de datos de biodiversidad iNaturalist)	25
Ilustración 19. Observaciones de distintas especies de fauna localizadas en torno al campus registradas en la base de datos de biodiversidad de iNaturalist.	26
Ilustración 20. Etapas del análisis y toma de datos de estudio de la vegetación de Campus Sur UPM.	27
Ilustración 21. Interfaz del software de inventario utilizado Treeplogger University	31

Ilustración 22. Metodología de medición de diámetros utilizando un dendroflexómetro (Fuente: CESEFOR, 2013).....	32
Ilustración 23. Puntos de muestreo en el estudio coberturas de i-Tree Canopy de Campus Sur.....	43
Ilustración 24. Gráfico de distribución de tipologías de cobertura de Campus Sur UPM.	43
Ilustración 25. Distribución en porcentajes y superficie de las distintas tipologías de cobertura de Campus Sur UPM.	44
Ilustración 26. Zona de aparcamiento junto al edificio Arboleda susceptible de intervención para aumentar permeabilidad y cobertura vegetal.	44
Ilustración 27. Análisis del indicador 3-30-300 para Campus Sur UPM: componente 3 árboles visibles desde cada vivienda/aula/oficina.	46
Ilustración 28. Análisis del indicador 3-30-300 para Campus Sur UPM: componente 30% de cobertura arbórea que no es alcanzado.	47
Ilustración 29. Análisis del indicador 3-30-300 para Campus Sur UPM: componente 300 que se cumple dentro del campus y tiene un efecto sobre los edificios que se encuentran en un buffer de 300 metros alrededor del mismo.	47
Ilustración 30. Especies arbóreas más abundantes en Campus Sur UPM.....	48
Ilustración 31. Abundancia de especies en Campus Sur UPM.	49
Ilustración 32. Número de árboles por clase diamétrica en Campus Sur UPM.....	50
Ilustración 33. Especies arbóreas más abundantes por clase diamétrica en Campus Sur UPM.	51
Ilustración 34. Localización de los pies arbóreos en Campus Sur UPM.....	52
Ilustración 35. Porcentaje de árboles por cada estado sanitario en Campus Sur UPM.	53
Ilustración 36. Distintos árboles catalogados dentro de la categoría de “Enfermo” por pudriciones y afecciones del tronco o por presencia de ramas secas o dyeback.	53
Ilustración 37. Estado fitosanitario de las especies arbóreas más abundantes en Campus Sur UPM.	54
Ilustración 38. Mapa con la localización de los pies inventariados según su estado fisiológico.	55
Ilustración 39. Localización de los pies de intervención urgente clasificados por especie.	56
Ilustración 41. Pradera naturalizada en la zona este del Edificio Arboleda: evitar siegas en primavera para promover polinizadores.....	58
Ilustración 42. Zonas prioritarias de intervención (en marrón) para fomento de biodiversidad.	58
Ilustración 42. Ejemplo de intervención para favorecer el grupo de quirópteros a través de la colocación de cajas refugio para murciélagos.	71
Ilustración 44. La programación de las siegas permite la floración de las especies herbáceas que favorecen la actividad de los polarizadores.	72

Índice de tablas

Tabla 1. Especies de vertebrados presentes en el entorno de Campus Sur (Fuente:Base de datos de biodiversidad iNaturalist).	24
Tabla 2. Cuantificación y valoración económica de la reducción de contaminación atmosférica ligada a la cobertura arbórea en Campus Sur UPM.	45
Tabla 3. Cuantificación y valoración económica de la reducción de escorrentía y aguas de tormenta ligadas a la cobertura arbórea en Campus Sur UPM.	45

1. Introducción

El presente estudio analiza el estado actual de la vegetación y el medio natural de Campus Sur, Universidad Politécnica de Madrid, con un enfoque centrado en la maximización de los servicios ecosistémicos que el campus ofrece a la comunidad universitaria y a la población de su entorno, y propone soluciones de mejora del campus desde el punto de vista de la renaturalización del espacio.

1.1. Objeto y estructura del documento

El estudio y las propuestas en torno a la renaturalización y la mejora de la vegetación y zonas verdes de Campus Sur persiguen la consecución de los siguientes objetivos:

- **Favorecer la biodiversidad y la conectividad**, mediante estrategias relacionadas con la selección de especies, la conectividad y nuevas directrices en la gestión y mantenimiento de los espacios verdes.
- **Maximizar servicios ecosistémicos**, centrándonos fundamentalmente en aquellos relacionados con la salud de la comunidad educativa, como son:
 - Sombra, regulación térmica, radiación UV
 - Reducir la contaminación atmosférica y acústica
 - Aumentar la infiltración y reducir la escorrentía
 - Reducir el consumo energético en los edificios
- **Minimizar los diservicios** (efectos negativos o impactos indeseados generados), poniendo atención en disminuir los siguientes factores:
 - Riesgo del arbolado
 - Alergenicidad
 - Consumo hídrico
- **Diseñar de forma coherente y uniforme todo Campus Sur**, aportando identidad y cohesión a la totalidad del entorno.
- **Plantear un mantenimiento orientado a la sostenibilidad y la eficiencia**, incorporando criterios que incluyan las nuevas directrices de poda y gestión de espacios verdes.

El documento desarrollado se encuentra dividido en cuatro grandes bloques, cada uno de los cuales se describen a continuación:

1. Estudio del entorno, en el que se analiza la localización del campus dentro de la ciudad de Madrid, las características climáticas y edáficas de la zona y el estudio de la vegetación remanente presente en el campus.
2. Descripción de la metodología empleada en cada uno de los análisis realizados, que incluyen la descripción en detalle de:

- El estudio de la cobertura arbórea y las distintas tipologías de coberturas de suelo a través de fotointerpretación
 - Inventario pie a pie de la vegetación arbórea
 - Cálculo del índice 3-30-300 que relaciona la infraestructura verde con el impacto en la salud humana
 - Estudio preliminar de riesgo del arbolado
 - Diagnóstico de uso y gestión de las zonas verdes del campus
 - Metodología de selección de especies
3. Exposición de los resultados obtenidos, que recoge los datos obtenidos en cada uno de los estudios y análisis anteriormente descritos
 4. Elaboración de propuestas de mejora, en las que el diagnóstico se sintetiza en forma de propuestas para la mejora de la planificación y gestión de la vegetación en Campus Sur UPM

1.2. Documentación y fuentes empleadas

Para la elaboración de este estudio y la realización de los distintos análisis incluidos en el informe, se ha recurrido principalmente a los **datos recopilados en campo** mediante el **inventario de arbolado y zonas verdes de Campus Sur**. Este inventario ha constituido la base fundamental para la caracterización del arbolado, la evaluación del estado fitosanitario, el análisis de la estructura vegetal y la identificación de oportunidades de mejora y ampliación de la infraestructura verde.

Asimismo, el estudio se ha complementado con **fuentes secundarias** que han permitido enriquecer y contextualizar los resultados obtenidos. Entre ellas destacan las **bases de datos de biodiversidad** (iNaturalist), las **fotografías aéreas históricas**, **mapa litológico y otra cartografía temática** del Geoportal de la Comunidad de Madrid y del Ayuntamiento de Madrid, que han sido utilizadas para analizar la evolución temporal del paisaje urbano y la transformación de las zonas verdes del campus. También se han consultado trabajos académicos previos de otros equipos de la UPM, en concreto varios Proyectos Fin de Carrera de la UPM: uno centrado en el análisis del entorno urbano de Campus Sur; otro enfocado en el estudio del bosque urbano de la UPM; un estudio de la ETSAM sobre el fenómeno de la Isla de Calor en la ciudad de Madrid; y el Diagnóstico funcional y estratégico de Campus Sur de la UPM de 2022. Todas estas fuentes adicionales se detallan específicamente en los distintos apartados del informe, donde se menciona su utilización según corresponda, con el fin de garantizar la trazabilidad y la transparencia en la metodología empleada.

1.3. Metodología

La metodología empleada combina distintos enfoques según el elemento analizado: la toma de datos en campo, el análisis mediante fotografía aérea, la consulta de fuentes documentales y las entrevistas personales.

La descripción en detalle de cada uno de los métodos empleados está incluida en el capítulo 2.

1.4. Ámbito espacial

Campus Sur (UPM) se encuentra situado al sureste de la ciudad de Madrid, en el distrito de Puente de Vallecas, casi en el límite con los distritos de Vicálvaro (al norte) y Villa de Vallecas (al este). Está ubicado en el km 7 de la carretera de Valencia y su construcción data de principios de la década de 1970 (véase Ilustración 1).

Este campus se encuentra constituido por la E.T.S. de Ingeniería de Sistemas Informáticos, la E.T.S. de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación, la E.T.S. en Topografía, Geodesia y Cartografía, el Instituto de Investigación del Automóvil (INSIA), el Centro Superior de Diseño de Moda de Madrid (centro adscrito a la UPM) y el Centro de Investigación en Tecnologías Software y Sistemas Multimedia para la Sostenibilidad. Además, Campus Sur cuenta con una biblioteca y con instalaciones deportivas.

La creación de las zonas verdes es posterior a la construcción de los edificios y es posible observar la presencia de arbolado a partir de 1981 (véase Ilustración 2), llegando en el año 1995 a una configuración de las zonas verdes muy similar a la que encontramos en la actualidad con tan sólo ligeras modificaciones (véase Ilustración 3).



Ilustración 1. Ortofotos de la zona de Campus Sur de los años 1970, 1975 y 1981 que muestran la creación de los viales y la construcción de los primeros edificios del campus (Fuente: Geoportal Comunidad de Madrid)



Ilustración 2. Ortofotos de la zona de Campus Sur del año 1981 en la que se observa la presencia del arbolado de las zonas verdes (Fuente: Geoportal Comunidad de Madrid)



Ilustración 3. Ortofoto de la zona de Campus Sur del año 1995 en la que se observa la que la configuración de la vegetación y las zonas verdes tiene una estructura similar a la que se observa en la actualidad sin haber sufrido cambios significativos desde entonces (Fuente: Geoportal Comunidad de Madrid)

2. Estudio del entorno de Campus Sur

2.1. Climatología

Campus Sur se ubica al sur de Madrid, municipio dominado por un clima mediterráneo de matiz subcontinental, con inviernos fríos y secos, pudiendo producirse heladas (según la zona y el año) desde finales de noviembre hasta bien entrada la primavera.

En el estudio de la climatología de la zona de estudio se pondrá atención a los siguientes factores:

- Temperatura
- Precipitación
- Velocidad y exposición a los vientos
- Impacto del cambio climático y la isla de calor

2.1.1. Temperatura

Según la clasificación de Köppen-Geiger el clima es de tipo Csa (Atlas Climático Ibérico), con una temperatura media anual de 14.5° y un marcado periodo seco y caluroso en verano como se aprecia en la Ilustración 4.

Madrid se sitúa en la zona de rusticidad 9b, según la clasificación del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), con temperaturas medias anuales mínimas absolutas comprendidas entre -3,9 °C y -1,1°C.

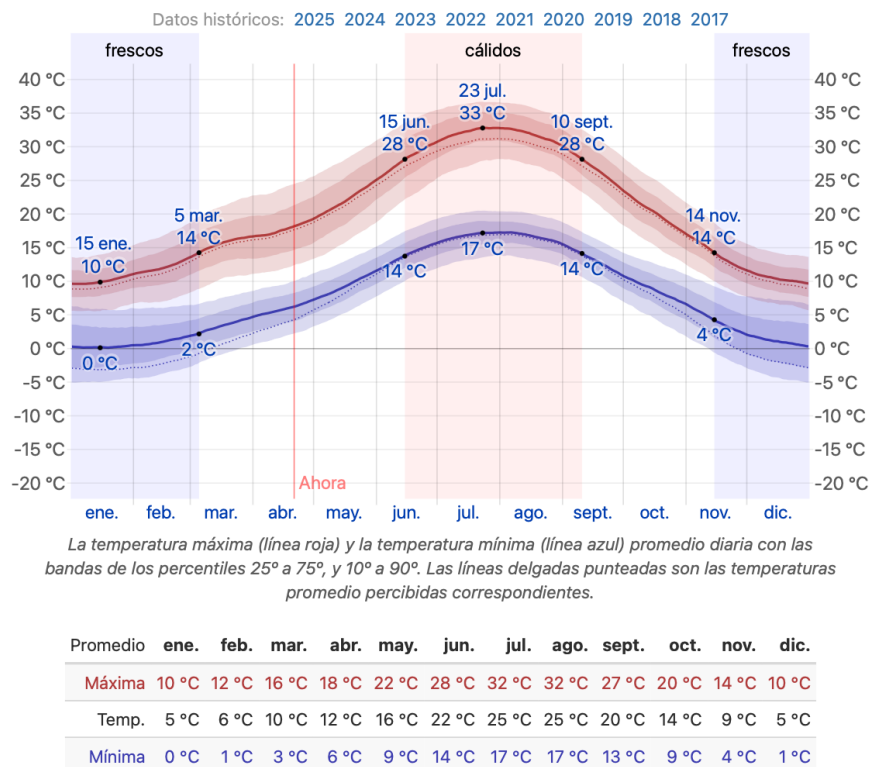


Ilustración 4. Temperatura máxima y mínima promedio (Fuente: WeatherSpark, Estación de Ciudad Lineal).

En la Ilustración 5 se puede ver cómo las temperaturas diurnas en la zona del sureste de Madrid superan durante más de 4 meses al año las temperaturas de confort. Estas características hacen que uno de los objetivos fundamentales en el diseño de las zonas verdes sea la necesidad de proporcionar sombra para paliar el efecto de las altas temperaturas en verano. Al efecto de bajada de las temperaturas por parte de la vegetación, se debe añadir el efecto de la evapotranspiración que mejora el confort térmico de los usuarios al aumentar la humedad relativa y refrescar así el ambiente durante los meses más calurosos.

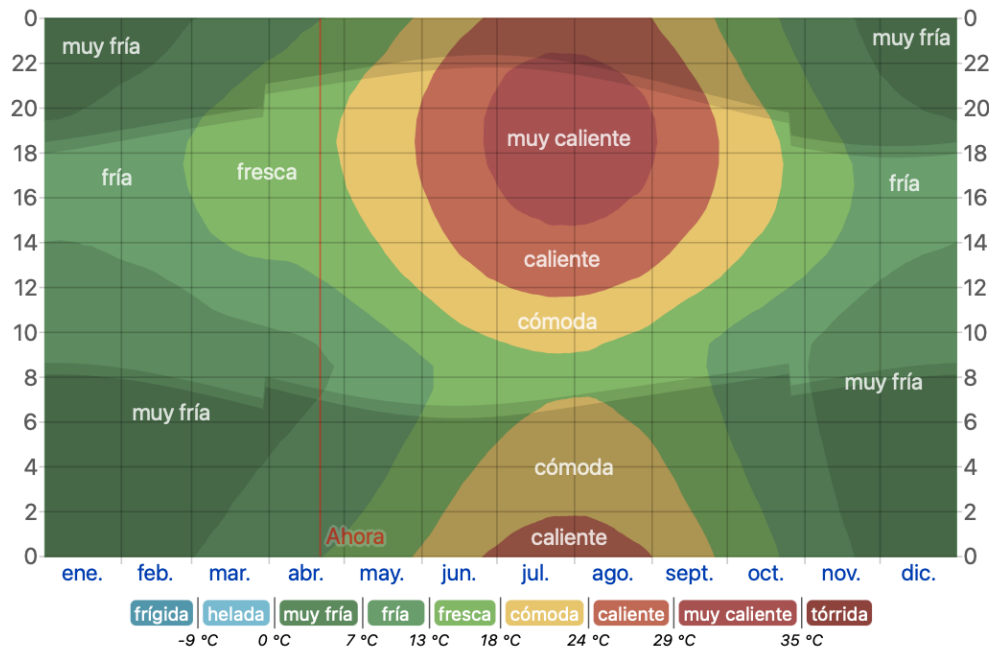


Ilustración 5. Temperatura promedio por hora, codificada por colores en bandas. Las áreas sombreadas superpuestas indican la noche y el crepúsculo civil. (Fuente: WeatherSpark, Estación de Ciudad Lineal)

2.1.2. Precipitación

La mayor parte de las precipitaciones se concentran en los meses de primavera y otoño, no siendo estas muy abundantes. Este es un factor a tener en cuenta en el diseño de las plantaciones, especialmente si no se dispone de una fuente de agua para riego constante ni abundante.

En la Ilustración 6 y en la Ilustración 7 puede observarse la distribución de las precipitaciones a lo largo del año y la relación con la evolución de las temperaturas, lo que provoca una parada vegetativa estival. Los riegos de apoyo durante los meses críticos del verano serán fundamentales para asegurar el mantenimiento en las nuevas plantaciones, fundamentalmente durante los primeros cuatro años.

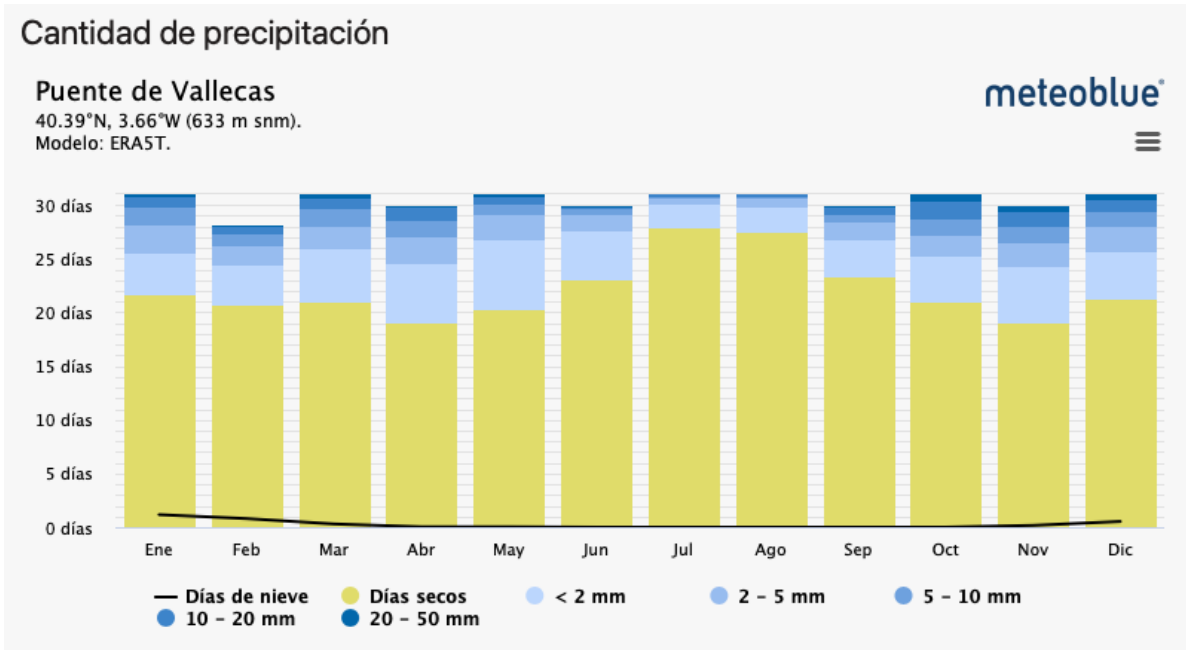


Ilustración 6. Días por mes en los que existe precipitación. (Fuente: Meteoblue, localización Puente de Vallecas).

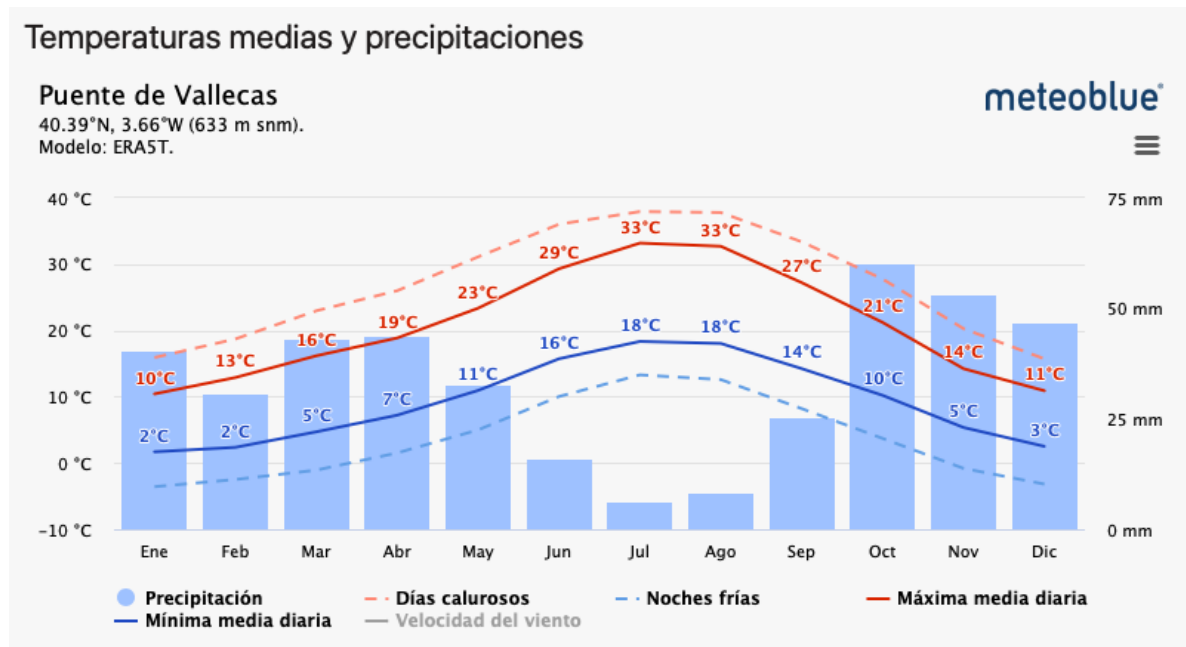


Ilustración 7. Temperaturas medias y precipitaciones mensuales. (Fuente: Meteoblue, localización Puente de Vallecas).

2.1.3. Velocidad y exposición a los vientos

El relieve llano del campus y alrededores hace que la zona se encuentre expuesta a los vientos, siendo la disposición y orientación de los edificios los principales factores modeladores a escala micro de la velocidad y exposición por parte de la vegetación.

La dirección predominante del viento en el campus es la orientación noreste-suroeste, soplando con mayor intensidad desde el suroeste. Los meses de diciembre a marzo son los de mayor intensidad de viento, mientras que julio es el mes con más días de viento, tal y como puede observarse en la Ilustración 8 y en la Ilustración 9.

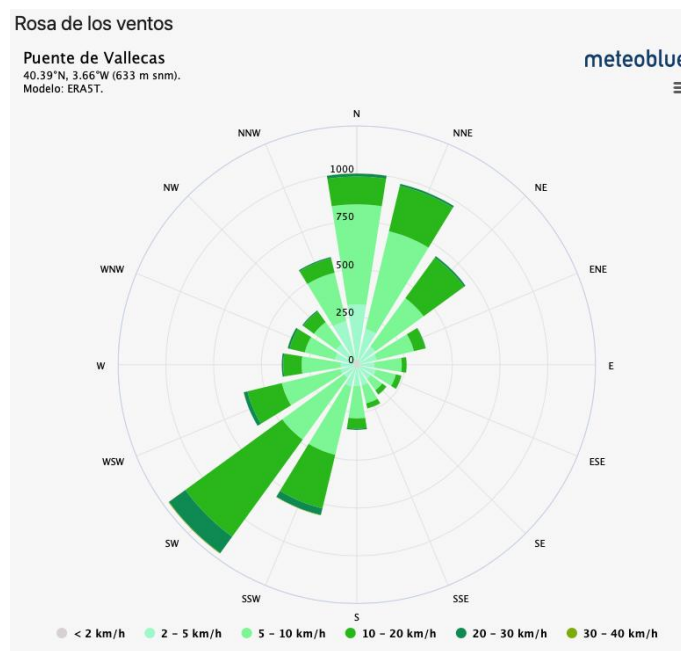


Ilustración 8. Rosa de los vientos o representación gráfica de la dirección e intensidad del viento. (Fuente: Meteoblue, Estación Puente de Vallecas).

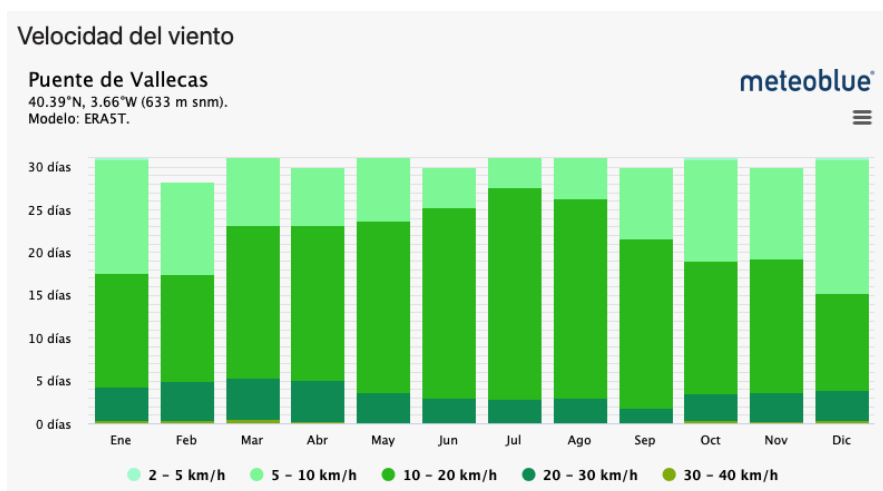


Ilustración 9. Días de viento y velocidad por mes a lo largo del año. (Fuente: Meteoblue, Estación Puente de Vallecas).

2.1.4. Impacto del cambio climático y la isla de calor

En un futuro próximo, el sureste de Madrid se verá especialmente afectado por los efectos del cambio climático, con un aumento progresivo de las temperaturas medias, la intensificación de las olas de calor y una mayor frecuencia de periodos de sequía prolongada (véase Ilustración 10). Esta zona, ya caracterizada por una menor cobertura vegetal y una alta densidad urbana en crecimiento, sufrirá una reducción en la calidad del aire, el aumento del efecto isla de calor y la degradación de sus espacios verdes y agrícolas.

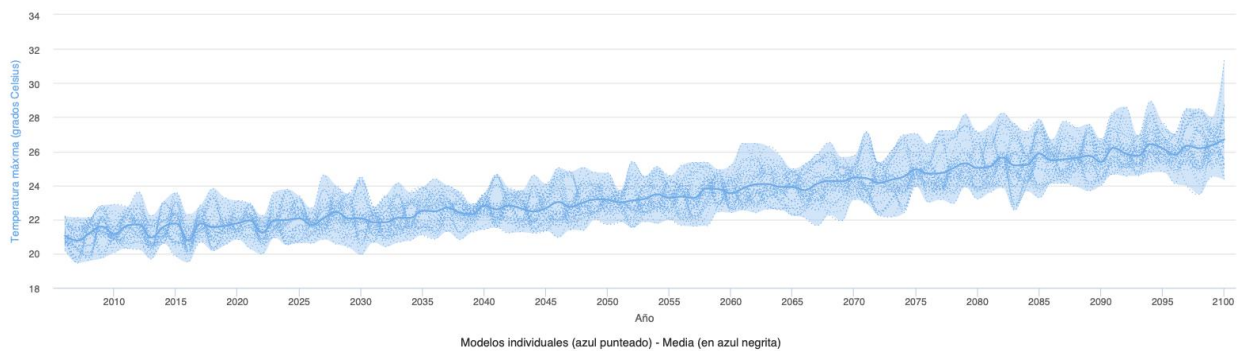


Ilustración 10. Evolución de la temperatura máxima para la ciudad de Madrid, para el escenario RPC 8.5 (Fuente: AdapteCCa, visor de escenarios de cambio climático, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico)

Además, la escasez de agua y la subida de las temperaturas supondrán un reto añadido para el desarrollo de la vegetación en la zona (véase Ilustración 11) por lo que será especialmente relevante tener en cuenta los escenarios de cambio climático en la selección de especies y en las estrategias de mantenimiento y gestión.

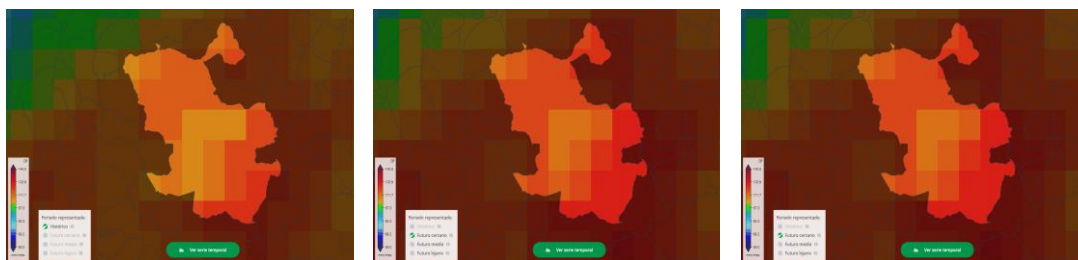


Ilustración 11. Evolución de la Evapotranspiración temporal en la ciudad de Madrid ((Fuente: AdapteCCa, visor de escenarios de cambio climático, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico)

Adicionalmente, es importante considerar el efecto de la isla de calor urbana. La isla de calor es un fenómeno por el cual se producen significativas diferencias de temperatura entre el interior de una ciudad y su periferia. Este incremento de temperatura se debe principalmente a la acumulación de radiación solar durante el día que se emite en forma de calor durante la noche, debido a los materiales del espacio urbano y al propio calor producido por la actividad humana.

En las últimas décadas, el efecto isla de calor ha ido intensificándose debido al aumento de la superficie urbanizada en detrimento de superficies vegetales o rurales y según investigaciones realizadas se ha llegado a registrar hasta una diferencia de 8°C dentro del municipio de Madrid a la misma hora del día (Proyecto

MODIFICA). En la Ilustración 12 se puede ver un mapa del municipio de Madrid con las temperaturas medias máximas por barrios. También se observa cuáles son los barrios más vulnerables: aquellos en los que se une una elevada temperatura con la situación de pobreza energética de sus habitantes. Como se puede apreciar, Palomeras Sureste (donde se ubica Campus Sur), Pavones, Valdebernardo, y el núcleo urbano del Casco Histórico de Villa de Vallecas (catalogado además como barrio vulnerable) son algunos de los barrios con temperaturas más elevadas.

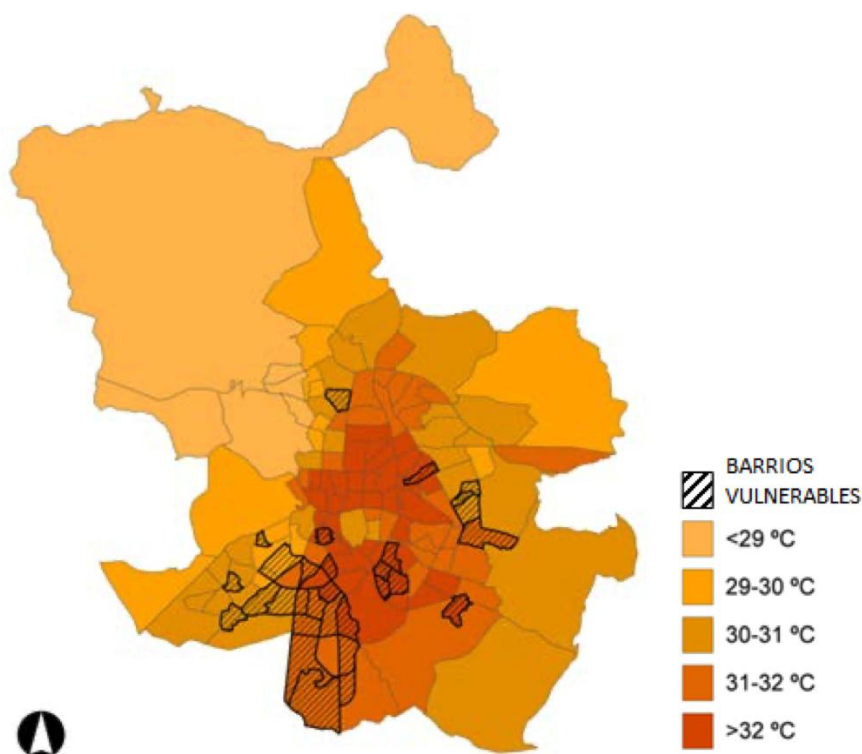


Ilustración 12. Isla de calor en el municipio de Madrid (Fuente: Proyecto MODIFICA, Universidad Politécnica de Madrid, Sanchez et al, 2017)

2.2. Interpretación de la vegetación remanente

La vegetación remanente en el entorno de Campus Sur representa de forma muy limitada los ecosistemas mediterráneos originales que en su día dominaron esta región. El campus se caracteriza por una vegetación fuertemente intervenida y urbanizada, con predominio de especies ornamentales y alóctonas. Sin embargo, áreas cercanas, menos intervenidas, como el Cerro Almodóvar albergan comunidades vegetales de mayor interés ecológico y botánico, sirviendo como referencia para interpretar la vegetación natural original.

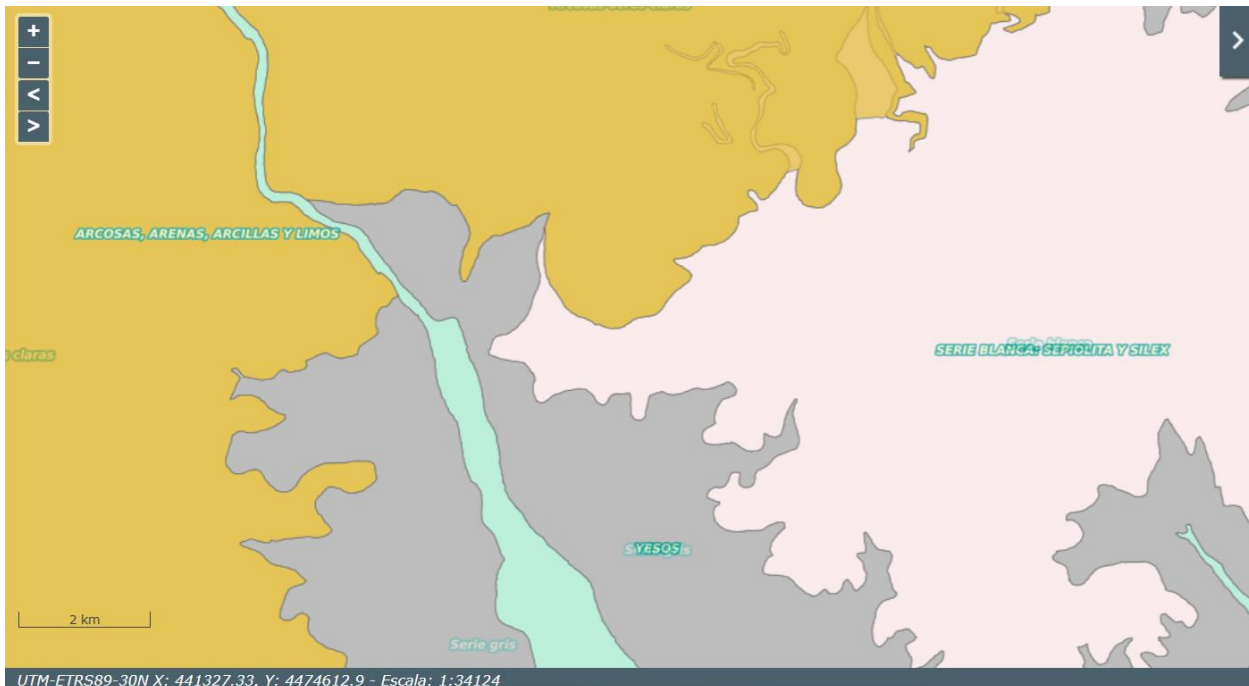


Ilustración 13. Mapa litológico de la zona en estudio: mostaza: arcosas ocreas claras; rosa: serie blanca (sedimentos terciarios neógenos-químicos y evaporíticos); gris: yesos y arcillas (sedimentos terciarios y neógenos-sedimentos químicos y evaporíticos) (Fuente: Geoportales de la Comunidad Autónoma de Madrid. <https://www.comunidad.madrid/servicios/mapas/geoportales-comunidad-madrid>).

La transición entre sustratos ácidos (arcosas) y básicos (margas y yesos) ha generado un mosaico de hábitats que sostiene una notable diversidad florística (véase Ilustración 13). Esta riqueza se refleja en el catálogo de aproximadamente 488 especies de plantas vasculares pertenecientes a 65 familias y 278 géneros en el entorno del Cerro Almodóvar, con predominancia de las familias *Asteraceae* (83 especies), *Fabaceae* (58) y *Poaceae* (57) (Baudet Mancheño et al, 2017). Entre las comunidades vegetales naturales más representativas destacan los pastizales terofíticos basófilos, que ocupan el 40% de la superficie. Estas formaciones están dominadas por especies como *Poa bulbosa*, *Astragalus sesameus*, *Trifolium scabrum* y *Plantago albicans*. Estos pastizales son reminiscentes de los que antiguamente cubrían extensas áreas de la meseta central española.

En el Cerro Almodóvar también se encuentran bien representados matorrales halo-nitrófilos reconocidos como hábitat prioritario 1430 según la Directiva 92/43/CEE. Estas formaciones, dominadas por *Salsola vermiculata* y *Plumbago europaea*, indican suelos con cierto grado de salinidad y nitrificación, condiciones favorecidas por el abandono del pastoreo tradicional (Ayuntamiento de Madrid, 2021).

Las áreas más alteradas albergan comunidades ruderales, donde especies como *Dittrichia viscosa* y *Piptatherum miliaceum* colonizan espacios perturbados. Aunque menos valiosas desde el punto de vista de la conservación, estas comunidades juegan un papel importante en la estabilización del suelo y como etapa inicial en la sucesión ecológica (Baudet Mancheño et al., 2017).

La singularidad florística del entorno se manifiesta en la presencia de endemismos ibéricos como *Gypsophila struthium* subsp. *struthium* y *Rochelia disperma*, así como especies raras en el contexto de Madrid, como *Malvella sherardiana* y *Geropogon hybridus*. Algunas especies actúan como bioindicadores geológicos, como *Matthiola fruticulosa* en sustratos yesíferos y *Klasea flavescens* en arcillas magnéticas (Baudet et al., 2017).

A nivel regional, la formación forestal más adaptada a las condiciones físicas de la localidad, correspondería con el encinar manchego. Esta es una formación vegetal característica del centro peninsular ibérico y se considera un ecosistema clave dentro de los bosques esclerófilos mediterráneos. Se desarrolla sobre suelos calizos y yesosos en el piso mesomediterráneo, aunque su extensión ha sido severamente reducida por la intensificación agrícola y otras actividades humanas. La encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota*, también nombrada como *Quercus rotundifolia*), funcionaría en su óptimo al estar adaptada a condiciones climáticas extremas, con inviernos fríos y veranos secos. Sus hojas coriáceas y cutículas gruesas minimizan la pérdida de agua, lo que le permite sobrevivir en ambientes de estrés hídrico. Como especies acompañantes se podrían incluir varios arbustos: la coscoja (*Quercus coccifera*), el espino negro (*Rhamnus lycioides*), el jazmín silvestre (*Jasminum fruticans*) y herbáceas como el espárrago silvestre (*Asparagus acutifolius*). El carácter autóctono de las coníferas es discutido, aunque es frecuente encontrar ambientes seminaturales con *Pinus halepensis*, una especie rústica que en ocasiones se entremezcla con el encinar y ocupa laderas repobladas que evitan una degradación total del ecosistema.

En contraste, la vegetación de Campus Sur refleja una intensa intervención antrópica. Las zonas verdes están dominadas por especies ornamentales y alóctonas, con alineaciones de arbolado comunes en Madrid, principalmente *Robinia pseudoacacia*. En áreas menos intervenidas del campus, se observan manchas de vegetación seminatural con predominio de especies ruderales y nitrófilas, que podrían servir como punto de partida para futuras acciones de restauración ecológica (Terreros de la Peña, 2023).

Estos remanentes de vegetación (semi) natural en el campus tienen actualmente un valor limitado para la preservación de la biodiversidad urbana y los servicios ecosistémicos que proporcionan. No obstante, ofrecen un importante potencial educativo y científico como laboratorios vivos para el estudio de la ecología urbana en un contexto mediterráneo.

Para mejorar el valor ecológico del campus, es fundamental identificar y proteger las áreas de mayor interés, establecer corredores ecológicos con zonas naturales cercanas como el Cerro Almodóvar, controlar especies invasoras, prevenir la erosión y fomentar un uso sostenible que equilibre la conservación con las actividades académicas. La integración del campus en los planes de infraestructura verde urbana de Madrid podría servir como modelo para fomentar la recuperación de la biodiversidad en otras áreas periurbanas de la región.

2.3. Vegetación actual del campus

El grado de conservación y mantenimiento de las distintas zonas verdes del campus es muy dispar. Así, la vegetación actual presenta un patrón altamente antropizado, con espacios planificados, pero también otros que se han ido desarrollando sin planificación previa como puede verse en las fotos a continuación (Véanse Ilustración 14 a Ilustración 17).



Ilustración 14. Zona ajardinada del campus en la que se observa la combinación de distintas especies y estratos.



Ilustración 15. Zona ajardinada de Campus Sur en la que predominan las especies de hoja perenne.



Ilustración 16. Terrenos de Campus Sur colonizados por especies herbáceas adventicias actualmente sin mantenimiento.



Ilustración 17. Vegetación arbórea y arbustiva espontánea en una zona marginal junto a una carretera en el campus.

2.4. Presencia de fauna

En el entorno de Campus Sur confluyen diferentes tipos de hábitats, lo que da lugar a la aparición de diferentes ecosistemas en los que se desarrollan principalmente especies generalistas antropófilas propias de medios

abiertos y secos. Un factor común en toda la zona es la ausencia de grandes masas de agua permanente y de una cubierta vegetal bien desarrollada, así como la presencia de grandes vías de comunicación que circundan el ámbito de estudio.

Para el estudio de las especies de fauna observadas en la zona a través de la base de datos de biodiversidad de iNaturalist se ha tomado como área de influencia alrededor del campus la que se observa en la Ilustración 19. Las especies detalladas se recogen en la Tabla 1 y en la Ilustración 18.

Taxon	Nombre científicos	Nombre común
Aves	<i>Alopochen aegyptiaca</i>	Ganso egipcio
	<i>Anas platyrhynchos</i>	Pato norteño
	<i>Anas platyrhynchos</i> × <i>netta rufina</i>	ánade azulón x pato colorado (híbrido)
	<i>Ardea cinerea</i>	Garza gris
	<i>Astur gentilis</i>	Gavilán azor
	<i>Carduelis carduelis</i>	Jilguero
	<i>Chloris chloris</i>	Verderón Común
	<i>Ciconia ciconia</i>	Cigüeña blanca
	<i>Ciconia ciconia ciconia</i>	Cigüeña blanca europea
	<i>Columba livia domestica</i>	Paloma Doméstica
	<i>Columba oenas</i>	paloma zurita
	<i>Columba palumbus</i>	Paloma torcaz
	<i>Curruca melanocephala</i>	Curruca cabecinegra
	<i>Cyanistes caeruleus</i>	Herrerillo común
	<i>Delichon urbicum</i>	Avión común
	<i>Erithacus rubecula</i>	Petirrojo
	<i>Gallinula chloropus</i>	Gallineta común
	<i>Lophophanes cristatus</i>	Herrerillo Capuchino
	<i>Myiopsitta monachus</i>	Perico Monje Argentino
	<i>Netta rufina</i>	Pato colorado
	<i>Otis tarda</i>	Avutarda
	<i>Parus major</i>	Carbonero común
	<i>Passer domesticus</i>	Gorrión Doméstico
	<i>Passer montanus</i>	Gorrión molinero
	<i>Periparus ater</i>	Carbonero garrapinos
	<i>Phalacrocorax carbo</i>	Cormorán grande
	<i>Phoenicurus ochruros</i>	Colirrojo tizón
	<i>Pica pica</i>	urraica común
	<i>Pica pica melanotos</i>	Urraca ibérica
	<i>Picus sharpei</i>	Pito ibérico
	<i>Serinus serinus</i>	Verdecillo
	<i>Streptopelia decaocto</i>	Paloma turca de collar
	<i>Sturnus unicolor</i>	Estornino negro
<i>Tadorna ferruginea</i>	Tarro canelo	
<i>Turdus merula</i>	Mirlo común	
<i>Upupa epops</i>	Abubilla	
Mamíferos	<i>Felis catus</i>	Gato doméstico
	<i>Oryctolagus cuniculus</i>	Conejo europeo
	<i>Placentalia</i>	Placentarios
Reptiles	<i>Rattus norvegicus</i>	Rata gris asiática
	<i>Podarcis virescens</i>	Lagartija vercosa
	<i>Tarentola mauritanica</i>	Salamanquesa común

Tabla 1. Especies de vertebrados presentes en el entorno de Campus Sur (Fuente: Base de datos de biodiversidad iNaturalist).

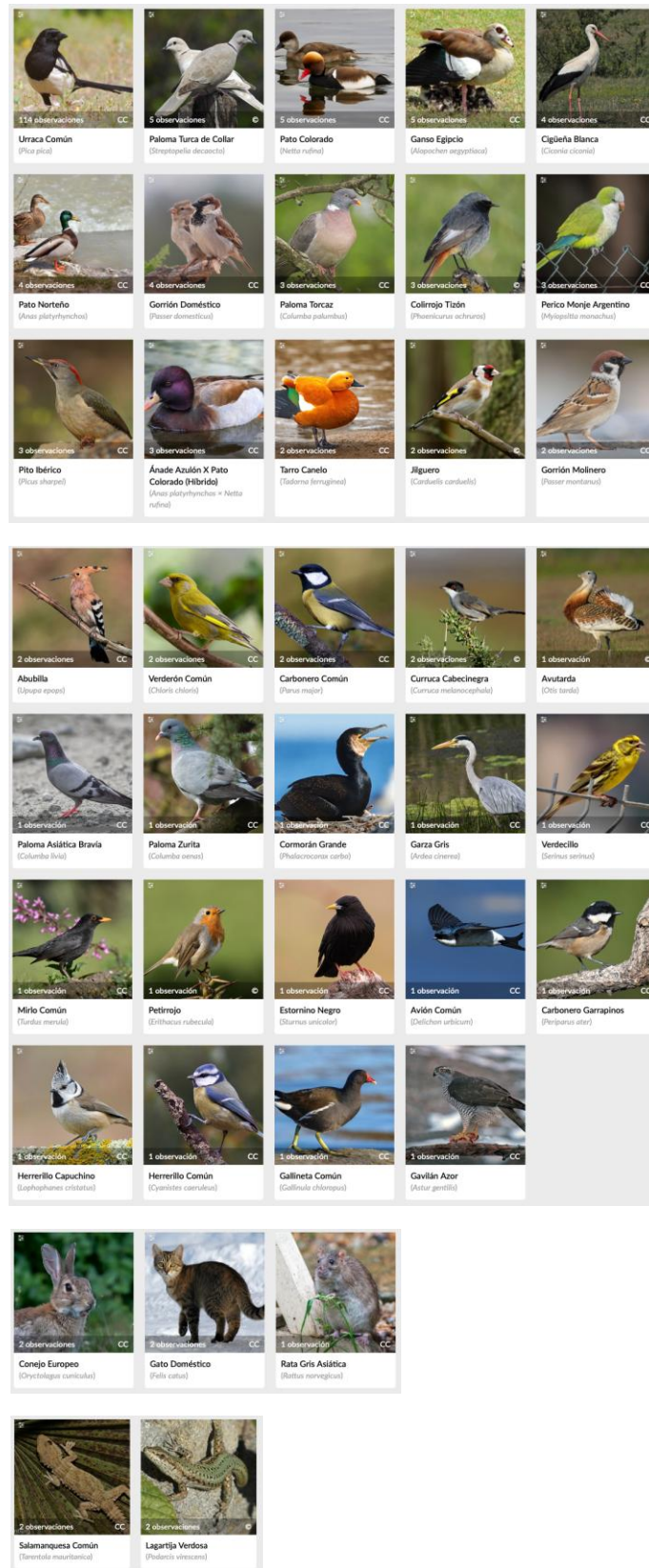


Ilustración 18. Imágenes de las especies de vertebrados presentes en el entorno de Campus Sur (Fuente: Base de datos de biodiversidad iNaturalist).



Ilustración 19. Observaciones de distintas especies de fauna localizadas en torno al campus registradas en la base de datos de biodiversidad de iNaturalist.

Se observan un total de 87 especies de invertebrados y 42 de vertebrados, todas ellas especies propias de ambientes degradados y antropizados con alguna excepción en la observación de aves con cierto interés ecológico que pudieran pasar por la zona en época de migración.

La disgregación de los hábitats y las barreras que suponen las vías de circulación cercanas dificultan la conectividad y migración de especies. La estrategia de fomento de la biodiversidad deberá centrarse en crear zonas de refugio y favorecer la conectividad hacia el sur.

3. Metodología

El estudio y diagnóstico de la vegetación y las zonas verdes de Campus Sur combina diferentes metodologías de toma de datos y análisis para evaluar la cobertura arbórea, las distintas tipologías de superficies, la localización y conectividad de las zonas verdes, la composición en especies del arbolado del campus y su estado fitosanitario, así como las implicaciones de potencial riesgo (véase Ilustración 20).

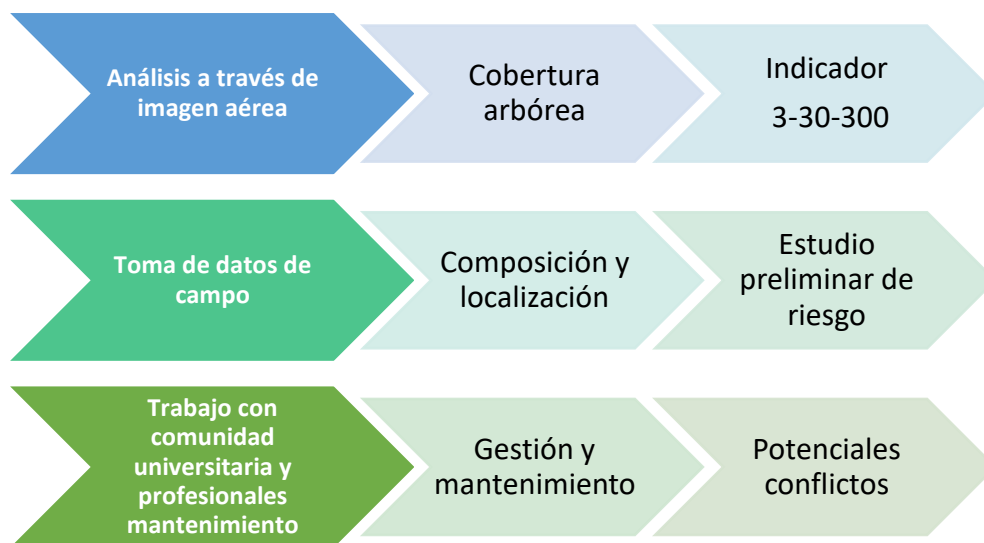


Ilustración 20. Etapas del análisis y toma de datos de estudio de la vegetación de Campus Sur UPM.

3.1. Análisis de la cobertura arbórea mediante fotografía aérea

Se realiza un estudio por fotografía aérea para clasificar las distintas tipologías de coberturas de suelo del campus. El estudio se lleva a cabo mediante un muestreo aleatorio con el software de distribución libre y revisado por pares, i-Tree Canopy. Este modelo forma parte de la suite de programa de i-Tree, desarrollados por el Servicio Forestal de USDA. Calcula los porcentajes de cobertura definidos para una zona de estudio determinada y estima los servicios ecosistémicos aportados por la vegetación. Adicionalmente, evalúa el valor económico de dichos servicios. Este modelo equipara el valor obtenido al coste total que supone la retirada de esa contaminación mediante el empleo de otro tipo de tecnología.

La versión utilizada en este estudio ha sido i Tree Canopy V6.1. La metodología utilizada es la desarrollada por el Servicio Forestal de Estados Unidos. Los valores predeterminados (los multiplicadores) de las tasas de eliminación de contaminantes del aire ($\text{g}/\text{m}^2/\text{año}$) y los valores monetarios ($\text{€}/\text{m}^2/\text{año}$) para una cubierta de árbol unitario se derivaron de los análisis de i-Tree Canopy en los Estados Unidos en 2010 (Nowak et al. 2013).

La zona analizada comprende todos los suelos incluidos en el AOE 00.10, a excepción de las parcelas ocupadas por el CPEE Vallecas y el IES Palomeras-Vallecas y de los suelos no obtenidos y que no son actualmente

propiedad de la UPM según se recoge en el Diagnóstico Funcional y Estratégico de Campus Sur de la UPM de 2022.

Las clases de cobertura que se establecieron para este estudio son las siguientes:

- Árbol, superficie cubierta por las copas de los árboles
- Pradera, superficie porosa cubierta por vegetación herbácea.
- Suelo permeable, superficie porosa no pavimentada y no cubierta por arbolado, como terrenos terrazos.
- No permeable edificio, superficie ocupada por las construcciones.
- No permeable viario, superficie cubierta por carreteras y caminos pavimentados
- No permeable otros, superficie pavimentada que no corresponde a construcciones o edificios o viario, tales como zonas de aparcamiento.

En este estudio se realizaron tres análisis, que se describen en detalle a continuación:

- Cálculo de la cobertura arbórea total
- Estimación de la remoción de contaminación atmosférica
- Valoración económica de la remoción de los contaminantes del aire

3.1.1. *Cálculo de la cobertura arbórea total*

La cobertura arbórea es uno de los parámetros más interesantes desde el punto de vista de la gestión del bosque urbano. Existen numerosos métodos de cálculo de la cobertura arbórea que aportan resultados en algunos casos muy dispares. Y es importante destacar que los árboles más grandes y con mayor área foliar reportan mayores servicios ecosistémicos. Se estima que un árbol de 75 cm de diámetro puede interceptar hasta 10 veces más contaminación atmosférica, almacenar más de 90 veces más carbono y contribuir con más de 100 veces al área foliar de la cobertura arbórea que un árbol de 15 cm de diámetro (Valuing London Urban Forest, 2015).

Para su utilización i-Tree Canopy genera aleatoriamente puntos sobre fotografías aéreas de Google Earth. para cada área de estudio, se sugieren entre 500 y 1000 puntos de reconocimiento, pero el número está determinado por el usuario. Para cada punto, el usuario realiza una clasificación manual dentro de las clases o categorías de cobertura definidas previamente. El porcentaje estimado para cada clase de cobertura a lo largo del proceso de interpretación se calcula mediante la fórmula:

$$\% = n / N$$

Dónde:

n = número de puntos por clase de cobertura

N = número total de puntos para todas las clases

El porcentaje es multiplicado por el área de la superficie analizada para determinar el total del área con cobertura arbórea.

3.1.2. Estimación de la remoción de contaminación atmosférica

La herramienta muestra el porcentaje estimado según el porcentaje de cobertura a lo largo del proceso de interpretación. Los contaminantes del aire estimados son seis, definidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos:

- Monóxido de carbono (CO),
- Dióxido de nitrógeno (NO₂),
- Ozono (O₃),
- Dióxido de azufre (SO₂)
- Partículas en suspensión (PM), que incluye material particulado de menos de 2.5 micrones (PM2.5) y material particulado mayor de 2.5 y menos de 10 micras (PM10).

Así mismo se calcula el almacenamiento y el secuestro de dióxido de carbono. El almacenamiento de carbono es la cantidad de carbono que forma parte de la estructura de las plantas leñosas, tanto en su parte aérea como radicular. Los árboles sometidos a tratamientos culturales de conservación y mantenimiento que habitan en las ciudades tienden a tener menos biomasa de lo previsto por las ecuaciones teóricas, derivadas de estudios de biomasa forestal (Nowak 1994).

3.1.3. Valoración de la remoción de contaminantes del aire.

El número de efectos adversos para la salud y el valor económico asociado se calcula para el ozono, el dióxido de azufre, el dióxido de nitrógeno y las partículas de menos de 2,5 micras utilizando datos del Programa de Análisis y Mapeo de Beneficios Ambientales de la Agencia de Protección Ambiental (BenMAP) (Nowak et al. 2014) Para calcular el valor de la eliminación de monóxido de carbono y PM10 (Murray et al. 1994) se utilizan los valores de externalidad medios nacionales en Estados Unidos.

El almacenamiento de carbono y los valores de secuestro de carbono calculados con el modelo i-Tree se basan en el valor de carbono de los Estados Unidos (US Environmental Protection Agency 2015, Interagency Working Group on Social Cost of Carbon, 2015).

La estimación de los beneficios anuales de los árboles de i-Tree Canopy están basadas en los siguientes valores en g / m² / año y EUR / t / año (Hirabayashi, 2014)

- CO: 0.193 a 1,304.02 EUR
- NO₂: 1.125 a 795.27 EUR
- O₃: 6.934 a 6,293.53 EUR |
- PM2.5: 0.182 a 213,034.23 EUR |
- SO₂: 0.228 a 246.10 EUR |
- PM10: 2.079 a 6,129.84 EUR |
- CO₂seq: 1,122.000 a 45.48 EUR |
- CO₂stor: es una cantidad total de biomasa de 28,177.630 a 45.48 EUR

Estos análisis se realizaron para áreas rurales y urbanas en todos los estados y luego se agregaron a los valores a nivel de condado. Actualmente, i-Tree Canopy utiliza los multiplicadores a nivel de estado para estimar las extracciones anuales de contaminantes del aire y los valores monetarios asociados. En el caso de este estudio se comparó con el Estado de California por ser la zona con temperaturas y especies más parecida a Madrid.

La desviación estándar de la eliminación y los beneficios ambientales se calcula en base a los errores estándar de los puntos clasificados y muestreados (Lindgren and McElrath 1969):

$$SE = \sqrt{pq/N}$$

Donde:

$$p = n/N$$

$$q = 1 - p$$

Basado en el área clasificada como la clase de cobertura arbórea, la herramienta proporciona una cantidad anual de contaminantes del aire eliminados mediante el proceso de deposición en seco por los árboles y los valores monetarios asociados.

3.2. Inventario de la vegetación arbórea

Se realiza un inventario pie a pie de los pies arbóreos del campus, identificando las siguientes variables de cada uno de ellos:

- Especie
- Posición geográfica
- Altura total (m)
- Diámetro normal del tronco (cm)

En el inventario se toman medidas de todos los pies de más de 2,5 cm de diámetro, y más de 1 metro de altura, a los cuales se puede acceder, realizando una aproximación para aquellos árboles no accesibles para la medición de diámetro y/o altura.

3.2.1. Identificación de especies

Se identifica género y especie de cada pie inventariado. La identificación de especies se realiza mediante criterio de experto y con apoyo puntual de las aplicaciones móviles: Arbolapp y PlantNet.

3.2.2. Posición geográfica

La posición geográfica de cada pie inventariado se calcula a través de la aplicación TreePlotter University.

TreePlotter University es la versión educativa de un software de inventario forestal para la gestión del bosque urbano creado por Plant-It Geo (2018). Integra en una base web, una plataforma GIS optimizada para su uso en móvil. Recoge y permite el manejo de datos de árboles a partir de cualquier dispositivo (móvil, ordenador o tablet) en línea o sin conexión. Estos datos se recogen en la nube de TreePlotter.

En campo, se procede a introducir los datos del inventario de las zonas verdes del campus. Para ello, se inicia sesión con la licencia universitaria, se accede a la leyenda y se entra en la base de datos de Madrid. Una vez realizadas esas acciones se pueden introducir pie a pie todos los árboles pulsando Add y el lugar de emplazamiento del árbol o desplazarlo en caso de equivocación al introducir la ubicación del árbol con la función move. Se puede emplear el GPS para ubicar de la forma más exacta posible el árbol.



Ilustración 21. Interfaz del software de inventario utilizado Treeplotter University

3.2.3. Medición de altura

Las alturas de los pies arbóreos se miden utilizando un clinómetro tipo Blume-Leiss. La metodología de medición de alturas de árboles mediante un Blume-Leiss se basa en principios de trigonometría básica, permitiendo estimar la altura total o parcial de un árbol desde una distancia conocida. El Blume-Leiss es un instrumento óptico de tipo clinómetro que permite medir ángulos de inclinación desde el ojo del observador hacia distintos puntos del árbol, generalmente la base y la copa. Este instrumento incluye una escala graduada que facilita la lectura directa de las alturas si se conoce la distancia horizontal al árbol.

Para utilizarlo, el observador se sitúa a una distancia horizontal medida desde la base del árbol (por ejemplo, 15 ó 20 metros) y apunta primero hacia la copa del árbol, registrando el valor angular que proporciona el Blume-Leiss. Luego, se apunta hacia la base del árbol y se registra ese segundo valor. El instrumento está calibrado para que, con esas dos lecturas y la distancia conocida, se pueda calcular directamente la altura total del árbol sin necesidad de realizar cálculos trigonométricos complejos. Es importante realizar la medición desde un terreno nivelado y libre de obstáculos visuales para mejorar la precisión.

La selección del Blume-Leiss como método de medición se basa en su portabilidad, facilidad de uso y fiabilidad en condiciones de campo variadas.

3.2.4. Medición del diámetro

La medición de diámetros se realiza a partir de un Dendroflexómetro. El Dendroflexómetro es un instrumento que sirve para medir las principales variables de un árbol y de una masa forestal. Combina en un único instrumento (flexómetro convencional) distintas técnicas clásicas de medición forestal (muestreo angular, stick

de Biltmore, regla de Christen), posibilita que las mediciones las pueda realizar un único operario y es económico (Föra 2019).

La metodología específica para la medición de diámetros empleados (CESEFOR 2013) se realiza utilizando la escala Biltmore que permite medir diámetros (generalmente a 1,30 m) y clasificarlos dentro de un intervalo o clase diamétrica. El proceso es el siguiente (véase Ilustración 22):

1. Se selecciona el árbol.
2. Se sobrepone la escala Biltmore sobre el diámetro normal.
3. Se ajusta la escala para que la izquierda del origen se encuentre alineado con el lado izquierdo del árbol.
4. Sin mover la cabeza, desplazar la línea de visión para el lado derecho del tronco.
5. Se lee el diámetro en la escala cercano al punto en el que la línea de visión lo atraviesa. Esta visual es la tangente al tronco. En esta se obtienen dos lecturas: el diámetro del árbol y la clase diamétrica.

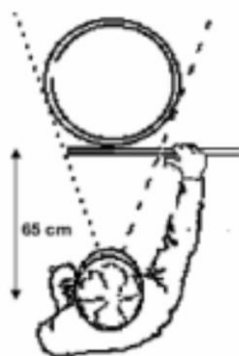


Ilustración 22. Metodología de medición de diámetros utilizando un dendroflexómetro (Fuente: CESEFOR, 2013).

3.3. Cálculo del índice 3-30-300

El índice 3-30-300 se basa en los últimos estudios que vinculan los bosques urbanos con la salud, la calidad de vida y el impacto del cambio climático, así como en el trabajo desarrollado por organizaciones mundiales como la OMS (Konijnendijk & Macias, 2021).

Recientes estudios (Rugel, 2019) demuestran la importancia de tener espacios verdes y vegetación cerca, especialmente visible (Velarde, et al., 2017), para mejorar nuestra salud mental y bienestar. Estudios recientes han demostrado la relación directa entre la cobertura arbórea y la regulación térmica (Ziter et al., 2019), la mejora del microclima (Rahman et al., 2019), la salud física (Astell-Burt and Feng, 2020) y mental (Astell-Burt and Feng, 2019) y la posible reducción de la contaminación atmosférica (Traverso, 2020), entre otros beneficios. El trabajo de Thomas Astell-Burt y su equipo en Australia ha señalado el 30% como el umbral clave que marca la mínima cobertura arbórea que permite asegurar que los habitantes reciban los beneficios del arbolado en relación con la salud y el bienestar. Muchos estudios han subrayado la importancia de la proximidad y el fácil acceso a zonas verdes que sirvan de espacios de ocio y esparcimiento. Un paseo seguro y agradable de 5-10 minutos es la medida que se ha puesto de manifiesto de forma continua (WHO, 2016). La

Oficina Regional Europea de la OMS (Annerstedt van den Bosch et al., 2016) recomienda una distancia máxima de 300 metros hasta la zona verde más cercana.

Emplear la regla 3-30-300 permite realizar análisis comparativos y monitorizar el progreso y evolución de un determinado territorio o espacio gestionado. Además, al plantear unos objetivos concretos, es fácil de comunicar a la población y puede contribuir a generar interés y apoyo entre la sociedad, políticos, comerciantes y otro tipo de grupos de interés.

La metodología de cálculo del índice 3-30-300 es una herramienta desarrollada para evaluar y promover entornos urbanos más saludables mediante la infraestructura verde. Este índice establece tres niveles de acceso y exposición al verde que deberían cumplirse simultáneamente para todos los ciudadanos. A continuación, se explica cómo calcular cada componente:

- 3 árboles visibles desde casa (índice “3”), se calcula la cantidad de árboles que una persona puede ver desde su vivienda, ya sea desde una ventana o balcón mediante la posición de los árboles estableciendo una distancia de 30 metros desde las fachadas con ventanas de cada uno de los edificios del campus.
- 30% de cobertura arbórea (índice “30”), la cobertura de copas de árboles (canopy cover) en la zona de estudio obtenida a través del estudio por foto aérea mediante i-Tree Canopy.
- Acceso a un espacio verde público a 300 metros (índice “300”), el campus es una zona verde por lo que se cumpliría dentro de sus límites; en este caso establecemos un buffer de 300 metros alrededor del campus para poder evaluar el impacto en las viviendas y edificios en zonas aledañas.

3.4. Análisis preliminar de riesgo del arbolado

Durante la realización del inventario dendrométrico se incorporan dos variables adicionales que permiten llevar a cabo un análisis preliminar del riesgo asociado al arbolado: el “estado fitosanitario” y la “prioridad de actuación”. Estas variables ofrecen una primera aproximación al estado general de salud de los árboles y al nivel de atención que cada ejemplar podría requerir. El estado fitosanitario se evalúa visualmente, considerando signos de decaimiento, presencia de plagas o enfermedades, daños estructurales o fisiológicos, mientras que la prioridad de actuación clasifica a cada árbol según la urgencia de intervención, ya sea por motivos de seguridad, mantenimiento o conservación.

Si bien este análisis no constituye un estudio de riesgo exhaustivo —pues no incluye técnicas avanzadas como inspecciones instrumentales, evaluación biomecánica detallada o análisis cuantitativos de riesgo—, sí proporciona una herramienta útil para la gestión preventiva del arbolado. La combinación de ambas variables permite priorizar inspecciones más profundas o intervenciones sobre los ejemplares que presentan mayor grado de deterioro o potencial riesgo, facilitando así la planificación de acciones de manejo y asignación de recursos de forma más eficiente y fundamentada. Este enfoque preliminar sienta las bases para una futura evaluación de riesgo más detallada, si fuera necesaria.

3.4.1. Estado fisiológico

Atendiendo al estado fisiológico general del árbol y su estado fitosanitario, se realiza una evaluación de cada uno de los pies categorizándolos en tres categorías:

- *Sano*, aquellos árboles que presentan un estado de vigor vegetativo, no se aprecian enfermedades u otras patologías y no presentan ramas secas ni decaimiento.
- *Enfermo*, árboles que presentan un estado fisiológico por debajo del óptimo, en los que se observa presencia de enfermedades o patologías y tienen ramas secas y dieback¹.
- *Moribundo/muerto*, árboles muertos o en estado moribundo.

3.4.2. Prioridad de actuación

Atendiendo a la integridad estructural, la probabilidad de fallo y la existencia de posibles dianas se clasifican los árboles en tres categorías:

- *Categoría 1*, aquellos árboles que no precisan intervención inmediata y que se podrán evaluar dentro del ciclo regular establecido en el plan de gestión.
- *Categoría 2*, aquellos árboles que deben ser evaluados en un corto plazo de tiempo, por presentar signos de deterioro a medio-corto plazo y por estar situados en zonas de gran afluencia o poder producir daños materiales severos.
- *Categoría 3*, aquellos árboles que necesitan evaluación o intervención urgente debido a una alta probabilidad de fallo estructural y su situación junto a zonas de paso, de gran afluencia de público y/o con potencial de causar daños materiales graves. La intervención urgente no implica la tala del árbol, ya que puede necesitar únicamente una actuación de poda.

3.5. Diagnóstico de uso y gestión de zonas verdes² del Campus

Para evaluar el estado actual de uso, mantenimiento y gestión de las zonas verdes del campus, se llevó a cabo un diagnóstico basado en observaciones directas y recopilación de información cualitativa. Se realizaron visitas de campo sistemáticas a las distintas áreas verdes del campus con el objetivo de identificar los diferentes patrones de mantenimiento, el tipo de intervenciones realizadas, la frecuencia de las labores y el grado de conservación de las zonas ajardinadas. Estas observaciones permitieron caracterizar las tipologías de zonas verdes según su nivel de uso, intensidad de mantenimiento y estado general.

De forma complementaria, se llevaron a cabo entrevistas semi-estructuradas con el personal técnico y operario responsable del mantenimiento, con el fin de obtener información detallada sobre los protocolos de gestión, asignación de recursos, problemáticas recurrentes y criterios de actuación. Esta aproximación cualitativa permitió contrastar las observaciones de campo con la experiencia práctica del equipo de mantenimiento, enriqueciendo así el diagnóstico y proporcionando una visión más integral del manejo actual de las zonas verdes del campus.

¹Desecamiento progresivo.

² A lo largo del presente informe debe entenderse como “zonas verdes” las zonas cubiertas por vegetación incluyendo tanto las ajardinadas como las que no están ordenadas, y no necesariamente siempre cubiertas por arbolado. Dichas zonas verdes pueden coincidir con cualquier calificación urbanística, incluidos los espacios libres de parcela.

3.6. Metodologías de selección de especies en arbolado urbano: integración de criterios expertos y sistemas cuantitativos

La selección de la composición específica del arbolado urbano es un elemento clave en el diseño de la infraestructura verde urbana. En la actualidad, enfrenta el desafío de equilibrar métodos basados en conocimiento experto con enfoques sistemáticos fundamentados en datos más objetivos. En este epígrafe se valoran ventajas y limitaciones de ambos paradigmas, contextualizando su aplicación en el entorno urbano de Campus Sur, donde la diversificación de especies y la adaptación climática son prioritarias.

3.6.1. *El criterio experto en contextos urbanos*

La selección basada en la experiencia práctica favorece la selección de especies disponibles en viveros locales y regionales, reduciendo muchas veces sus costos de adquisición y transporte. Esta estrategia ha sido la más común en la gestión urbana, aunque a la larga este modo de selección puede dar lugar a ciertos problemas asociados, por ejemplo, la falta de diversidad, al acabar quedando representadas un número relativamente bajo de especies. El criterio experto además de por su disponibilidad, tiende a seleccionar fundamentalmente por los beneficios de rusticidad, rapidez de implantación y crecimiento. Esta selección automática puede generar debilidades a medio y largo plazo, por ejemplo, costos de mantenimiento, alergenicidad o potencial invasivo.

La selección priorizada de especies con historial comprobado en condiciones locales, un ejemplo paradigmático es el de *Platanus × hispanica* (plátano de sombra), por su resistencia a suelos compactados, contaminación atmosférica y buena resistencia a podas, ha generado, por ejemplo, una enorme homogeneidad específica y genética, ya que este árbol (en realidad un solo clon) representa el 15% del total madrileño. Se ha demostrado que el polen de *Platanus* es una de las causas más importantes de polinosis en el centro peninsular, con una tasa de sensibilización superior al 50% en el centro peninsular y un incremento significativo en sus concentraciones durante los últimos años. (Nuñez Borque et al 2022).

Este enfoque alimenta otros sesgos en el arbolado: el 68% de las especies plantadas entre 2000-2010 en Madrid correspondían a tan solo 10 taxones. En otro ejemplo, el de Alcobendas, el 40% de los árboles corresponden a seis especies, lo cual aumenta la vulnerabilidad ante plagas o el dis-servicio asociado a las alergias que generan. Es importante por tanto identificar taxones con sobreutilización que requerirían sustitución progresiva.

3.6.2. *Integración de herramientas documentales y digitales*

Existen varias fuentes de datos con registros más o menos cuantificados y comparados que aportan información válida para la selección de especies. Para el contexto europeo, una de las obras más relevantes (Herons et al. 1999) se acompaña de una base de datos de 280 especies que recoge entre otras la potencialidad de uso por lugares (parques, calles, SuDS, Jardines pequeños, viarios), tamaño de la copa y tamaño, tolerancia ambiental (sombra, sequía, encharcamiento) y cualidades ornamentales (floración, fructificación y otoñada).

En un ámbito ibérico, la recientemente publicada Figuroa et al., (2021) incluye una información complementaria en cuanto a recomendaciones de poda, características de suelo y ambiente y plagas. También el trabajo más enfocado en Madrid (Gómez Fernández, 2019) presenta también datos relativos a pH de suelo, resistencia al viento o intervalos de distancia recomendados.

Plataformas como i-Tree Species (USDA) combinan filtros por datos bioclimáticos locales y características de tallas con varios indicadores de servicios ecosistémicos:

- Eliminación de contaminación del aire
- Reducción de la temperatura del aire
- Reducción de compuestos orgánicos volátiles
- Reducción de la radiación ultravioleta
- Almacenamiento de carbono
- Alergenicidad del polen
- Conservación energética en edificios
- Reducción del viento
- Reducción del flujo hídrico (gestión de aguas pluviales)

A partir del software, puede seleccionarse la importancia de cada uno de estos factores. La combinación de resistencia climática (al frío), altura en la madurez y funcionalidad deseada genera una lista clasificada de especies apropiadas a partir de una base inicial de aproximadamente 1600 especies.

La amplia base de datos cubre árboles nativos, naturalizados y exóticos, muchos de los cuales son comúnmente plantados en áreas urbanas. Dado que solo se utilizan unos pocos parámetros para generar una lista (rusticidad climática, altura del árbol, preferencias funcionales), muchas de las especies incluidas pueden no ser adecuadas para el contexto local por diversas razones.

Por ejemplo, las especies seleccionadas pueden tener limitaciones estructurales, relacionadas con el drenaje, con la exposición solar, con las plagas o con el pH del suelo que no las harían candidatas para su uso en un contexto concreto. Además, al incluir especies nativas y muchas exóticas, algunas de estas no están fácilmente disponibles en el comercio local.

Esto lleva a considerar la lista generada como un punto de partida más que como un resultado final. La lista necesita ser ajustada para satisfacer las necesidades y limitaciones locales. También deben tomarse en cuenta las necesidades culturales relevantes.

Por último, es necesario estar atento a las novedades legislativas, dado que los catálogos de especies invasoras son actualizados cada cierto tiempo. Esos datos adicionales sobre cada especie arbórea, (p ej. carácter invasivo, riesgos por plagas) deben reportarse para optimizar la selección de especies.

Límite de altura 20m

MORUS NIGRA	BLACK MULBERRY	5 ~ 9		
MORUS ALBA	WHITE MULBERRY	5 ~ 9		
PYRUS CALLERYANA	CALLERY PEAR	5 ~ 9		
LIGUSTRUM LUCIDUM	CHINESE PRIVET	8 ~ 11		
MELIA AZEDARACH	CHINABERRY	7 ~ 11		
KOELREUTERIA ELEGANS	FLAMEGOLD	9 ~ 11		
CATALPA BIGNONIOIDES	SOUTHERN CATALPA	5 ~ 9		S
ALBIZIA ADINOCEPHALA	CREAM ALBIZIA	9 ~ 11**		

Altura por encima de 20m

LIRIODENDRON TULIPIFERA	TULIP TREE	5 ~ 9		S
SEQUOIA SEMPERVIRENS	COAST REDWOOD	7 ~ 10		
MAGNOLIA GRANDIFLORA	SOUTHERN MAGNOLIA	7 ~ 10		
ULMUS AMERICANA	AMERICAN ELM	3 ~ 9		I/S
TILIA AMERICANA	AMERICAN BASSWOOD	4 ~ 9		I I
CEDRUS DEODARA	DEODAR CEDAR	7 ~ 9		
PLATANUS RACEMOSA	CALIFORNIA SYCAMORE	7 ~ 9		
FICUS CARICA	COMMON FIG	8 ~ 10*		
ACER RUBRUM	RED MAPLE	4 ~ 10	I	I
FRAXINUS AMERICANA	WHITE ASH	4 ~ 9		S
QUERCUS SUBER	CORK OAK	7 ~ 11		
PLATANUS ORIENTALIS	ORIENTAL PLANETREE	7 ~ 9		
FRAXINUS UHDEI	EVERGREEN ASH	7 ~ 10		
CELTIS OCCIDENTALIS	NORTHERN HACKBERRY	3 ~ 9		
ARBUTUS MENZIESII	PACIFIC MADRONE	8 ~ 9		
ACER MACROPHYLLUM	BIGLEAF MAPLE	7 ~ 10		I
PINUS THUNBERGIANA	JAPANESE BLACK PINE	6 ~ 9		
BROUSSONETIA PAPYRIFERA	PAPER MULBERRY	6 ~ 11		
PINUS RADIATA	MONTEREY PINE	3 ~ 11		S

PRUNUS SEROTINA	BLACK CHERRY	4 ~ 9		S	
JUGLANS NIGRA	BLACK WALNUT	4 ~ 9			
OSTRYA CARPINIFOLIA	HOP HORNBEAM	6 ~ 9			
PINUS PINEA	ITALIAN STONE PINE	7 ~ 11			
ACER SACCHARINUM	SILVER MAPLE	3 ~ 9		I	
PINUS BRUTIA	TURKISH PINE	9 ~ 11			
CELTIS LAEVIGATA	SUGARBERRY	5 ~ 10			
PINUS HALEPENSIS	ALEPPO PINE	9 ~ 11			
PINUS CANARIENSIS	CANARY ISLAND PINE	4 ~ 11			
EUCALYPTUS GRANDIS	FLOODED GUM EUCALYPTUS			9 ~ 11	
QUERCUS VIRGINIANA	LIVE OAK	8 ~ 10			
ULMUS CRASSIFOLIA	CEDAR ELM	7 ~ 9			
CUPRESSUS MACROCARPA	MONTEREY CYPRESS			7 ~ 9	
FRAXINUS DIPETALA	CALIFORNIA ASH	7 ~ 10*			
POPULUS DELTOIDES	EASTERN COTTONWOOD	3 ~ 9			I
MORUS RUBRA	RED MULBERRY	5 ~ 9			
FRAXINUS PENNSYLVANICA	GREEN ASH	3 ~ 9		S	S
ULMUS PUMILA	SIBERIAN ELM	4 ~ 9			
ARBUTUS ANDRACHNE	CYPRUS STRAWBERRY TREE			8 ~ 10**	
ARBUTUS ARIZONICA	ARIZONA MADRONE	8 ~ 10**			
PAULOWNIA TOMENTOSA	ROYAL PAULOWNIA	6 ~ 9			

Si bien las herramientas y bases de datos internacionales, como i-Tree Species, ofrecen una primera aproximación para identificar especies potencialmente adecuadas en entornos urbanos, es necesario considerar que la idoneidad real de cada especie depende de múltiples factores locales: clima, edafología, disponibilidad en viveros, normativa sobre especies invasoras y, especialmente, la experiencia acumulada sobre sus beneficios y posibles impactos negativos en el entorno urbano. Por ello, la selección definitiva debe realizarse evaluando no solo los servicios ecosistémicos aportados, sino también los posibles diservicios o problemas asociados a determinadas especies, como alergias, riesgos estructurales, fructificaciones molestas o susceptibilidad a plagas. Casos de estos diservicios en el contexto de Madrid-Campus Sur, son, por ejemplo:

Ulmus pumila .

- Susceptibilidad a plagas como *Xanthogaleruca*, que produce defoliación y conlleva un gasto en tratamientos de endoterapia con insecticidas.
- Problemas de estabilidad y tendencia a la caída de ramas
- Riesgo de introgresión genética con especies autóctonas de olmos.

- Como especie es muy común en el arbolado madrileño, sería conveniente diversificar con otras opciones menos frecuentes.
- Puede considerarse incluir algún ejemplar autóctono resistente (ver proyecto olmos vivos) en ubicaciones relevantes.

Fraxinus spp, por los siguientes motivos:

- Alergenicidad de su polen (reactividad cruzada con Olea).
- Cierta sensibilidad a suelos con alto contenido en carbonatos.

Platanus x hybrida.

- Alergenicidad.
- Especie muy frecuente en Madrid (~25% del arbolado viario de Madrid)
- Cierta sensibilidad a plagas (antracnosis)

Se incluyen a continuación los listados de especies y sus características significativas para las siguientes tipologías de plantación:

- Árboles de viario
- Árboles para zonas con tratamiento más forestal
- Arbustos, arbolillos y matas

Árboles de viario

1. *Celtis australis* (almez): Árbol caducifolio de porte grande (hasta 25 m), resistente y de bajo mantenimiento. Pros: Resistente a sequía y contaminación, carece de plagas y enfermedades significativas. Contras: Cierta dificultad de arraigo.
2. *Zelkova serrata* (también *Z. carpinifolia*): Árbol caducifolio de porte medio que ofrece buena sombra, textura por su ramificación fina y coloración otoñal atractiva.
3. *Albizia julibrissin*: Árbol de sombra matizada, permite arbolado de tamaño más pequeño por debajo, floración atractiva, resistente a calor y a la contaminación.
4. *Koelreuteria paniculata*: Árbol adecuado para generar sombra en espacios estanciales.
5. *Melia azedarach* (cinamomo): Problemas con semillas en viarios; evitar en carril bici.
6. *Broussonetia papyrifera* (morera del papel): Árbol rústico con sombra densa; evitar ejemplares femeninos en áreas pavimentadas.
7. *Morus alba fruitless* (morera sin fruto): Alternativa adecuada sin problemas de fructificación.
8. *Acer campestre* (arce campestre): Árbol de menor porte para zonas estanciales.
9. *Carpinus betulus* 'Fastigiata' (carpe columnar): Pantalla arbórea adecuada para espacios reducidos.
10. *Acer x freemanii*: Especie singular con coloración otoñal llamativa.
11. *Ginkgo biloba*: Especie singular con alto valor ornamental.
12. *Liriodendron tulipifera* (tulípero): Especie singular con floración llamativa.
13. *Ulmus minor* (clon resistente): Olmo resistente, adecuado sólo como ejemplar singular.
14. *Liquidambar styraciflua*: Árbol pequeño, con otoñada llamativa, generalmente ramificado en porte cónico monopódico desde la base, para agrupaciones en zonas este del campus.



Celtis australis
(c) Juanma Rubiales



Koelreuteria paniculata
(c) Juanma Rubiales

Árboles para zonas con tratamiento más forestal

15. *Tetraclinis articulata*: Especie de copas abiertas, ramifica desde la base.

16. *Juniperus oxycedrus*: Gimnosperma para zonas con pendiente (más rústica, aunque alcanza un buen crecimiento si las condiciones hídricas son adecuadas en su establecimiento)

17. *Pinus halepensis*: Resistente en condiciones difíciles, con déficit hídrico acusado. Mala respuesta a nevadas copiosas.

18. *Pinus pinea*: (pino piñonero) Funciona bien dentro del bosque comestible o sensorial. Mala respuesta a nevadas copiosas

19. *Quercus coccifera*: Crecimiento en forma de matorral, ramificado desde la base y alcanzando una talla baja (<3m)

20. *Quercus ilex* subsp. *ballota* (*Quercus rotundifolia*): Adaptado al contexto local; evitar subsp. *ilex*.

21. *Ceratonia siliqua* (algarrobo): Sensible a heladas (-5°C). No recomendado para viario; puede rebrotar tras daños por frío.



Quercus ilex ballota
(c) Juanma Rubiales



Quercus coccifera
© Juanma Rubiales



Pinus halepensis
(c) Toni Rebelo

Arbustos, arbolillos y matas

22. *Lavandula latifolia*, *L. angustifolia* o *L. x intermedia*: Mejor opción que *Lavandula stoechas* en sustrato carbonatado.

23. *Crataegus monogyna* (espino albar): Alternativa para el bosque comestible-sensorial.

24. *Rosa canina* (rosa silvestre): Alternativa para el bosque comestible-sensorial.

25. *Helichrysum stoechas*: Alternativa para el bosque comestible-sensorial.

26. *Nandina domestica*: Arbusto alóctono ornamental para plantaciones grupales en zonas E del campus.

27. *Rhamnus alaternus* (aladierno): Especie perennifolia adecuada para continuidad visual y coherencia ecológica.

28. *Rhamnus lycioides*: Especie caducifolia facultativa, adecuada para coherencia con vegetación natural posible en el entorno local.



Rhamnus lycioides
© Jorge Iñiguez

4. Resultados

4.1. Cobertura arbórea y permeabilidad

Se realiza el estudio mediante la aplicación de i-Tree Canopy realizándose un muestreo de un total de 702 puntos (véase Ilustración 23) dentro de la zona delimitada de 23,30 ha.



Ilustración 23. Puntos de muestreo en el estudio coberturas de i-Tree Canopy de Campus Sur

El estudio por imagen aérea nos permite establecer que tan sólo un 20% de la superficie del campus está actualmente cubierto por vegetación arbolada y que las superficies no permeables alcanzan el 49% de la superficie total (véase Ilustración 24).

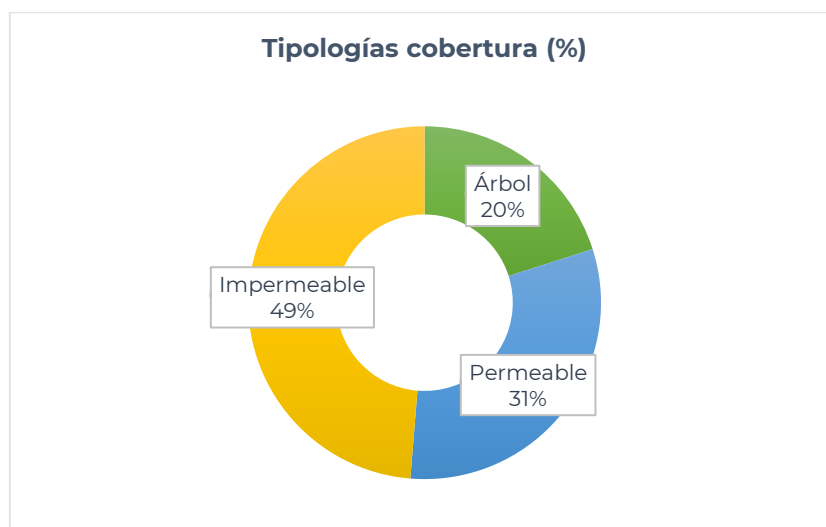


Ilustración 24. Gráfico de distribución de tipologías de cobertura de Campus Sur UPM.

La superficie cubierta por pradera es la que alcanza menor proporción, alcanzando tan sólo un 1,28% de la superficie total. La zona de suelo permeable corresponde a los suelos donde se pueden identificar zonas potenciales para la reforestación (véase Ilustración 25).

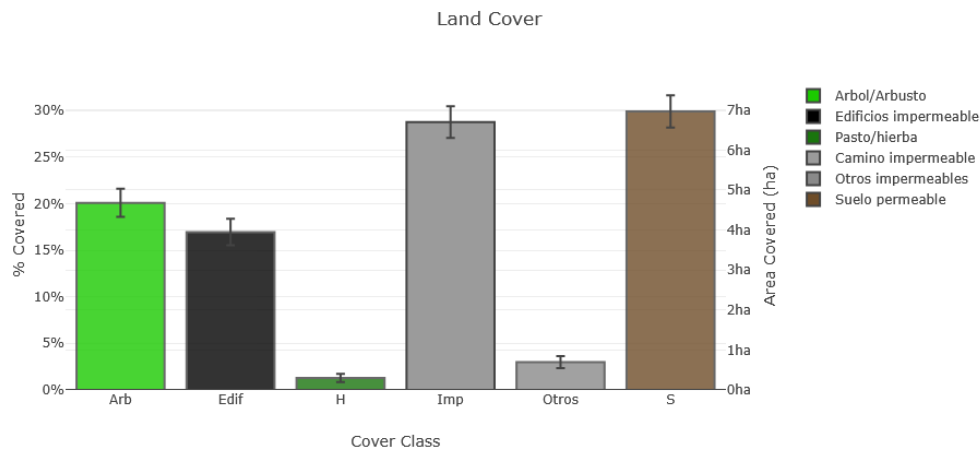


Ilustración 25. Distribución en porcentajes y superficie de las distintas tipologías de cobertura de Campus Sur UPM.

Dentro de la superficie impermeable, el 17% pertenece a edificios sobre la que es difícil actuar, pero en el resto es posible plantear acciones de sustitución de pavimentos e instalación de sistemas que permitan la percolación, almacenamiento y posterior aprovechamiento del agua de lluvia por la vegetación (véase Ilustración 26).



Ilustración 26. Zona de aparcamiento junto al edificio Arboleda susceptible de intervención para aumentar permeabilidad y cobertura vegetal.

Los servicios ecosistémicos ligados a la cobertura arbórea relacionados con la captura de contaminantes atmosféricos y con la reducción de la escorrentía se encuentran recogidos a continuación en la Tabla 2 y en la Tabla 3.

Estimaciones de beneficios de los árboles: Contaminación del aire (unidades métricas)

Abr.	Descripción	Cantidad (kg)	±SE	Valor (EUR)	±SE
CO	Carbon Monoxide removed annually	9.04	± 0,68	11 €	± 1
NO2	Nitrogen Dioxide removed annually	52.64	± 3,96	40 €	± 3
O3	Ozone removed annually	324.45	± 24,43	1.956 €	± 147
SO2	Sulfur Dioxide removed annually	10.66	± 0,80	3 €	± 0
PM2.5	Particulate Matter less than 2.5 microns removed annually	8.51	± 0,64	1.737 €	± 131
PM10*	Particulate Matter greater than 2.5 microns and less than 10 microns removed annually	97.29	± 7,32	571 €	± 43
Total		502.59	± 37,84	4.319 €	± 325

La moneda está en EUR y está redondeada. Los errores estándar de extracción y los importes de los beneficios se basan en los errores estándar de los puntos muestreados y clasificados. Las estimaciones de contaminación atmosférica se basan en estos valores en kg/ha/año a €/kg/año y están redondeados: CO 1,932 a 1,25 € | NO2 11,250 a 0,76 € | O3 69,338 a 6,03 € | SO2 2,278 a 0,24 € | PM2,5 1,819 a 204,11 € | PM10* 20,792 a 5,87 € (Unidades métricas: kg = kilogramos, ha = hectáreas)

Tabla 2. Cuantificación y valoración económica de la reducción de contaminación atmosférica ligada a la cobertura arbórea en Campus Sur UPM.

Estimaciones de beneficios de los árboles: Hidrológico (unidades métricas)

Abr.	Beneficio	Cantidad (kl)	±SE	Valor (EUR)	±SE
AVRO	Avoided Runoff	605.73	± 45,60	1.215 €	±91
E	Evaporation	2.266,57	± 170,64	N / A	N / A
I	Interception	2.272,68	± 171,10	N / A	N / A
T	Transpiration	7.788,36	± 586,34	N / A	N / A
PE	Potential Evaporation	28.446,45	± 2.141,57	N / A	N / A
PET	Potential Evapotranspiration	28.446,45	± 2.141,57	N / A	N / A

La moneda está en EUR y está redondeada. Los errores estándar de extracción y los importes de los beneficios se basan en los errores estándar de los puntos muestreados y clasificados. Las estimaciones hidrológicas se basan en estos valores en kl/ha/año a €/kl/año y están redondeados: AVRO 129.452 @ 2,01 € | E 484.393@N/A | Yo 485.698 @ N/A | T 1.664,465 @ N/A | PE 6.079,341 @ N/A | PET 6.079,341 @ N/A (Unidades métricas: kl = kilolitros, ha = hectáreas)

Tabla 3. Cuantificación y valoración económica de la reducción de escorrentía y aguas de tormenta ligadas a la cobertura arbórea en Campus Sur UPM.

En resumen, el arbolado de Campus Sur proporciona los siguientes servicios ecosistémicos estimados en función de su cobertura arbórea:

- **Captura un total de 502,6 kg de contaminantes atmosféricos al año**, por un valor de **4.392 €/año**.
- **Reduce en 605,7 m³ las aguas de tormentas**, lo que supone un **ahorro** en instalaciones de evacuación equivalentes a **1.215 €/año**.

4.2. Indicador 3-30-300

La aplicación del indicador 3-30-300 a Campus Sur arroja resultados en general positivos, cumpliéndose satisfactoriamente dos de los tres criterios establecidos (véanse Ilustración 27 e Ilustración 28). Este indicador, propuesto como herramienta de planificación urbana centrada en la salud y el bienestar, evalúa si cada persona puede ver al menos tres árboles desde su vivienda o puesto de trabajo (3), si el barrio cuenta con al menos un 30 % de cobertura arbórea (30) y si se encuentra a menos de 300 metros de una zona verde accesible (300).

En el caso de Campus Sur, aunque se cumplen los criterios de visibilidad de arbolado y proximidad a zonas verdes, el objetivo del 30 % de cobertura arbórea no se alcanza. Esta carencia se identifica como una línea prioritaria de mejora, y será tomada en cuenta en las propuestas de actuación para el diseño y gestión futura del campus.

No obstante, el cumplimiento del indicador 300 no sólo es positivo en el propio campus, sino que refleja su impacto como nodo verde más allá de sus límites. La accesibilidad a zonas verdes en un radio de 300 metros alrededor del campus pone de manifiesto su rol estratégico como espacio de valor ecológico y refugio climático, beneficiando también a las áreas residenciales y educativas colindantes (véase Ilustración 29).

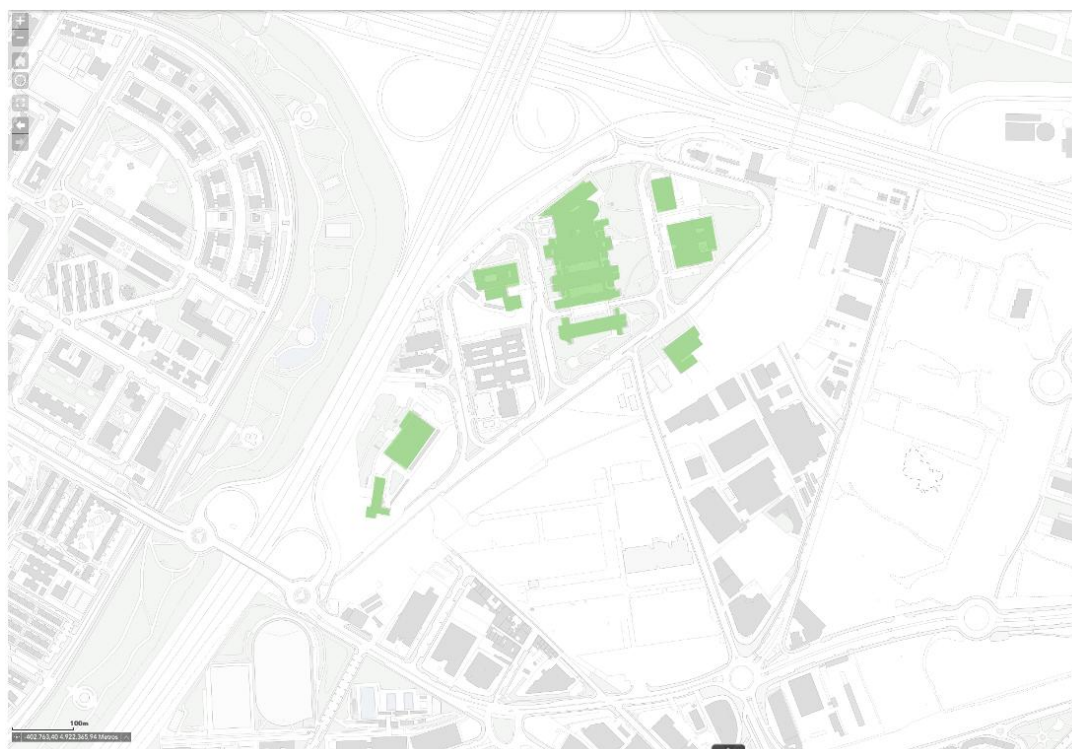


Ilustración 27. Análisis del indicador 3-30-300 para Campus Sur UPM: componente 3 árboles visibles desde cada vivienda/aula/oficina.

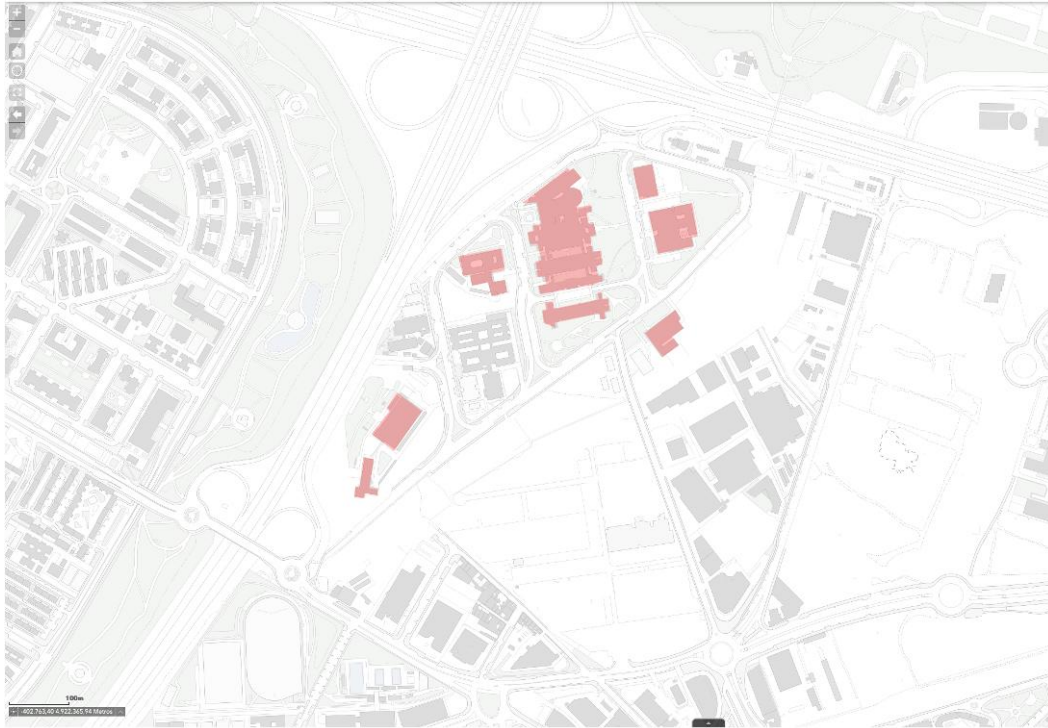


Ilustración 28. Análisis del indicador 3-30-300 para Campus Sur UPM: componente 30% de cobertura arbórea que no es alcanzado.



Ilustración 29. Análisis del indicador 3-30-300 para Campus Sur UPM: componente 300 que se cumple dentro del campus y tiene un efecto sobre los edificios que se encuentran en un buffer de 300 metros alrededor del mismo.

4.3. Datos del inventario de arbolado

Se han inventariado un total de **1.272 árboles** en todo el campus, recopilándose 8 variables de cada uno de ellos.

Los datos del inventario de arbolado permiten hacer un análisis sobre el estado y composición de la población de árboles pudiendo establecer los siguientes parámetros que se describen en detalle en los siguientes apartados:

- Diversidad de especies
- Distribución diamétrica o de edades relativas
- Distribución geográfica

4.3.1. Diversidad de especies

En el análisis de los datos del inventario del arbolado de Campus Sur se han identificado un total de **68 especies** distintas, lo cual refleja una diversidad moderada en términos de composición. Sin embargo, la distribución no es equilibrada, ya que tres géneros (*Cupressus*, *Populus* y *Ulmus*) están claramente **sobrerrepresentados**, concentrando más del **70 % del total de individuos**. Esta dominancia de unos pocos géneros limita la diversidad funcional y genética del arbolado, lo que puede comprometer su resiliencia frente a plagas, enfermedades o condiciones climáticas extremas.

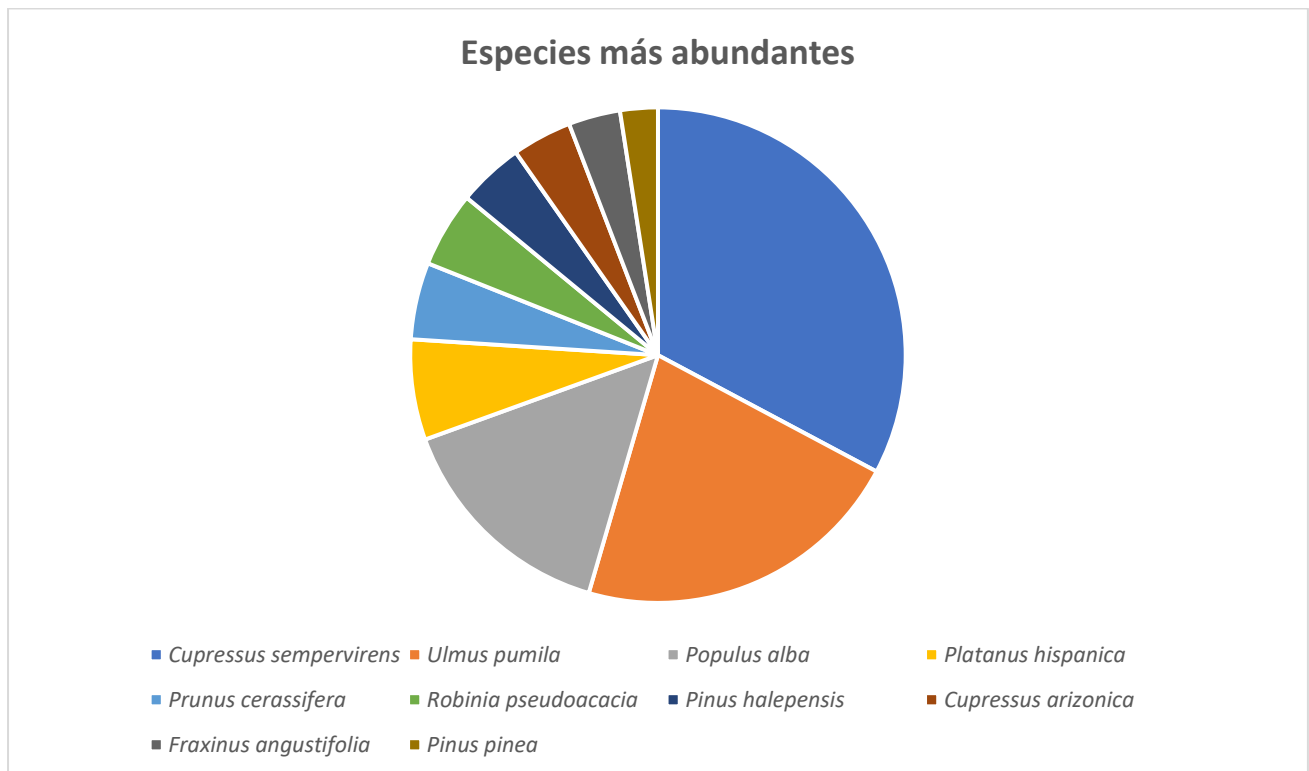


Ilustración 30. Especies arbóreas más abundantes en Campus Sur UPM.

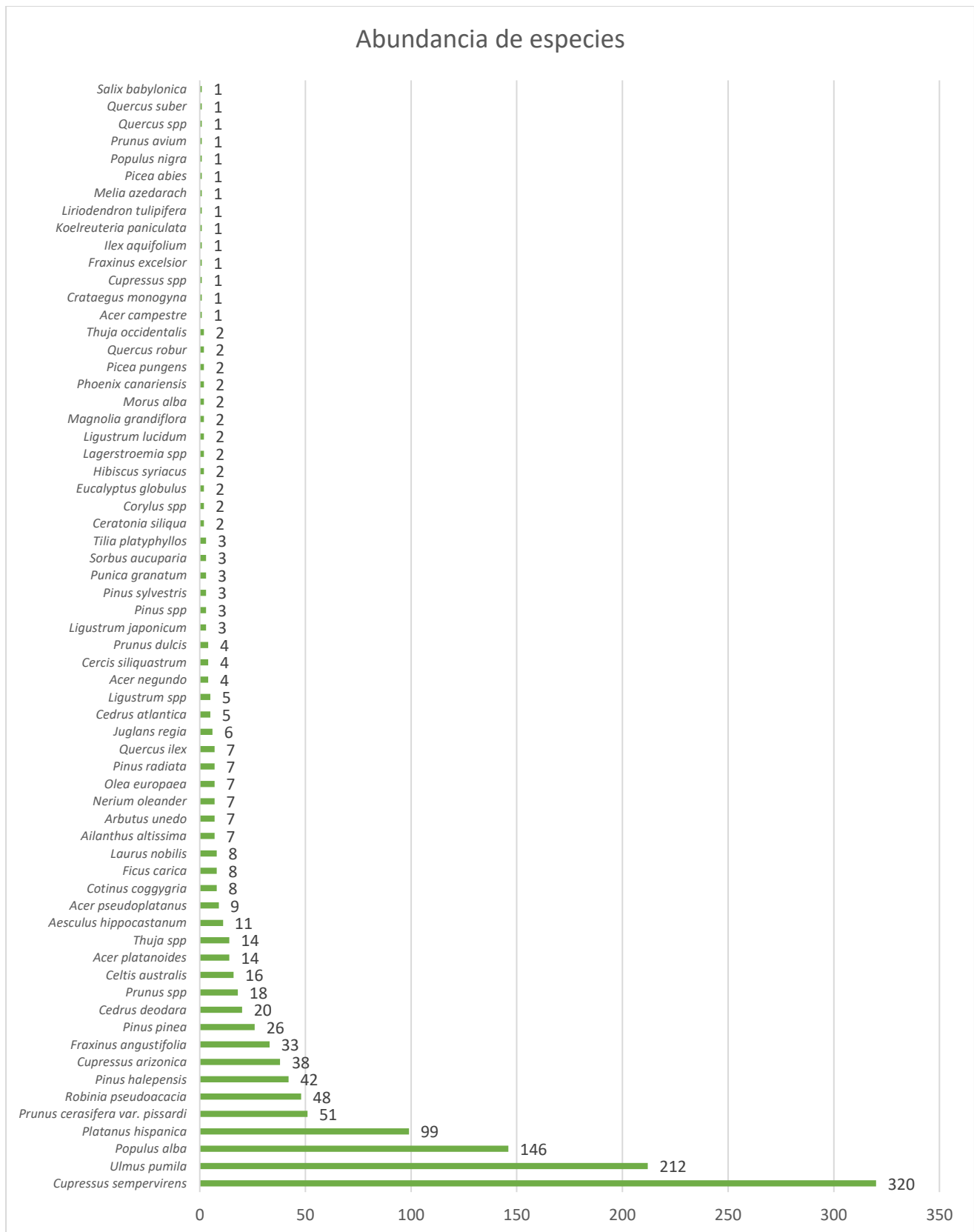


Ilustración 31. Abundancia de especies en Campus Sur UPM.

La concentración excesiva de determinadas especies supone un riesgo para la sostenibilidad del arbolado a medio y largo plazo. Por ello, es fundamental diversificar las futuras plantaciones, evitando la incorporación de especies ya sobrerrepresentadas y priorizando aquellas menos frecuentes, pero bien adaptadas a las condiciones locales. Incrementar la diversidad estructural y específica no solo mejora la estabilidad ecológica y la resiliencia frente a perturbaciones, sino que también favorece una mayor variedad de servicios ecosistémicos, incluyendo beneficios paisajísticos, de hábitat y de regulación climática. Esta estrategia debe formar parte de un enfoque de gestión adaptativa del arbolado del campus.

4.3.1. Distribución diamétrica

El análisis de la **distribución diametral** del arbolado de Campus Sur nos permite realizar una aproximación a la estructura por edades de la población arbórea. La mayoría de los ejemplares se concentran en clases diamétricas medias y altas, lo que sugiere una población predominantemente **madura o envejecida**, con escasa presencia de árboles jóvenes o en etapas iniciales de desarrollo. Esta situación refleja una **falta de regeneración**, es decir, una carencia de nuevas plantaciones que aseguren el relevo generacional del arbolado a medio y largo plazo.

El **diámetro medio** de los árboles registrados es de **28,9 cm**, mientras que el **mayor diámetro medido alcanza los 97 cm**, lo que evidencia la presencia de ejemplares de gran porte y edad avanzada. Aunque la existencia de árboles maduros puede ser valiosa desde el punto de vista ecológico, paisajístico y patrimonial, la **ausencia de una estructura diamétrica equilibrada** supone un riesgo para la sostenibilidad del arbolado. Para garantizar una gestión resiliente y continua, se recomienda planificar programas de **plantación escalonada y sustitución progresiva**, que fomenten una pirámide de edades más estable y diversificada, capaz de responder a los desafíos climáticos, sanitarios y funcionales del futuro.

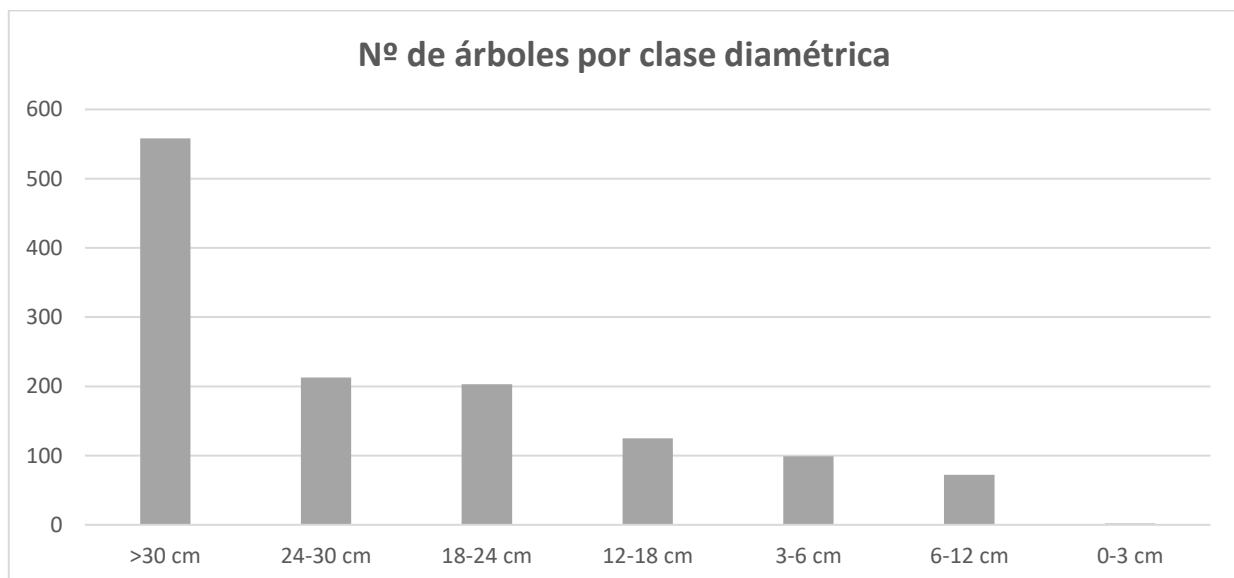


Ilustración 32. Número de árboles por clase diamétrica en Campus Sur UPM.

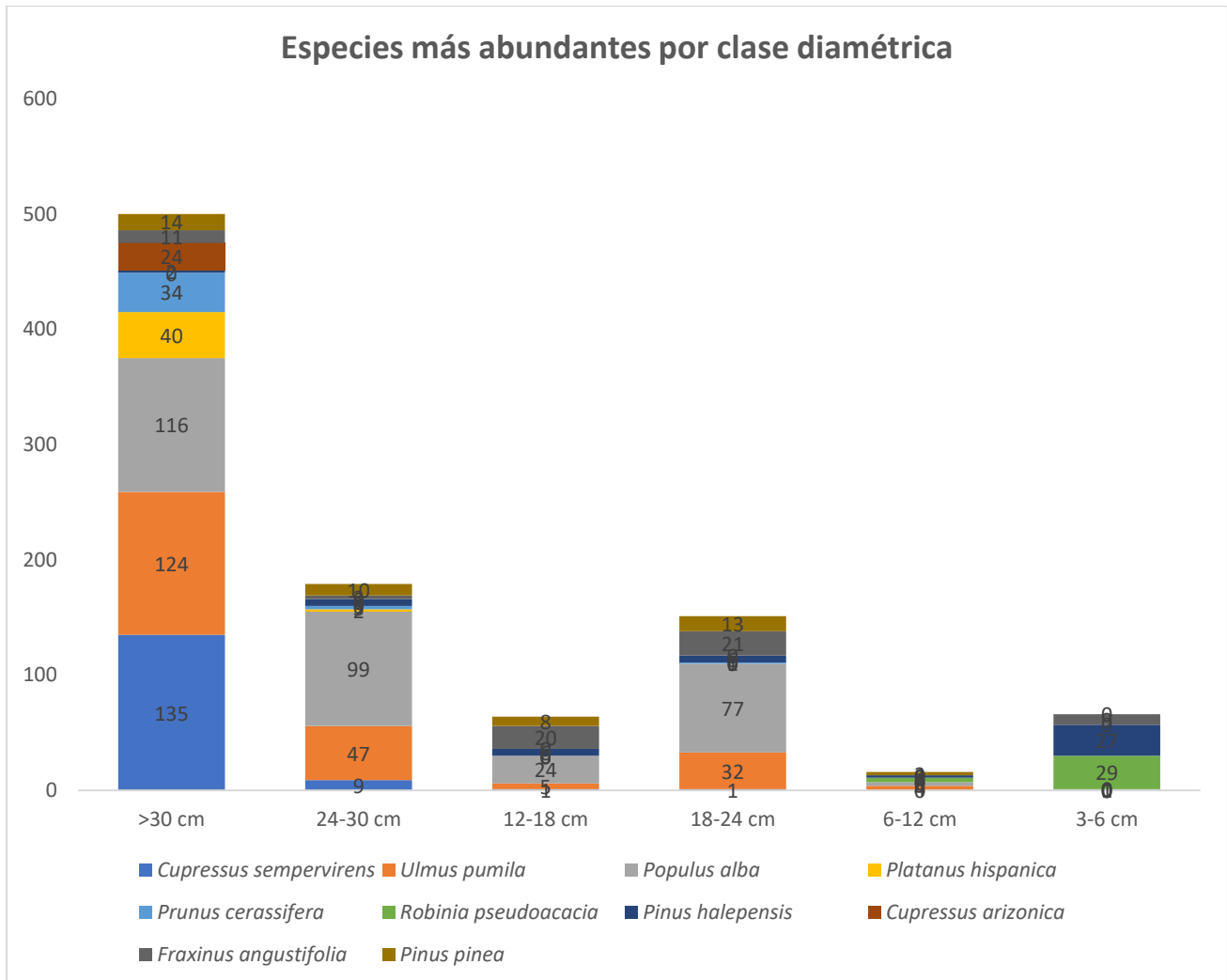


Ilustración 33. Especies arbóreas más abundantes por clase diamétrica en Campus Sur UPM.

4.3.2. Distribución geográfica

El análisis de la distribución geográfica del arbolado permite identificar con claridad las áreas del campus donde existe mayor margen para incrementar la cobertura vegetal. Este diagnóstico espacial pone de manifiesto zonas con escasa presencia de arbolado, que representan una oportunidad para implementar actuaciones de renaturalización y mejora de la infraestructura verde. Entre estas áreas destacan la zona norte del campus, los aparcamientos y ciertos viales que, por su configuración y exposición, presentan un notable potencial para la incorporación de nuevo arbolado o de Soluciones Basadas en la Naturaleza.

En la Ilustración 34 se presenta un plano con la ubicación precisa de cada uno de los ejemplares inventariados. A través de este mapa se observan claramente los vacíos arbóreos, siendo especialmente significativa la baja densidad en la zona sureste, donde se sitúan las instalaciones del INSIA y sus inmediaciones. Aunque recientemente se han plantado nuevas alineaciones de árboles en ese área, el esfuerzo resulta aún insuficiente, por lo que es necesario continuar con acciones de reforestación y consolidación de la cobertura

vegetal. Además, los viales de la Avenida del Campus Sur, particularmente en los tramos oeste (dirección norte-sur) y sur (dirección suroeste-noreste), muestran una notable pérdida de ejemplares en alineación, lo que genera espacios altamente expuestos a la insolación y poco confort térmico. Asimismo, la franja norte del campus, que limita con las carreteras circundantes, también requiere actuaciones de plantación para reforzar su función como barrera verde, ayudando a mitigar el impacto del tráfico, reducir el ruido y mejorar la calidad ambiental de esta zona limítrofe. La reforestación estratégica en estos puntos contribuirá a mejorar la conectividad ecológica, el confort térmico y la resiliencia del campus frente a los efectos del cambio climático.

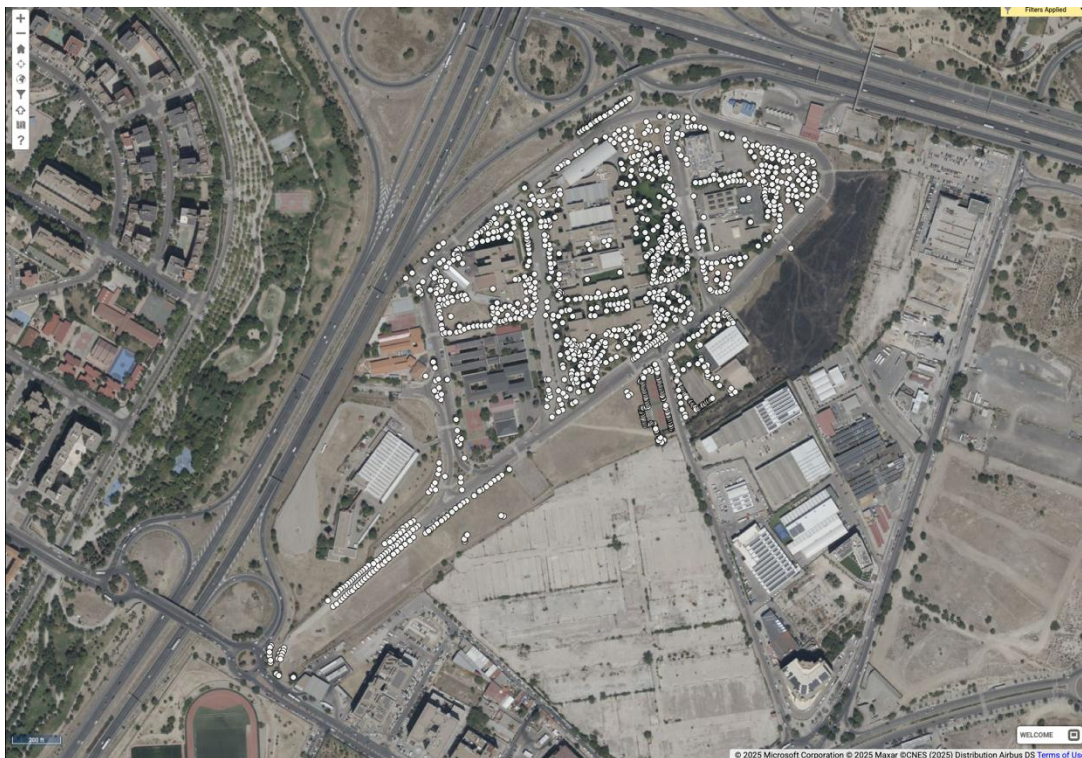


Ilustración 34. Localización de los pies arbóreos en Campus Sur UPM.

4.4. Estudio preliminar de riesgo del arbolado

El estudio preliminar de riesgo realizado sobre el arbolado del Campus Sur permite obtener una visión general del estado actual de la masa arbórea, evidenciando la necesidad de actuaciones de diversa urgencia. Del total de **1.272 árboles inventariados**, se ha identificado que **228 ejemplares** se encuentran en **estado crítico**, incluyendo **13 árboles muertos en pie**. Dentro de este grupo, **50 árboles requieren intervenciones urgentes** para evitar riesgos inminentes, mientras que otros **170 ejemplares** necesitan una **revisión a corto plazo** para valorar su evolución y establecer posibles actuaciones (véase Ilustración 35).

Cabe destacar que la categoría de árboles enfermos incluye un amplio rango de patologías, que abarca desde afecciones foliares superficiales hasta daños estructurales graves como **podriciones internas o defectos mecánicos severos**.

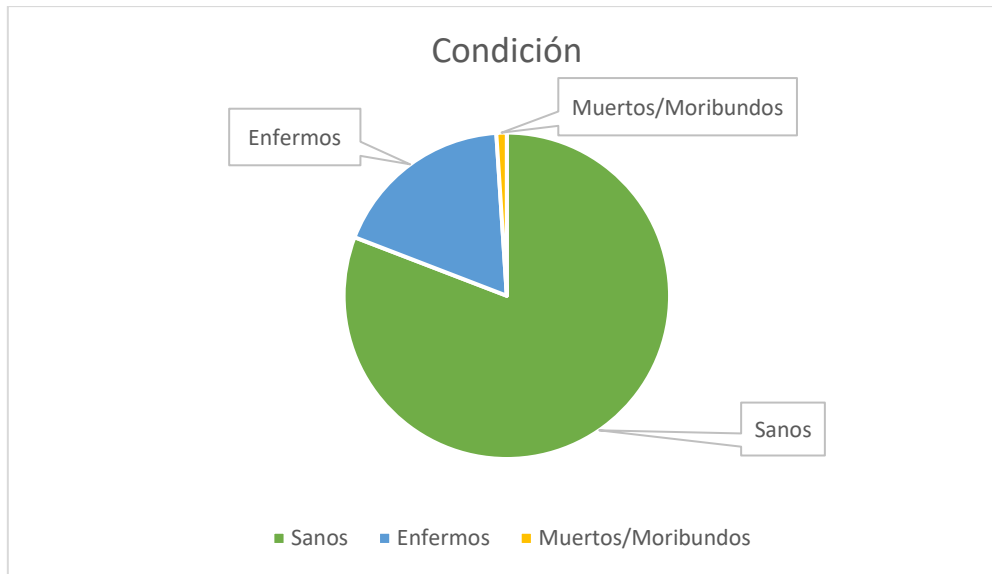


Ilustración 35. Porcentaje de árboles por cada estado sanitario en Campus Sur UPM.



Ilustración 36. Distintos árboles catalogados dentro de la categoría de "Enfermo" por pudriciones y afecciones del tronco o por presencia de ramas secas o dyeback.

Estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de desarrollar un **estudio de riesgo detallado y especializado**, que incluya inspecciones avanzadas, análisis biomecánicos y diagnóstico instrumental si fuera necesario. En caso de limitación de recursos, es prioritario actuar primero sobre los árboles identificados como de intervención urgente, para minimizar riesgos y garantizar la seguridad en el campus.

El análisis por especies y estado fitosanitario (véase Ilustración 37) revela además que algunos géneros presentan una mayor concentración de incidencias. Destaca especialmente el caso de los **álamos (*Populus alba*)**, especie que fue plantada masivamente por su rápido crecimiento y su capacidad de generar sombra en poco tiempo, pero cuya **vida útil es limitada**. Además, su madera presenta una alta susceptibilidad a pudriciones internas, especialmente tras podas o daños mecánicos, lo que aumenta el riesgo de fractura.

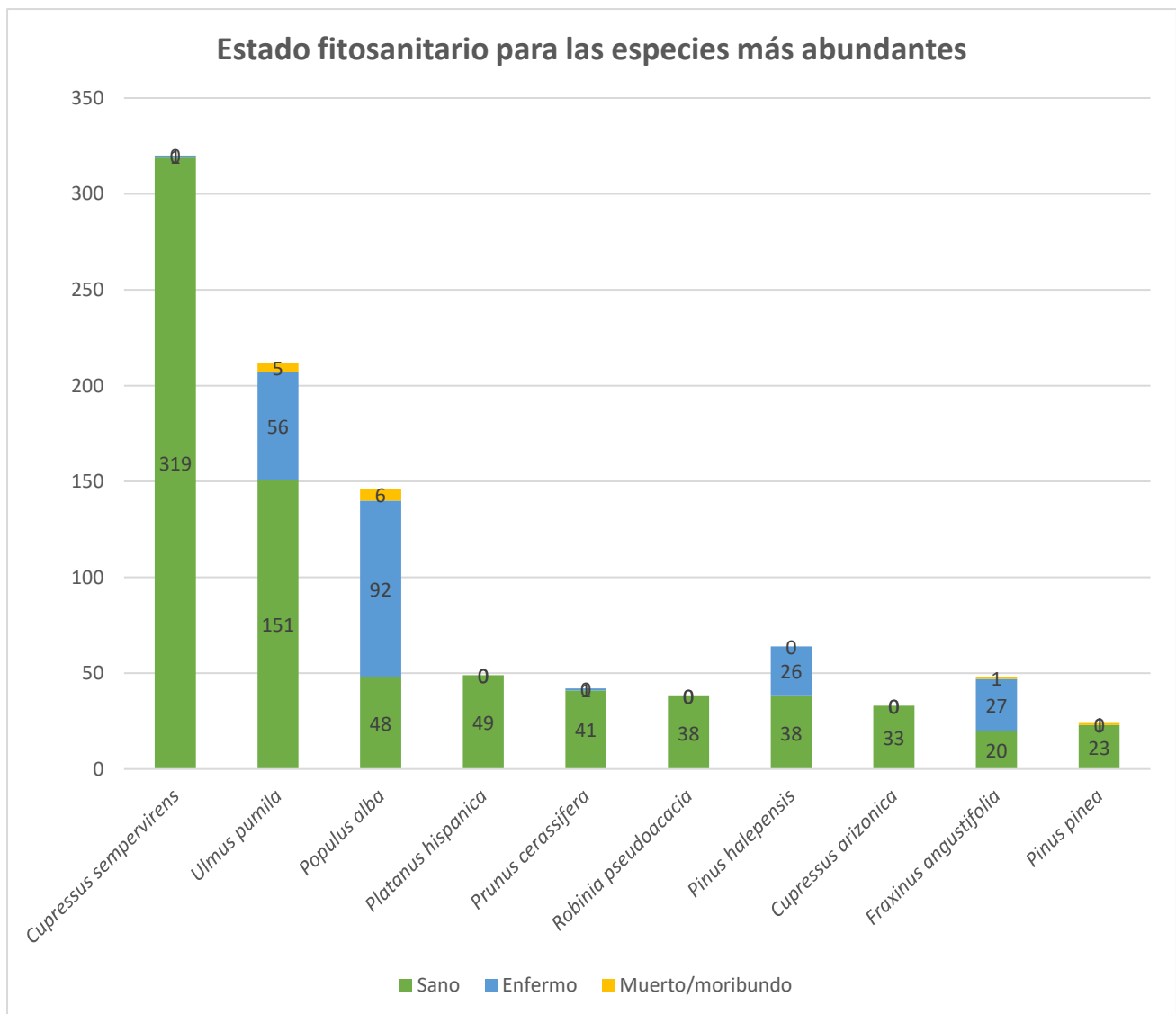


Ilustración 37. Estado fitosanitario de las especies arbóreas más abundantes en Campus Sur UPM.

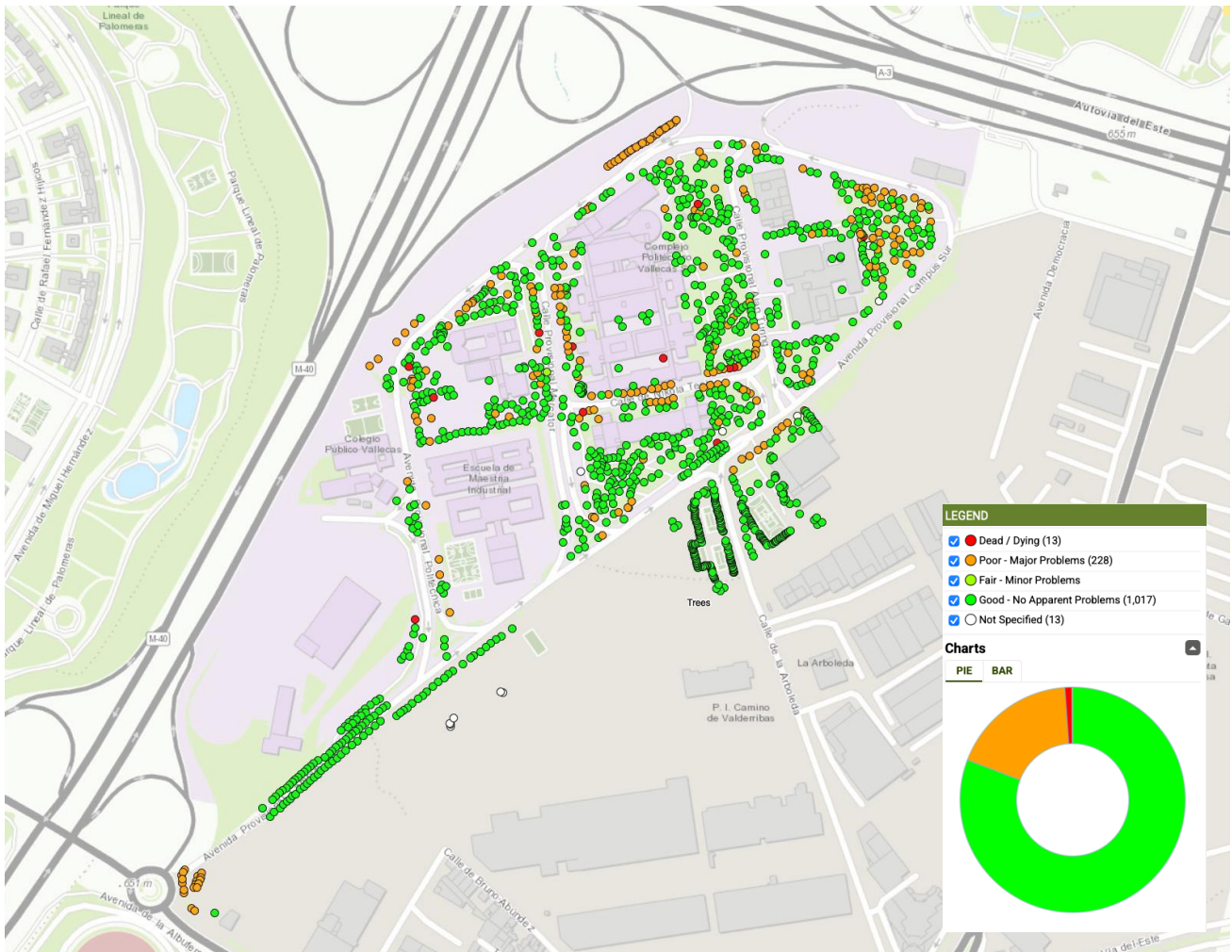


Ilustración 38. Mapa con la localización de los pies inventariados según su estado fisiológico.

Dentro de los pies catalogados de intervención urgente se encuentran aquellos muertos o moribundos que deben ser talados, árboles que presentan problemas estructurales o con un alto grado de inclinación de gran porte que deben ser evaluados y también árboles con ramas rotas o colgadas que deben ser podados de manera urgente (Véase Ilustración 39).

Es importante subrayar que el campus es un espacio con un elevado tránsito peatonal y vehicular, donde el arbolado cumple funciones clave como **proporcionar sombra, regular el microclima y mejorar la calidad ambiental**. No obstante, al igual que ocurre con otras infraestructuras, el arbolado urbano requiere un mantenimiento sistemático y planificado. Por ello, resulta fundamental la elaboración de un **Plan Director de Arbolado**, que no solo contemple actuaciones inmediatas, sino que también establezca un marco estratégico para la **gestión a corto, medio y largo plazo**. Dicho plan debe integrar criterios de seguridad, salud vegetal, diversidad de especies y maximización de los servicios ecosistémicos, garantizando que el arbolado de Campus Sur continúe aportando beneficios a la comunidad universitaria sin comprometer la seguridad de sus usuarios.

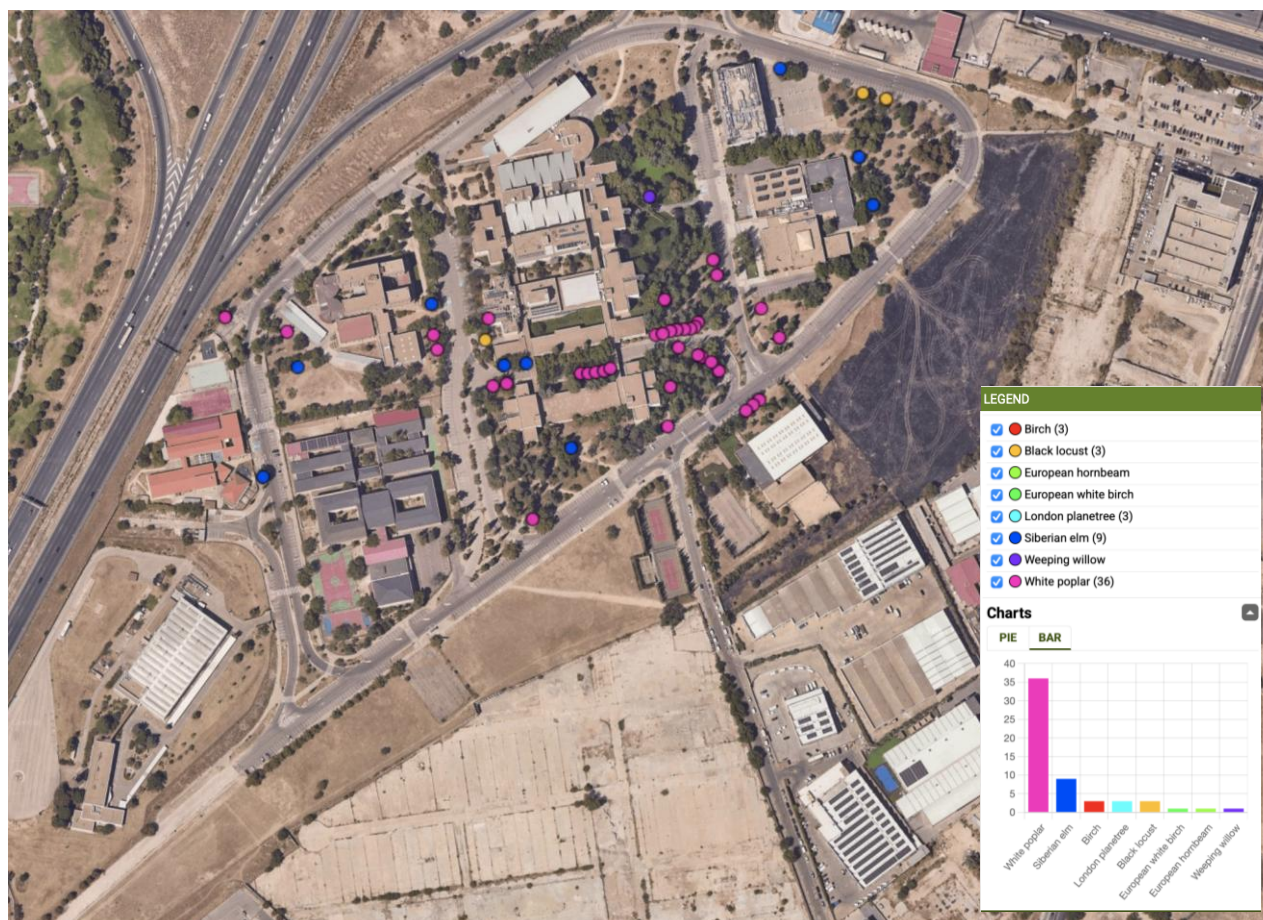


Ilustración 39. Localización de los pies de intervención urgente clasificados por especie.

4.5. Catálogo de especies recomendadas

Se desarrolla, además, un listado de especies recomendadas, basado en criterios tanto ecológicos como de adaptación al entorno, que siguen las siguientes pautas:

- Preferencia por especies naturalizadas o autóctonas de la península Ibérica, adaptadas al clima mediterráneo continental, tolerando suelos calizos o yesosos, y las condiciones de estrés hídrico propias de la región.
- Inspiración en las comunidades vegetales originales (encinar manchego y matorrales asociados), favoreciendo la biodiversidad local, la resiliencia y la conectividad ecológica con espacios naturales cercanos de interés.
- Prevención de la introducción de especies invasoras, con potencial invasivo o riesgo de desarrollo de plagas o enfermedades, conforme a los catálogos actualizados y la legislación vigente.
- Maximización de los servicios ecosistémicos: sombra, regulación térmica, reducción de contaminación, infiltración de agua y mejora del confort urbano.

- Minimización de diservicios: reducción de especies con alta alergenicidad, problemas estructurales que puedan generar caídas de ramas o riesgo para la ciudadanía, susceptibilidad a plagas o elevado mantenimiento.
- Diversificación de especies para reducir riesgos asociados a plagas, enfermedades y homogeneidad genética, priorizando especies con buen comportamiento en entornos urbanos y disponibilidad en viveros locales.
- Consideración de la funcionalidad ornamental, compatibilidad con el uso público y coherencia paisajística en el conjunto del campus

El catálogo de especies arbóreas recomendadas incluye recomendaciones acerca de uso y localización propicia para cada una de ellas, lo que permitirá incorporar estas nuevas especies en las plantaciones propuestas y en futuras intervenciones, dando uniformidad y cohesión al campus.

4.6. Identificación de zonas prioritarias para intervenciones de fomento de la biodiversidad

La identificación de zonas prioritarias para el **fomento de la biodiversidad** en Campus Sur parte del reconocimiento de la necesidad urgente de **revertir la degradación y fragmentación de los hábitats urbanos**. Tradicionalmente, muchos espacios verdes en entornos universitarios han sido gestionados bajo criterios centrados en la funcionalidad, la estética o el bajo mantenimiento, prestando escasa atención a la preservación activa de la biodiversidad local. Este análisis propone un cambio de paradigma, integrando un enfoque ecológico que adapte la gestión de los espacios verdes a los **ciclos naturales**, que reduzca la presión sobre el medio y que genere nuevas oportunidades para el desarrollo de la vida silvestre. De esta forma, el campus no sólo se convierte en un espacio funcional y estéticamente agradable, sino también en un auténtico refugio de la biodiversidad urbana.

Dentro de los espacios analizados, se han identificado zonas con potencial para ser **naturalizadas progresivamente** mediante la modificación de los patrones de mantenimiento convencionales. Esto implica, por ejemplo, reducir la frecuencia de siegas, favorecer la regeneración natural de especies autóctonas y promover una **estructura vegetal más diversa y heterogénea**. Así, se busca alternar incorporando áreas de **pradera naturalizada**, matorral bajo y arbolado, generando hábitats variados que favorezcan la presencia de insectos polinizadores, aves y pequeños mamíferos. Un ejemplo de esta estrategia ya se puede observar en la pradera sin siega situada al este del Edificio Arboleda (véase ilustración 40), que sirve como referencia para futuras actuaciones.

Además, el estudio enfatiza la importancia de **mejorar la conectividad ecológica** dentro del campus. Se han identificado potenciales corredores verdes que enlazan las principales zonas arboladas, facilitando el desplazamiento y la dispersión de especies tanto de flora como de fauna. Estos corredores deben complementarse con la creación de **islas de biodiversidad** y la incorporación de elementos naturales como **setos, arbustos autóctonos, praderas floridas y árboles maduros**, que funcionen como refugios y puntos de alimentación para la fauna urbana.



Ilustración 40. Pradera naturalizada en la zona este del Edificio Arboleda: evitar siegas en primavera para promover polinizadores.



Ilustración 41. Zonas prioritarias de intervención (en marrón) para fomento de biodiversidad.

Las áreas señaladas como prioritarias para las intervenciones de biodiversidad (véase Ilustración) son las siguientes:

- La **zona arbolada con pradera naturalizada al este del Edificio Arboleda**, que ya actúa como espacio piloto de naturalización.
- La **zona norte del campus**, con alto potencial para reforestación y para reforzar su función como pantalla verde frente a las infraestructuras viarias.
- La **entrada sur del campus y el área colindante al sur del INSIA**, caracterizadas por su baja intensidad de uso y su potencial para convertirse en nuevas áreas de bosque urbano y conectividad ecológica.

Estas intervenciones no sólo contribuirán a enriquecer la biodiversidad local, sino que también mejorarán la calidad ambiental y el confort del campus, fortaleciendo su papel como espacio educativo, ecológico y de bienestar.

5. Propuestas

A partir del análisis exhaustivo de los datos recopilados y de los resultados obtenidos en los distintos apartados del estudio, se ha elaborado una batería de **propuestas de actuación** orientadas a mejorar, ampliar y optimizar la **infraestructura verde de Campus Sur**. Estas propuestas tienen como eje central la planificación y gestión estratégica del arbolado y las zonas verdes, con el objetivo de **maximizar los servicios ecosistémicos** que ofrecen, tales como la mejora de la calidad del aire, la mitigación del efecto isla de calor, el aumento de la biodiversidad, el bienestar de los usuarios y la resiliencia frente al cambio climático.

En este apartado se presentan, en primer lugar, los **objetivos generales** que guían el conjunto de propuestas, los cuales incluyen la diversificación del arbolado, la mejora del confort térmico, el aumento de la conectividad ecológica y la seguridad del campus. Posteriormente, se enumeran y describen con detalle las distintas acciones recomendadas, especificando el ámbito de actuación, la prioridad, los beneficios esperados y las posibles fases de implementación. Estas propuestas abordan tanto intervenciones directas —como nuevas plantaciones, restauración de alineaciones o creación de corredores verdes— como medidas de planificación a medio y largo plazo, como la elaboración de un Plan Director de Arbolado y protocolos de mantenimiento preventivo. Todo ello con el fin de transformar Campus Sur en un espacio más sostenible, saludable y resiliente, capaz de responder a los retos ambientales y sociales actuales y futuros.

5.1. Objetivos de las propuestas

1. **Aumentar la cobertura arbórea en el Campus hasta el objetivo de 30%**
Se han identificado espacios de oportunidad en zonas terrazas o con vegetación adventicia no arbolada, en áreas de aparcamiento que pueden incorporar arbolado para sombrearlas y en zonas de viario susceptibles de peatonalización y renaturalización.
2. **Aumentar la permeabilidad**
Concebir el agua como un recurso valioso y reducir la escorrentía hacia el sistema de alcantarillado permitirá infiltrar el agua de lluvia y almacenarla para su aprovechamiento por la vegetación.
 - a. Implantación de pavimentos permeables y vegetación en aparcamientos
 - b. Implantación de pavimentos permeables en viales
3. **Plantaciones estratégicas con objetivo de sombra y termorregulación**
 - a. Alrededor de los edificios, **sombreado de las fachadas orientadas al sur y oeste** con el objetivo principal de conseguir la termorregulación y el ahorro energético
 - b. **Maximizar la sombra en pasos y zonas estanciales** con el objetivo de lograr regulación térmica y de reducir la exposición a los rayos UV
4. **Plan de gestión y regeneración del arbolado**
 - a. El estudio preliminar del riesgo y estado sanitario pone de manifiesto la necesidad de realizar una **evaluación de riesgo del arbolado**, priorizando aquellos árboles identificados como muertos en pie y aquellos que se categorizan dentro de la categoría de actuación urgente prioritaria.
 - b. Se deberá realizar un **Plan de gestión del arbolado** que contemple un cronograma, un presupuesto y la planificación de las actuaciones a corto, medio y largo plazo

- c. Deberá asignarse un **técnico o equipo responsable** que se haga cargo de la puesta en marcha, de la ejecución y del seguimiento del plan de gestión del arbolado
5. **Nuevos criterios de mantenimiento enfocados a maximizar servicios ecosistémicos**
Se proponen una serie de pautas y criterios de mantenimiento de acuerdo a las nuevas directrices en arboricultura y gestión de espacios verdes que buscan maximizar los servicios ecosistémicos y aumentar la biodiversidad.
- Estas nuevas directrices deberán incorporarse al mantenimiento a través de un Plan de formación para el personal de jardinería de la UPM
6. **Actuaciones de fomento de la biodiversidad**
- a. Nuevas pautas de diseño que incorporen criterios actualizados de selección especies, así como varios estratos de vegetación en las plantaciones
 - b. Criterios de mantenimiento de arbolado y zonas verdes: podas del arbolado en porte natural, programación de las siegas e intervenciones para el fomento de polinizadores y aves, establecimiento de zonas de pradera no segadas
 - c. Intervenciones puntuales sobre grupos animales concretos:
 - i) **Invertebrados: hotel de insectos**
 - ii) **Avifauna: lámina de agua, cajas nido**
 - iii) **Quirópteros (murciélagos): cajas refugio**

5.2. Inventario de propuestas

En este apartado se presenta una descripción detallada de las propuestas de mejora para Campus Sur (UPM), con un enfoque específico en la mejora y optimización del arbolado y de las zonas verdes. Estas propuestas tienen como objetivo principal transformar los espacios verdes del campus en una infraestructura más resiliente, diversa y funcional, capaz de proporcionar mayores beneficios ambientales, sociales y paisajísticos a la comunidad universitaria.

Las acciones planteadas no sólo abordan la renovación y diversificación del arbolado, sino también la ampliación y mejora de las zonas verdes existentes, con criterios de sostenibilidad, adaptación climática y fomento de la biodiversidad. Además, se propone una planificación integral que contemple tanto la gestión ecológica del paisaje urbano como la creación de nuevos espacios verdes conectados entre sí, con el fin de reforzar la conectividad ecológica dentro del campus y con su entorno. Estas propuestas buscan, en última instancia, mejorar la calidad ambiental del campus, promover el bienestar de sus usuarios y consolidarlo como un ejemplo de espacio universitario verde, sostenible y resiliente.

5.2.1. Reforestaciones (Fichas OB-12, OB-24³ y OB-26)

El estudio realizado de usos de suelo del campus mostraba una cifra del 20,09% de superficie arbolada que ha ido disminuyendo progresivamente en los últimos años. Según el índice 3-30-300, para maximizar los efectos positivos sobre la salud de la comunidad universitaria, se debe poner como objetivo alcanzar una superficie

³ Código de la actuación incluida en la ficha (Volumen I)

arbolado correspondiente al 30%. La superficie arbolada puede ser compatible con otros usos, tal y como aparece en las propuestas de intervención sobre las zonas de aparcamiento o en la propuesta de la zona forestal sur que incluye viario y zonas estanciales. En este caso se proponen reforestaciones con un objetivo de renaturalización y de aumento y refugio de biodiversidad.

Se propone actuar sobre dos áreas concretas para recuperar la cobertura arbórea perdida:

- Zona Sur: banda longitudinal sur en los terrenos del INSIA y zonas sur y este en los terrenos del Polideportivo
- Zona Norte: conexión con eje naturalizado de la Calle de Alan Turing y la franja barrera con los ejes viarios de las carreteras limítrofes.

Los objetivos que se persiguen conseguir con esta actuación son los siguientes:

- Aumento de la superficie arbolada
- Aumento de biodiversidad y zonas de refugio de fauna
- Regulación térmica
- Protección frente a la erosión
- Regulación de escorrentía

Se hacen las siguientes recomendaciones para la ejecución de las plantaciones:

- Desbrozado parcial previo si fuera necesario
- La época de plantación debe ser entre octubre y diciembre, y requiere una gestión diferenciada según especies, entre las especies recomendadas, el género *Celtis*, más resistente a la sequía puede requerir un riego de establecimiento, pero un aporte más moderado a partir de los diez años. El género *Carpinus*, algo más delicado hídricamente, requiere también de cierta protección contra vientos secos y aporte de materia orgánica en suelos pobres. En ambos casos se sugiere una monitorización que evalúe su tasa de supervivencia y salud foliar.
- Arbolado en tamaño forestal en alveolo
- Ahoyado con motoahoyadora o retroexcavadora en las zonas de fácil acceso.
- Aporte de sustrato enriquecido a mezclar con terreno (aporte del 30%)
- Empleo de protectores tubex, fijados con tutor de madera
- Uso de microcuenca o alcorque para recogida del agua de lluvia y mejora de la infiltración de los riegos de mantenimiento
- Riego de asentamiento inmediatamente posterior a la plantación
- Riegos de mantenimiento durante el periodo estival hasta 3 años posteriores
- Reposición de marras si fuera necesario

Los criterios de selección de especies según el tipo de reforestación son los siguientes:

1) Reforestaciones con carácter forestal con metodología de restauración de cobertura vegetal autóctona

La selección se basa en especies propias de bosques y matorrales mediterráneos, priorizando la resiliencia climática, la mejora de la biodiversidad y la baja demanda hídrica.

El estrato arbóreo estará dominado por la encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota*), especie clave de los encinares manchegos, que destaca por su resistencia a la sequía, su longevidad y su capacidad de

generar sombra densa y fresca gracias a su copa perenne. Como acompañantes se introducen otras especies forestales autóctonas: la coscoja (*Quercus coccifera*), de porte arbustivo y gran rusticidad; el pino piñonero (*Pinus pinea*) y el pino carrasco (*Pinus halepensis*), coníferas mediterráneas que aportan sombra permanente y refugio para la fauna, especialmente en suelos pobres o degradados; el enebro (*Juniperus oxycedrus*), que contribuye a la diversidad estructural del bosque y a generar recursos para la avifauna.

Se propone un estrato arbustivo acompañante con especies como el espino albar (*Crataegus monogyna*), el aladierno (*Rhamnus alaternus*), el jazmín silvestre (*Jasminum fruticans*), o el lentisco (*Pistacia lentiscus*), que favorecen la biodiversidad, ofrecen alimento y refugio a la fauna y contribuyen a la creación de microclimas. El estrato herbáceo y subarbustivo incluye lavandas (*Lavandula latifolia*), tomillos (*Thymus vulgaris*), esparto (*Stipa tenacissima*) y otras gramíneas y compuestas autóctonas (ej. *Stahelina*, *Helichrisum*), que mejoran la infiltración del agua y la estabilidad del suelo.

La plantación se diseña de manera densa y en mezcla, siguiendo técnicas inspiradas en modelos de restauración ecológica.

2) **Reforestaciones en zonas de aparcamiento en intervenciones de aumento de la permeabilidad y renaturalización**

Se propone una plantación combinada de dos especies caducifolias: *Celtis australis* (almez) y *Carpinus betulus* (carpe) en un marco de plantación de 6-8 m entre individuos, con alcorques de 2x2 m para garantizar un desarrollo radicular. El alcorque se puede adaptar con pavimentos o soluciones constructivas compatibles con el aparcamiento.

Lista de especies a utilizar:

- *Celtis australis* constituye la especie principal de esta actuación debido a su excepcional adaptación a las condiciones mediterráneas urbanas y su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos múltiples. Esta especie, conforma a medio plazo un árbol caducifolio de porte grande con características ventajosas. En lo relativo a su resistencia climática y edáfica, es una especie adaptada a sustratos relativamente pobres, ricos en carbonatos, muestra tolerancia a sequías prolongadas y contaminación atmosférica. Desarrolla un sistema radical profundo. Su copa densa reduce la temperatura superficial (entre 2 y 9°C en verano, mitigando el efecto isla de calor). Un ejemplar adulto medio puede almacenar alrededor de 36,5 kg de carbono y secuestrar 2,8 kg anuales. Respecto a los servicios relacionados con la mejora en la biodiversidad, genera Sus frutos (drupas negras) proporcionan alimento a diversas aves (por ejemplo, Túrdidos y Colúmbidos). Se trata de una especie resistente a plagas en entornos urbanos, que no requiere un alto mantenimiento (intervenciones reducidas en podas) y reduce costos de riego una vez establecido. Su longevidad, relativamente alta (mayor a 100 años en condiciones óptimas) garantiza la permanencia de la inversión.
- Junto al almez, se propone *Carpinus betulus* como especie complementaria en la plantación, de manera alternada debido a sus características distintivas que enriquecen la diversidad estructural y funcional del ecosistema forestal en desarrollo:
En lo que respecta a su resistencia climática y edáfica, la especie tolera heladas extremas (-20°C) y complementando la resistencia de *Celtis* a condiciones secas. Su sistema radicular es más superficial y su crecimiento más lento. En cuanto a servicios ecosistémicos de interés, contribuye paisajística y funcionalmente con una estructura de copa diferenciada (más piramidal en

ejemplares juveniles a irregular en adultos). Florece en abril-mayo (amentos masculinos) y fructifica en otoño (sámaras en racimos), ofreciendo recursos temporales que limitan los vacíos ecológicos de una sola especie en la provisión de servicios.

3) **Plantaciones con arbolado y carácter más ornamental en zonas perimetrales ajardinadas**

El diseño integraría árboles caducifolios, resistentes, acompañado de arbustos perennifolios y caducifolios en los tratamientos perimetrales, optimizando la funcionalidad vehicular y los servicios ecosistémicos. Todas las especies seleccionadas presentan tolerancia a suelos carbonatados, bajos requerimientos hídricos y compatibilidad con entornos urbanos.

Las especies a utilizar incluirían:

- *Celtis australis* (Almez)
Árbol caducifolio de porte elevado (15-20 m) con sistema radicular profundo que evita daños en pavimentos. Tolera suelos compactados, pH alcalino (7.5-8.5) y contaminación atmosférica. Proporciona sombra densa (reducción de 4-6°C en verano) y genera frutos que no son a priori problemáticos en pavimentos.
- *Morus alba* 'Fruitless' (Morera sin fruto)
Variedad estéril que evita el posible disservicio de frutos en zonas de aparcamiento. Crece hasta 12-15 m, con copa amplia (diámetro 10-12 m). Resistente a suelos arcillosos y sequías moderadas. Ideal para áreas de estacionamiento por su sombra densa y homogénea.

En plantaciones perimetrales:

- *Broussonetia papyrifera* (Morera del papel)
Árbol de crecimiento rápido también con tolerancia a suelos pobres y compactados. Requiere poda de formación para evitar ramas frágiles. Evitar ejemplares femeninos en zonas pavimentadas por caída de frutos.
- *Ginkgo biloba* (Clones masculinos)
Especie singular (gimnosperma caducifolia) también resistente a plagas y contaminación en entornos urbanos. Soporta suelos básicos y alcanza en Madrid una altura máxima moderada 15-20 m, se propondría un uso en pequeños bosquetes o como árbol aislado

Como especies complementarias, es posible combinar elementos de alto contraste paisajístico, que aporten estacionalidad otoñal. Por ejemplo, se proponen:

- *Liquidambar styraciflua* (Liquidámbar)
Árbol caducifolio de talla más pequeña, con coloración otoñal intensa. Tolera suelos arcillosos y pH neutro a ligeramente alcalino. Requiere alcorques profundos (1.5 m) para evitar levantamientos.
- *Acer x freemanii* 'Autumn Blaze'
Híbrido de rápido crecimiento adaptable a condiciones urbanas. Proporciona sombra filtrada y resistencia a vientos fuertes. Altura máxima limitada, también apta para bordes de aparcamientos.
- *Albizia julibrissin* (Acacia de Constantinopla)
Árbol caducifolio de pequeña talla, con floración estival atractiva. Fija nitrógeno en suelos pobres y tolera sequías prolongadas. Convendría ubicarlo en las zonas protegidas y soleadas, pues es sensible a heladas frecuentes de temperaturas menores a < -10°C.

En lo que respecta al estrato arbustivo, podrían tomarse como ejemplos las siguientes especies:

- *Viburnum tinus* (Durillo): Arbusto de 2-3 m con floración al final del invierno, principio de primavera. Tolera suelos calcáreos y sombra parcial. Requiere riego solo en establecimiento.
- *Rosmarinus officinalis* (= *Salvia rosmarinus*, romero): Especie autóctona mediterránea, aromática y resistente a suelos callizos, con floración durante todo el año. Densifica setos sin requerir podas frecuentes, necesita zonas bien iluminadas

Los parámetros Técnicos de Implementación son los siguientes:

- Distancia entre árboles: 6-8 m (*Celtis*, *Morus*) / 4-5 m (*Albizia*, *Acer*)
- Profundidad de alcorque, 1.2-1.5 m con suelos estructurales (70% grava + 30% tierra)
- Mantenimiento hídrico, con riego de establecimiento: 20 L/semana primeros años
- Necesarios el control fitosanitario, una poda formativa en invierno y evitar especies femeninas en *Broussonetia*

5.2.2. Zona estancial forestal (Ficha OB13)

Este área es una zona que está totalmente desprovista de vegetación o de cualquier otro elemento de sombreado. Por ello, se presenta como una de las zonas con mayor severidad climática y con mayor incidencia de radiación solar. Mostrando, además, características propias de un suelo urbano no acondicionado, por lo que, a pesar de ser un espacio con un gran potencial de uso, en su situación actual no reúne los requisitos para ser un espacio exterior confortable.

Por todo ello, se propone una zona de servicio que pueda ser utilizada tanto por la comunidad universitaria como por los vecinos de la zona, dada su localización, próxima a la entrada suroeste al Campus, a la nueva residencia de estudiantes y a extenderse de manera paralela al camino peatonal y senda ciclista del eje este-oeste. Se crearía de esta manera un refugio climático como espacio accesible que proteja frente a las altas temperaturas del verano.

La vegetación planteada acompaña al viario y a las zonas de descanso, dando sombra con arbolado en baja densidad y creando una franja perimetral más densa que combine arbolado y especies arbustivas que aisle del límite sur con la gasolinera.

Los objetivos que se persiguen conseguir con esta actuación son los siguientes:

- Creación de refugio climático
- Incorporación de mobiliario urbano para promover zonas estanciales: bancos, puntos de hidratación
- Aumento de la superficie arbolada. De manera transitoria, hasta que el arbolado presente un porte suficiente para proteger debidamente de la radiación solar, se podrá disponer de otros elementos de protección solar temporales.
- Instalación de elementos de protección solar tales como pérgolas vegetadas o toldos velas
- Aumento de biodiversidad y zonas de refugio de fauna
- Regulación térmica
- Protección frente a la erosión
- Regulación de escorrentía

La actuación consiste en la plantación forestal de especies autóctonas adaptadas a las condiciones mediterráneas del sureste de Madrid. El objetivo es generar un espacio arbolado que proporcione sombra y frescor durante los meses más cálidos, manteniendo una funcionalidad semejante a la naturaleza que cabría

esperar en ese enclave. La selección se basa en especies propias de bosques y matorrales mediterráneos, priorizando la resiliencia climática, la mejora de la biodiversidad y la baja demanda hídrica.

El estrato arbóreo estará dominado por la encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota*), especie clave de los encinares manchegos, que destaca por su resistencia a la sequía, su longevidad y su capacidad de generar sombra densa y fresca gracias a su copa perenne. Como acompañantes se introducen otras especies forestales autóctonas: la coscoja (*Quercus coccifera*), de porte arbustivo y gran rusticidad; el pino piñonero (*Pinus pinea*) y el pino carrasco (*Pinus halepensis*), coníferas mediterráneas que aportan sombra permanente y refugio para la fauna, especialmente en suelos pobres o degradados; el enebro (*Juniperus oxycedrus*), que contribuye a la diversidad estructural del bosque y a generar recursos para la avifauna.

Se propone un estrato arbustivo acompañante con especies como el espino albar (*Crataegus monogyna*), el aladierno (*Rhamnus alaternus*), el jazmín silvestre (*Jasminum fruticans*), o el lentisco (*Pistacia lentiscus*), que favorecen la biodiversidad, ofrecen alimento y refugio a la fauna y contribuyen a la creación de microclimas. El estrato herbáceo y subarbustivo incluye lavandas (*Lavandula latifolia*), tomillos (*Thymus vulgaris*), esparto (*Stipa tenacissima*) y otras gramíneas y compuestas autóctonas (ej. *Stahelina*, *Helichrisum*), que mejoran la infiltración del agua y la estabilidad del suelo.

La plantación se diseña de manera densa y en mezcla, siguiendo técnicas inspiradas en modelos de restauración ecológica y bosques urbanos nativos, para acelerar la formación de un microclima interno, reducir la temperatura ambiente y aumentar la resiliencia frente a olas de calor. Se prioriza la utilización de planta local y la mejora previa del suelo mediante la eliminación de posibles especies invasoras o adventicias, el subsolado y la incorporación de materia orgánica. El mantenimiento inicial contempla riegos de apoyo durante los primeros veranos y control de la competencia herbácea, favoreciendo la autonomía del bosque a medio plazo. Esta actuación contribuye a la restauración de la vegetación natural de la región, mejora la conectividad ecológica y proporciona un espacio natural de alto valor social, educativo y ambiental

Para promover y generar espacios estanciales próximos al edificio de residencia estudiantil, se contempla suplir este espacio con mobiliario propicio para las estancias temporales (p. Ej., bancos, mesas para poder comer en el exterior), incorporando además puntos de hidratación. Para asegurar que estas zonas queden debidamente sombreadas, en caso de que el arbolado plantado esté en período de crecimiento y aún no pueda ofrecer una buena sombra, se podrán instalar pérgolas vegetadas o toldos vela como medida provisoria.

Se hacen las siguientes recomendaciones para la ejecución de las plantaciones:

- Desbrozado parcial previo si fuera necesario
- Plantación ejecutada entre octubre y diciembre y siempre posterior al movimiento de tierras y obra civil.
- Plantación de arbolado de calibre 8-10 cm
- Aporte de sustrato enriquecido a mezclar con terreno (aporte del 30%)
- Instalación de tutores y arpillera para la protección del tronco
- Instalación de tubo perforado en material biodegradable para el riego en profundidad del cepellón en los árboles
- Riego manual con cuba de asentamiento inmediatamente posterior a la plantación
- Riegos de mantenimiento durante el periodo estival hasta 3 años posteriores
- A medio plazo eliminación o reducción del riego drásticamente, naturalización de los individuos muertos (no retirarlos) como refugio de fauna, recreando un ambiente renaturalizado

- Reposición de marras si fuera necesario

5.2.3. Actuaciones en bosque sur de coníferas (Ficha GM07)

El bosque situado al sur del edificio del Centro Superior de Diseño de Moda de Madrid (CSDMM) es una de las zonas arboladas con arbolado maduro del campus y que presenta una elevada intensidad de uso por parte del alumnado de la universidad y centros educativos cercanos. La zona está dominada por gimnospermas perennifolias (fundamentalmente *Cupressus*, *Cedrus* sp), que generan una zona de sombra bajo sus copas. Si bien en verano es una situación deseable, durante el invierno la zona no es óptima para un uso estancial, pues bajo la sombra el lugar es más frío y oscuro. Además, las copas dan sombra sobre las fachadas, disminuyendo la inercia térmica que pudiese coger el edificio gracias a la radiación solar, así como la luz entrante en el edificio, resultando en un aumento en el consumo energético de calefacción y de iluminación. Siendo una zona de uso por parte de la comunidad universitaria, se detecta la necesidad de contribuir a que pueda ser utilizado también en días de invierno.

Se propone la sustitución progresiva del arbolado por especies de hoja caduca adecuadas a la orientación y uso de la zona, empezando por la retirada de los ejemplares detectados en mal estado y plantando en las zonas abiertas.

Los objetivos que se tratan de conseguir con esta actuación son los siguientes:

- Mejora del confort climático
- Ampliación del periodo de uso
- Mejora del impacto energético sobre los edificios colindantes.

Se irán cambiando los árboles de la zona, conforme se vaya necesitando a fin de que las especies principales sean caducifolias.

El listado de especies a ir incorporando son las siguientes:

- *Liriodendron tulipifera* es un árbol caducifolio de crecimiento rápido y porte elevado, capaz de alcanzar una talla media. Se adapta bien a climas templados y soporta temperaturas invernales bajas, lo que permite su integración en el clima continental de Madrid. Dado que prefiere suelos profundos, frescos y bien drenados, podría prosperar en la zona de arbolado ya implantado. Al ser caducifolio, mantiene una copa que proporciona una sombra densa y de gran calidad, lo que contribuye a reducir la temperatura superficial en verano y crear espacios frescos y confortables. Además, su floración llamativa en primavera-verano atrae polinizadores y aporta un valor ornamental destacado. En términos de servicios ecosistémicos, *Liriodendron tulipifera* presenta una elevada capacidad de captura de carbono en biomasa madura, superando a otras especies mediterráneas de porte similar, y contribuye a la mejora de la calidad del aire urbano.
- *Koelreuteria paniculata* es otro árbol caducifolio de tamaño medio, con una altura habitual más baja (hasta 15 metros) y copa amplia e irregular. Destaca por su elevada resistencia a la sequía, tolerancia a suelos pobres, compactados y calcáreos, y su capacidad para prosperar en condiciones urbanas adversas, incluidas zonas con alta radiación solar y contaminación atmosférica. La floración estival en panículas amarillas y la coloración y fructificación otoñal (sus frutos en cápsulas decorativas originan su nombre vulgar, como árbol de los farolillos, y generan interés visual durante gran parte del año, favoreciendo el uso social del espacio). Además, *Koelreuteria paniculata* requiere poco mantenimiento

y presenta buena resistencia a plagas y enfermedades habituales en el arbolado urbano, lo que reduce los costes de gestión y reposición.

- *Melia azedarach*, es otra alternativa dentro de las especies caducifolias de porte medio (hasta 15 metros de altura). También es adaptable a suelos alcalinos y ambientes urbanos con alta radiación solar, mostrando una tolerancia notable a la contaminación atmosférica y a la sequía. Su copa globosa proporciona sombra amplia y homogénea, ideal para zonas estanciales y de descanso. Una llamativa floración primaveral (en rosa) y la fructificación invernal (en amarillo) aportan textura y atractivo ornamental, así como recursos para la fauna urbana, especialmente aves. Es importante tener en cuenta que los frutos son tóxicos para humanos, e incómodos al caer sobre los pavimentos para el tránsito de bicicletas, por lo que se recomienda su uso en zonas donde no haya ni riesgo de ingestión accidental ni tránsito de bicicletas

La combinación de estas especies permite mejorar el uso de estos refugios climáticos de entornos urbanos, gracias a la complementariedad de sus características: deja pasar la luz en los momentos fríos y oscuros del año, genera sombra de calidad, cuenta con tolerancia a condiciones adversas, es de bajo mantenimiento, provee de valor ornamental y contribuye a la biodiversidad y a la mejora ambiental. Su uso diversifica el arbolado, reduce la vulnerabilidad frente a plagas y enfermedades, y optimiza los servicios ecosistémicos en estos espacios públicos urbanos.

5.2.4. Actuaciones sobre el arbolado y plan de gestión (fichaEST-04)

El inventario realizado ha permitido registrar un total de **1.272 árboles** en el Campus Sur, recogiendo ocho variables clave por ejemplar. Este análisis ha evidenciado varios aspectos críticos para la gestión del arbolado. Entre ellos, el estudio preliminar de riesgo muestra que **228 árboles presentan un estado crítico**, de los cuales **50 requieren intervenciones urgentes** y otros **170 necesitan seguimiento a corto plazo**.

Estos datos confirman la necesidad de implementar una gestión más activa y preventiva del arbolado, basada en una planificación a largo plazo, que garantice tanto la seguridad como la continuidad de los beneficios ambientales del bosque urbano del campus.

Las actuaciones propuestas tienen como finalidad principal **mejorar la sostenibilidad, resiliencia y funcionalidad del arbolado y las zonas verdes del Campus Sur**. Los objetivos específicos son:

- **Incrementar la diversidad de especies**, priorizando aquellas bien adaptadas al entorno local y reduciendo la plantación de especies sobrerrepresentadas, para mejorar la resiliencia ecológica y los servicios ecosistémicos.
- **Rejuvenecer la población arbórea**, promoviendo plantaciones escalonadas que aseguren un relevo generacional continuo y mantengan un equilibrio entre árboles jóvenes, maduros y de gran porte.
- **Reducir el riesgo asociado al arbolado**, mediante intervenciones urgentes en ejemplares críticos y la implementación de un sistema de evaluación y mantenimiento periódico que garantice la seguridad en todo el campus.
- **Desarrollar un Plan Director de Arbolado**, que organice las actuaciones a corto, medio y largo plazo, optimizando los recursos disponibles y maximizando los beneficios ambientales y sociales.

- **Integrar la gestión del arbolado en las estrategias de adaptación climática**, aumentando la cobertura verde y mejorando el confort térmico del campus.
- **Formar al personal de mantenimiento** en nuevas prácticas de plantación, poda, control de plagas, seguimiento de riesgos y técnicas de gestión adaptativa, asegurando la correcta aplicación del plan director.

Este enfoque estratégico permitirá consolidar un arbolado más diverso, seguro y saludable, que contribuya activamente a la calidad de vida del campus y a la lucha contra el cambio climático.

Las actuaciones propuestas se dividen en tres bloques principales, que abordan tanto las necesidades urgentes como la planificación a largo plazo y la capacitación del personal:

1. Actuaciones urgentes de gestión del arbolado

Dada la identificación de ejemplares en estado crítico, es prioritario acometer intervenciones inmediatas para garantizar la seguridad del campus. Estas actuaciones incluyen:

- **Poda de saneamiento o reducción** en árboles con ramas rotas, colgadas o con riesgo de fractura.
- **Tala controlada** de ejemplares muertos o moribundos que representen un riesgo inminente.

2. Elaboración del Plan Director de Arbolado

Como medida fundamental vertebradora, se propone la **redacción de un Plan Director de Arbolado** que defina la estrategia global de gestión del arbolado y zonas verdes del Campus Sur, con una visión a corto, medio y largo plazo. Este plan deberá abordar:

- Diversificación y rejuvenecimiento del arbolado.
- Programas de plantación escalonada.
- Mantenimiento preventivo y control de riesgos.
- Maximización de los servicios ecosistémicos.
- Integración en los planes de adaptación climática de la UPM.

Para su elaboración, se deberá contemplar la participación de técnicos especializados en gestión de infraestructuras verdes urbanas. Además, se recomienda la creación o designación de un **puesto técnico específico dentro de la UPM** para el seguimiento, coordinación y actualización del plan director. Esta persona deberá contar con **formación y experiencia en arboricultura urbana, gestión del paisaje y planificación verde**.

3. Formación y capacitación del personal de mantenimiento

La aplicación efectiva del plan director requiere un cambio en los enfoques tradicionales de gestión del arbolado, que deberá basarse en los nuevos estándares europeos de arboricultura. Por ello, se propone que dentro del plan director se incluya el diseño de un **programa formativo específico** para el personal de mantenimiento de zonas verdes del campus.

Este ciclo formativo deberá incluir contenidos sobre:

- Normas actuales de plantación y sustitución.
- Técnicas de poda correctiva y de conservación.
- Control de plagas y enfermedades.
- Evaluación del riesgo estructural del arbolado.

- Buenas prácticas de conservación ecológica y fomento de la biodiversidad. El objetivo es que el personal pueda aplicar de forma autónoma y eficaz los nuevos criterios de mantenimiento, con un enfoque adaptativo y preventivo, alineado con los objetivos de sostenibilidad y seguridad del campus.

5.2.5. Intervenciones para mejora de la biodiversidad (ficha GM-08)

La expansión urbana y la transformación intensiva del paisaje han generado una notable reducción de los hábitats naturales y una fragmentación de los ecosistemas, lo que dificulta la supervivencia y la movilidad de numerosas especies de fauna y flora autóctonas. Esta pérdida de biodiversidad urbana y periurbana plantea la necesidad de mejorar la calidad ambiental de los espacios verdes, facilitar la conectividad ecológica y proporcionar recursos suficientes para la alimentación, el refugio y la reproducción de distintas especies de flora y fauna. Intervenciones específicas pueden mitigar el deterioro - importante en ecosistemas urbanos- de varios servicios ecosistémicos esenciales como la polinización, el control biológico de plagas y la regulación climática.

Los objetivos principales de esta actuación se centran en incrementar la biodiversidad local a una escala diferente del arbolado, promoviendo la conservación y mejora de las poblaciones de aves y quirópteros (murciélagos), la presencia y la funcionalidad de especies clave para la polinización, el control biológico de plagas y la conectividad ecológica (véase Ilustración 42). Se busca también minimizar el uso de productos fitosanitarios, priorizando el empleo de tratamientos alternativos como la lucha biológica, que resultan más respetuosos con el entorno y la salud, tanto humana como de la fauna auxiliar. Además, se pretende fomentar la naturalización de ciertos espacios verdes, mejorar la resiliencia de los ecosistemas urbanos y periurbanos, y sensibilizar a la ciudadanía sobre la importancia de adoptar prácticas de gestión sostenible y responsable.

La intervención parte de la necesidad de revertir la degradación y fragmentación de los hábitats naturales en el entorno urbano, así como de recuperar y potenciar la diversidad biológica en espacios que tradicionalmente han sido gestionados bajo criterios de funcionalidad, estética o bajo mantenimiento, pero sin prestar una atención suficiente a la preservación de la fauna y flora locales. En este sentido, la actuación se enmarca dentro de un enfoque integral que contempla la adaptación de la gestión de los espacios verdes a los ciclos naturales, la reducción de la presión sobre el medio y la puesta a disposición de nuevas oportunidades para la vida silvestre.

Un primer eje de la intervención consiste en la **naturalización progresiva de los espacios verdes existentes**. Esto implica modificar los patrones de mantenimiento tradicionales, permitiendo en determinados espacios la conservación de elementos clave de la vegetación autóctona y la creación de ambientes más heterogéneos, donde se alternen distintas tipologías de zonas verdes, como zonas de pradera, matorral bajo y arbolado. Esto favorece la diversificación de hábitats y la aparición de nichos ecológicos para diferentes especies. La gestión de estos espacios se realiza de manera selectiva, adaptando las actuaciones a las necesidades de cada área, pero teniendo como línea directora común el objetivo de disminuir labores de escarda o siega y optimizar el esfuerzo realizado en el mantenimiento por parte de los servicios de mantenimiento de zonas verdes.

La **conectividad ecológica** es otro pilar fundamental de la actuación propuesta. Se trabajan estrategias para mejorar los corredores que unen las zonas verdes principales presentes en Campus Sur, permitiendo el desplazamiento y la dispersión de especies, tanto de flora como de fauna. Esto incluye la creación de islas de biodiversidad y la integración de elementos naturales como setos, y árboles maduros, que actúan como puntos

de refugio y alimentación para insectos, aves y pequeños mamíferos. Se propone la implantación de estrategias de gestión diferenciada en las praderas. Un enfoque clave es **retrasar las siegas** (véase Ilustración 43) en áreas seleccionadas por un uso menos intensivo y menor tránsito, permitiendo que ciertas especies vegetales de interés completen su ciclo reproductivo mediante su floración y fructificación. Algunos grupos prioritarios lo constituyen las especies de la familia de las leguminosas con tréboles (*Trifolium* spp.) y vezas (*Vicia* spp.) o de las compuestas (géneros *Crepis*, *Chichorium*, *Centaurea*, *Silybum*, *Carduus*, *Scolymus*) cuyas flores proporcionan recursos tróficos esenciales para polinizadores y aves granívoras. Estas especies, además de mejorar la estructura del suelo mediante la fijación biológica de nitrógeno (en el caso de las leguminosas), actúan como nodos de biodiversidad al sostener redes de interacción entre insectos, aves y pequeños mamíferos.

La implantación de **hoteles de insectos** complementa estas medidas al ofrecer refugio y zonas de reproducción para especies auxiliares como *Himenoptera* (por ejemplo, abejas solitarias de géneros *Osmia*., *Megachile*, *Anthophora*), avispas (gen *Eumenes*), así como coleópteros (*Coccinellidae* o *Carabidae*). Estas estructuras, construidas con materiales naturales como cañas, troncos perforados y piñas, replican microhábitats críticos para insectos polinizadores y depredadores de plagas, potenciando el control biológico y la resiliencia ecológica. Su ubicación estratégica en bordes de praderas o cerca de zonas florales maximiza su eficacia, creando sinergias entre la vegetación no segada y los servicios ecosistémicos proporcionados por la fauna entomológica.



Ilustración 42. Ejemplo de intervención para favorecer el grupo de quirópteros a través de la colocación de cajas refugio para murciélagos.

La intervención también presta especial atención a la **reducción del uso de productos fitosanitarios y herbicidas**, priorizando métodos alternativos de control de plagas, como la lucha biológica y el fomento de la fauna auxiliar. Se promueve la presencia de otras especies beneficiosas, como murciélagos, que contribuyen al equilibrio ecológico y a la salud de los ecosistemas urbanos. Para ello, se implementan medidas que facilitan la presencia y reproducción de estos organismos, garantizando su supervivencia y funcionalidad dentro del entorno urbano.

En lo que respecta a la avifauna y los quirópteros, la actuación contempla la creación y conservación de hábitats adecuados para su alimentación, descanso y reproducción. Se favorecen estructuras vegetales variadas y estratificadas, se mantienen **árboles maduros** y se evitan las podas intensivas, permitiendo la formación de refugios naturales. Además, se instalan elementos específicos (ej. cajas para nidificación) que facilitan la nidificación y el refugio, siempre respetando los ciclos biológicos y las necesidades de las especies objetivo.

La participación ciudadana y la sensibilización ambiental forman parte esencial de la intervención. Se propone acompañar algunas de las actuaciones con **señalética** informativa, así como desarrollar programas de educación ambiental, y acciones de divulgación y/o voluntariado, con el objetivo de implicar a la población local en la conservación de la biodiversidad urbana y de fomentar una mayor conciencia sobre la importancia de los espacios verdes como refugios de vida silvestre. La **colaboración con asociaciones**, centros educativos de enseñanza media y otros agentes sociales permite ampliar el alcance de la actuación y consolidar una red de apoyo a la biodiversidad urbana.



Ilustración 43. La programación de las siegas permite la floración de las especies herbáceas que favorecen la actividad de los polarizadores.

La evaluación y el seguimiento continuo de los resultados son clave para asegurar la efectividad de la intervención. Se realizará un monitoreo periódico de las especies presentes, la evolución de los hábitats y la satisfacción ciudadana, lo que permite ajustar las actuaciones y mejorar la gestión de los espacios verdes. Por ejemplo, en el caso de los hoteles de insectos, una esperada proliferación de himenópteros puede suponer cierta interferencia con usuarios de espacios aledaños. La recopilación de datos científicos y la colaboración con expertos en biodiversidad urbana suponen una mejora en las expectativas de éxito de la actuación.

6. Referencias

Annerstedt van den Bosch, M., Mudu, P., Uscila, V., et al. 2016. Development of an urban green space indicator and the public health rationale. *Scandinavian Journal of Public Health* 44, 159-167.

Astell-Burt T, Feng X., 2019. Does sleep grow on trees? A longitudinal study to investigate potential prevention of insufficient sleep with different types of urban green space. *SSM*

Ayuntamiento de Madrid. 2021. Plan Especial de Protección del Cerro de Almodóvar: Documento Ambiental Estratégico.

Ayuntamiento de Madrid. Consultado en 06/2025 Portal Estadístico. Distritos en cifras (Información de Distritos) <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/El-Ayuntamiento/Estadistica/Distritos-en-cifras/Distritos-en-cifras-Informacion-de-Distritos-/?vgnextfmt=default&vgnextoid=74b33ece5284c310VgnVCM1000000b205a0aRCRD&vgnnextchannel=27002d05cb71b31-0VgnVCM1000000b205a0aRCRD>

Ayuntamiento de Madrid | Banco de datos de Madrid. Consultado en 06/2025 https://www.s.madrid.es/CSEBD_WBINTER/arbol.html

Baudet Mancheño, R., & Martínez Labarga, J. M. 2017. Aproximación al catálogo de plantas vasculares del Cerro de Almodóvar (Madrid) y a sus comunidades vegetales. *Dialnet*, 1-86.

Borrajo, J.M., Rastrollo, A., Nowak, D.J. & Morcillo, A. 2018 *Valor del bosque urbano de Madrid*. Ed. Ayuntamiento de Madrid, Madrid, España. 82 pp.

CESEFOR, 2013. FICHAS DE CAMPO ¿Cómo medir con DendroFlexómetro? [en línea], Disponible en: http://dendroflexometro.fora.es/documentos/medir_castellano.pdf.

Figuroa Clemente, M. E., & Figuroa Luque, E. 2021. Catálogo de árboles y arbustos recomendables para las diferentes zonas climáticas de Andalucía, aplicable al medio urbano. Dirección General del Ordenación del Territorio y Urbanismo.

FÖRA, 2019. DendroFlexómetro. Föra (forest technologies) [en línea]. [Consulta: 20 mayo 2025]. Disponible en: <http://dendroflexometro.fora.es/>.

Gómez Fernández, JR (2019), Catálogo de especies para el arbolado viario de la Ciudad de Madrid. Frondosas, Ayuntamiento de Madrid, Madrid, 2019.

Heisler GM. 1986. Energy savings with trees. *J Arboric* 12(5):113–125

Hirabayashi, S. 2014. i-Tree Canopy Air Pollutant Removal and Monetary Value Model Descriptions https://www.itreetools.org/documents/560/i-Tree_Canopy_Air_Pollutant_Removal_and_Monetary_Value_Model_Descriptions.pdf

Hirons, Andrew & Sjöman, Henrik. (2019). Tree species selection for green infrastructure - a guide for specifiers. Publisher: Trees and Design Action Group Trust ISBN: 978-0-9928686-4-2

Interagency Working Group on Social Cost of Carbon, 2015. Interagency Working Group on Social Cost of Carbon, Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis Under Executive Order 12866, July 2015. (Revised from May 2013)

Konijnendijk, C.; Macías Palomo, A. 2021. Promover la salud y el bienestar a través del bosque urbano, regla 3-30-300. La cultura del árbol. Asociación española de arboricultura. 90: 18-23

Murray, F.J.; Marsh, L.; Bradford, P.A. 1994. New York State energy plan, vol. II: Issue reports. Albany, NY: New York State Energy Office.

Nowak, D.J. 1994. Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest. In: McPherson, E.G.; Nowak, D.J.; Rowntree, R.A., eds. Chicago's urban forest ecosystem: results of the Chicago Urban Forest Climate Project. Gen. Tech. Rep. NE-186. Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station: 83-94.

Nowak, D. J. 2006. Institutionalizing urban forestry as a "biotechnology" to improve environmental quality. Urban Forestry & Urban Greening, 5, 93-100.

Nowak, D.J. and Crane, D.E. 2002. Carbon Storage and Sequestration by Urban Trees in the USA. Environmental Pollution, 116, 381-389.

Nowak, D.J. Understanding i-Tree: Summary of Programs and Methods GTR-NRS-200, Forest Service Northern Research Station General Technical Report NRS-200, 105 pp.

Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Bodine, A., Hoehn, R. 2013. Modeled PM_{2.5} removal by trees in ten U.S. cities and associated health effects. Environmental Pollution. 178: 395-402.

Nowak, D.J.; Hirabayashi, S.; Ellis, E.; Greenfield, E. 2014. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. Environmental Pollution 193: 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.05.028>

Nuñez-Borque E, Betancor D, Fernández-Bravo S, Gómez-Cardenosa A, Esteban V, Garrido-Arandia M, de Las Heras M, Pastor-Vargas C, Cuesta-Herranz J. Allergen Profile of London Plane Tree Pollen: Clinical and Molecular Pattern in Central Spain. J Investig Allergol Clin Immunol. 2022 Oct 11;32(5):367-374. doi: 10.18176/jiaci.0702.

PLANT-IT GEO, 2018. TreePlotter. [en línea]. [Consulta: 24 septiembre 2019]. Disponible en: <https://treeplotter.com/>.

Rahman, M.A., Moser, A., Rötzer, T. et al., 2019. Comparing the transpirational and shading effects of two contrasting urban tree species. Urban Ecosystems 22, 683–697.

Rodrigo Miguel, Aroha. 2019. Inventario, tipificación y bases para la ordenación de las zonas verdes de la Universidad Politécnica de Madrid para la cuantificación de la Contrahuella de Carbono. 2019.

Rogers, K., Sacre, K., Goodenough, J., Doick, K. 2015. Valuing London's Urban Forest: Results of the London i-Tree Eco Project. Treeconomics London, London, UK (84 pp)

Rugel, E.J., 2019. Connecting natural space exposure to mental health outcomes across Vancouver, Canada. PhD dissertation. The School of Population and Public Health, University of British Columbia, Vancouver.

Sánchez, Carmen & Núñez Peiró, Miguel & Neila, Javier. 2017. Urban Heat Island and Vulnerable Population. The Case of Madrid. En: Sustainable Development and Renovation in Architecture, Urbanism and Engineering. Springer Suiza

Terreros de la Peña, B. 2023. EConecta CampusSur: Estrategias para la revalorización paisajística del Campus Sur de la UPM. TFM. Universidad Politécnica de Madrid. <https://oa.upm.es/77048/>

Traverso, F., 2020. The best trees to reduce air pollution. BBC Future Planet, May 5th, 2020. <https://www.bbc.com/future/article/20200504-which-trees-reduce-air-pollution-best>

Velarde, M.D., Fry, G., Tveit, M. 2007. Health effects of viewing landscapes – Landscape types in environmental psychology. Urban Forestry & Urban Greening 6(4), 199-212.

WHO. 2016. Urban Green Spaces and Health: A review of evidence. World Health Organizations – Regional Office for Europe, Bonn.

Ziter, C.D., Pedersen, E.J., Kucharik, C.J., Turner, M.G., 2019. Scale-dependent interactions between tree canopy cover and impervious surfaces reduce daytime urban heat during summer. Proceedings of the National Academy of Sciences 116(15), 7575-7580.