



EFFECTOS EN LA CALIDAD DEL AIRE, REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN Y SALUD CIUDADANA

VALOR DEL BOSQUE URBANO DE MADRID



DIRECTOR DE PROYECTO

Antonio Morcillo San Juan
Ingeniero de Montes
Subdirector General de Conservación
de Zonas Verdes y Arbolado Urbano
del Ayuntamiento de Madrid

AUTORES

Juan Manuel Borrajo Millán
Ingeniero de Montes
DASOTEC

Ana Rastrollo Gonzalo
Ingeniero de Montes
DASOTEC

Francisco Javier Vaca Gómez
Ingeniero de Montes
DASOTEC

David J. Nowak
PhD, Senior Scientist
i-Tree Team Leader - USDA Forest
Service





AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseamos agradecer al Ayuntamiento de Madrid el esfuerzo realizado para que este estudio pudiera ver la luz. En todo momento se ha contado con el apoyo del Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad del Ayuntamiento, con especial referencia a

Inés Sabanés Nadal

Concejala del Ayuntamiento de Madrid.

Delegada del Área de Gobierno de Medioambiente y Movilidad

Nuria Bautista Carrascosa

Ingeniero de Montes.

Consejera Técnica del Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad

Beatriz García San Gabino

Ingeniero de Montes.

Directora General de Gestión del Agua y Zonas Verdes

Asimismo, deseamos agradecer a todas aquellas personas que han estado involucradas en estos trabajos y sin cuya colaboración y apoyo hubiera sido imposible su realización:

María Eugenia García Flores

Ingeniero de Montes.

Asesora Técnica. Subdirección General de Control de Calidad y Evaluación del Ayuntamiento de Madrid

José María Martínez Pelayo

Arquitecto.

DASOTEC

Ángel Sanz Izquierdo

Ingeniero Técnico Forestal.

DASOTEC

Robert E. Hoehn Forester

USDA Forest Service. Northern Research Station, Unit 5

Alexis Ellis

Research Urban Forester.
The Davey Tree Expert Company.
Davey Institute

David Ellingsworth

The Davey Tree Expert Company.
Davey Institute



Madrid es considerada como una de las ciudades del mundo que más árboles tiene en sus calles, con más de 5.000 calles arboladas. Esto supone más de la mitad de las existentes en la ciudad, a lo que se suman las más de 6.000 ha de parques y zonas verdes públicas de mantenimiento municipal.

SUMARIO

En la ciudad de Madrid crece y se desarrolla un bosque formado por millones de árboles, arbustos y herbáceas que forman, junto a los animales que lo habitan, el suelo, el aire y el río Manzanares, un ecosistema natural complejo que interacciona con la ciudad. Es el que se conoce como el **Bosque Urbano de Madrid**.

Este bosque forma parte de la infraestructura verde de Madrid; alcanza y comprende las zonas verdes, el arbolado viario y la biodiversidad de la ciudad. Como todo ecosistema natural, los beneficios ambientales que aporta a los ciudadanos son múltiples y de gran valor. No solo cuida y mejora la salud y bienestar de los madrileños y visitantes, sino que influye de manera positiva y directa en la calidad del aire, actúa como sumidero de carbono y partículas contaminantes, capta y retiene el agua de lluvia, regula el clima local, mitiga del efecto isla de calor, reduce el consumo de energía de la ciudad y por

tanto tiene un resultado inmediato en la lucha contra la contaminación y el cambio climático.

La comprensión de la estructura, función y valor del Bosque Urbano de Madrid está encaminada a promover decisiones de gestión que mejoren la salud humana y la calidad ambiental, así como a la reducción del esfuerzo económico de la ciudad en cuanto a consumo energético o infraestructuras de saneamiento de aguas pluviales. Las políticas, acciones y decisiones medioambientales estratégicas de las grandes ciudades como Madrid han de contemplar el papel del Bosque Urbano en los objetivos de reducción de emisiones contaminantes y estándares de calidad del aire, así como sus beneficios económicos asociados.

El Ayuntamiento de Madrid ha dedicado siempre un gran esfuerzo en la creación, mantenimiento y conservación de su patrimonio natural, así como en su conocimiento y estudio. En esta línea de actuación,

promueve el presente análisis para avanzar en el conocimiento del Bosque Urbano de Madrid, su composición y valoración tanto cuantitativa como económica de los beneficios o servicios ecosistémicos que ofrece a la ciudad. Se ha aplicado en este análisis el modelo i-Tree desarrollado por el Servicio Forestal de Estados Unidos (**USDA Forest Service**), que está siendo ampliamente utilizado en las principales ciudades de todo el mundo.

Madrid es considerada como una de las ciudades del mundo que más árboles tiene en sus calles, con más de 5.000 calles arboladas. Esto supone más de la mitad de las existentes en la ciudad, a lo que se suman las más de 6.000 ha de parques y zonas verdes públicas de mantenimiento municipal. Y no solo se atiende a la cantidad, sino a su calidad. Solo en las calles, son más de 200 especies distintas las que conforman esta red de arbolado viario, y ascienden a más de 500 si contemplamos las zonas verdes y parques de la ciudad.

Si pensamos en las cerca de 800 especies distintas de arbustos que acompañan a todos estos árboles en los parques públicos que gestiona el Ayuntamiento, las cerca de 1.600 ha de céspedes y praderas naturales, el ecosistema fluvial del río Manzanares a su paso por la Capital y las más de 200 especies distintas de aves y mamíferos inventariadas en la zona urbana, nos hacemos una idea de la gran biodiversidad y patrimonio natural que representa el Bosque Urbano de la Ciudad.

ESPECIES DISTINTAS DE ARBUSTOS EN ZONAS VERDES



ESPECIES ÁRBOLES DISTINTAS



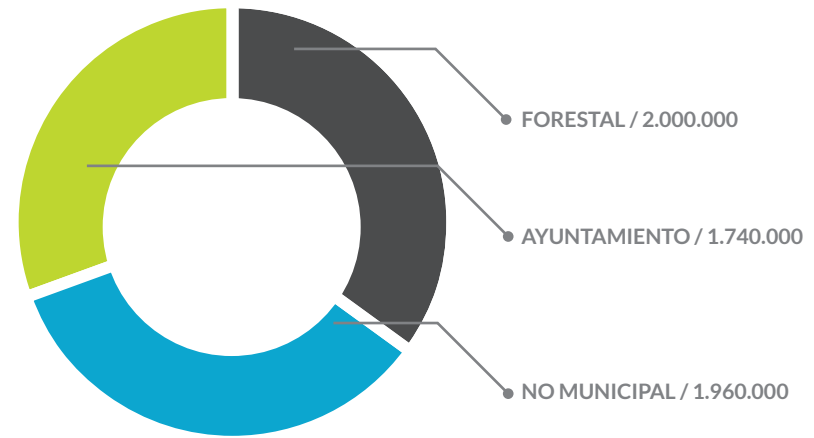
ESPECIES ANIMALES DISTINTAS



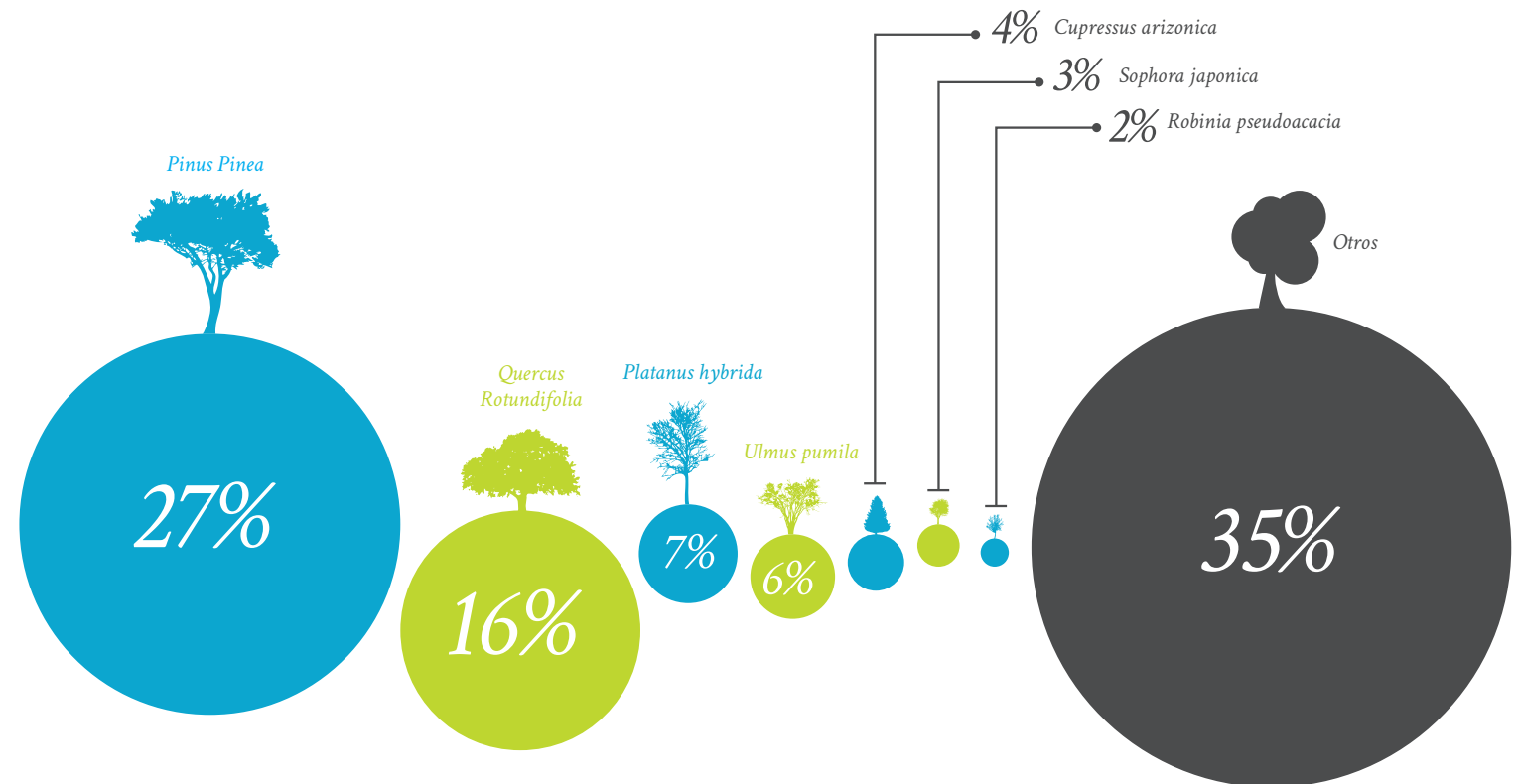
Pero el Bosque Urbano de Madrid no solo se compone de las zonas públicas que conserva el Ayuntamiento. Estas representan aproximadamente la mitad de la cobertura arbórea del núcleo urbano. Y a toda esta cobertura arbórea de la ciudad hay que añadir las zonas forestales que pertenecen a Madrid, tan importantes en su ecosistema. Teniendo en cuenta todo ello, se estima que el Bosque Urbano de Madrid lo integran una cantidad total aproximada de 5.700.000 árboles:

ÁRBOLES	
Zonas verdes y arbolado viario de Conservación Municipal	1.740.000
Zonas verdes no municipales	1.960.000
Zonas forestales	2.000.000
Total arbolado Madrid	5.700.000

Distribución del arbolado del Bosque Urbano de Madrid



DISTRIBUCIÓN POR ESPECIES DEL ARBOLADO DE CONSERVACIÓN MUNICIPAL DE MADRID



En este estudio se ha partido de los datos existentes del **arbolado de gestión municipal de la ciudad**, el Bosque Urbano público compuesto por las zonas verdes y arbolado viario que mantiene el Ayuntamiento de Madrid. A modo de resumen, estas son sus principales características.








PARÁMETRO		UNIDADES	%
Número total de árboles	Mantenimiento municipal	1.745.139	
Cobertura arbórea	Municipio de Madrid		26,0%
	Ciudad de Madrid		19,4%
Especies más comunes	<i>Pinus pinea</i>	472.183	27,1%
	<i>Quercus rotundifolia</i>	291.207	16,7%
	<i>Platanus hybrida</i>	126.266	7,2%
	<i>Ulmus pumila</i>	106.377	6,1%
	<i>Cupressus arizonica</i>	71.279	4,1%
	<i>Sophora japonica</i>	45.412	2,6%
	<i>Robinia pseudoacacia</i>	37.572	2,2%
	Otros	594.843	34,1%
Número de especies de árboles distintas		506	
Edad fenológica más abundante		Maduro	59,4%
Clase diamétrica más abundante	Parques y zonas verdes	30-60 cm	32,0%
	Arbolado viario	60-120 cm	33,0%
Altura más abundante	Parques y zonas verdes	5-10 m	41,1%
	Arbolado viario	5-10 m	49,0%
Arbusto más común	<i>Nerium olenader</i>		9,0%
Número de especies arbustivas distintas		781	



A partir del inventario de arbolado recogido en el GIS de Patrimonio Verde del Ayuntamiento de Madrid, se ha utilizado la herramienta **i-Tree Eco** para obtener el valor del Bosque Urbano de la Ciudad. Esto nos aporta una nueva visión y perspectiva en cuanto a su beneficio ambiental y económico. Asimismo, permite establecer nuevos criterios a la hora de fijar indicadores y acciones estratégicas para la gestión de la infraestructura verde de la ciudad, orientadas hacia la mejora de la calidad del aire, inversión en infraestructuras, diseño y gestión del bosque urbano y su biodiversidad, salud ciudadana y mejora de la calidad de vida de los madrileños y sus visitantes.








En la siguiente tabla se recogen los principales valores obtenidos en los distintos capítulos que conforman el estudio. Nos aporta una idea de la cantidad de contaminación captada por los árboles que habitan en **las calles y zonas de uso público que gestiona el Ayuntamiento de Madrid**, su efecto como sumidero de carbono, el ahorro en infraestructuras que supone la interceptación del agua de lluvia por la vegetación de la ciudad, así como la producción de oxígeno que mejora la calidad del aire que respiramos, el coste en incidencias médicas evitadas y el ahorro energético en edificios.

VALOR DEL ARBOLADO DE CONSERVACIÓN MUNICIPAL

	CAPTACIÓN DE CONTAMINACIÓN	206 ^{TN}	1.700.566€
	ALMACENAMIENTO DE CARBONO	143.972 ^{TN}	837.918€
	SECUESTRO DE CARBONO	8.922 ^{TN}	51.928€
	PRODUCCIÓN DE OXÍGENO	23.793 ^{TN}	
	ESCORRENTÍA EVITADA	249.172 ^{M3}	516.284€
	INCIDENCIAS MÉDICAS		4.548.969€
	AHORRO ENERGÉTICO EN EDIFICIOS		317.072€
TOTAL BENEFICIOS ANUALES			7.972.736€

Si extrapolamos estos resultados al total del Bosque Urbano de Madrid, obtenemos los beneficios ecosistémicos que aporta a la ciudad:

VALOR DEL BOSQUE URBANO DE MADRID

	CAPTACIÓN DE CONTAMINACIÓN	673 ^{TN}	5.560.851€
	ALMACENAMIENTO DE CARBONO	470.789 ^{TN}	2.739.993€
	SECUESTRO DE CARBONO	29.176 ^{TN}	169.803€
	PRODUCCIÓN DE OXÍGENO	77.802 ^{TN}	
	ESCORRENTÍA EVITADA	814.791 ^{M3}	1.688.247€
	INCIDENCIAS MÉDICAS		14.872.659€
	AHORRO ENERGÉTICO EN EDIFICIOS		674.622€
TOTAL BENEFICIOS ANUALES			25.706.175€



ÍNDICE

SUMARIO	04
INTRODUCCIÓN	12
EL BOSQUE URBANO DE MADRID	16
METODOLOGÍA	26
RESULTADOS/ANÁLISIS	29
ESTRUCTURA DEL BOSQUE URBANO	
01 COBERTURA ARBÓREA	29
02 ARBOLADO	31
03 ÁREA FOLIAR Y DOMINANCIA DE ESPECIES	37
SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	
01 REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN	41
02 COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES BIOGÉNICOS	46
03 SECUESTRO Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO	48
04 RELACIÓN CON EL USO ENERGÉTICO DE EDIFICIOS	53
05 INTERCEPCIÓN DE AGUA DE LLUVIA	55
06 SALUD PÚBLICA	58
EFFECTOS EQUIVALENTES	
01 ESTIMACIÓN COMPARATIVA DE EMISIONES	60
ANEJO 01 COMPARACIÓN CON OTROS BOSQUES URBANOS	62
ANEJO 02 LISTADO DE ESPECIES	64
ANEJO 03 NOTAS ACERCA DE LA METODOLOGÍA	76
BIBLIOGRAFÍA	81



INTRODUCCIÓN

Los bosques urbanos son la espina dorsal de la infraestructura verde que conecta las áreas urbanas a las rurales y mejora la huella ambiental de las ciudades. FAO 2017

La contaminación es a día de hoy uno de los principales problemas a los que se enfrentan las grandes ciudades, debido a las graves alteraciones de salud que pueden causar a sus habitantes. La ciudad de Madrid no es ajena a este hecho. Durante los últimos años se ha superado de forma puntual los niveles máximos de NO₂ recomendados por

la OMS y la legislación europea. Ello ha supuesto activar durante el otoño e invierno diferentes escenarios definidos en los Protocolos contra la Contaminación de la ciudad. Por ello se considera necesario estudiar y comprender todas las herramientas que puedan ayudar de algún modo a su control y reducción.

INFLUENCIA DE LA VEGETACIÓN SOBRE LAS CIUDADES



REDUCCIÓN DE
CONSUMO ENERGÉTICO



REDUCCIÓN AGUA
DE ESCORRENTÍA



CALIDAD DEL
AIRE



REGULACIÓN DE
TEMPERATURA



FLUJO
CO2



RETENCIÓN
DE SUELOS

Entre estas herramientas hay que considerar la vegetación que crece y se desarrolla en Madrid y que forma parte de su Bosque Urbano. Esta vegetación juega un papel básico y fundamental en la mejora de la calidad de vida en la ciudad. Se ha demostrado en numerosos estudios de ámbito internacional que su presencia ofrece múltiples efectos beneficiosos, como la purificación del aire, regulación del clima, reducción de ruidos, retención de agua y control de la erosión, entre otros.

La vegetación tiene una influencia directa en la calidad del aire de las ciudades, al ejercer como sumidero de gases y poseer una gran capacidad de captación de partículas

contaminantes. Al mismo tiempo y debido a sus propiedades como regulador climático, la presencia de vegetación disminuye el consumo de energía y por lo tanto la emisión de partículas contaminantes, jugando así un papel crucial en la lucha contra la contaminación atmosférica y el cambio climático.

Por todo ello, la adecuada gestión del Bosque Urbano puede constituirse como una estrategia muy rentable para el control de la contaminación atmosférica. El análisis de la estructura del Bosque Urbano, las funciones desarrolladas actualmente por el mismo y su valor económico equivalente se muestran imprescindibles de cara al mejor

conocimiento de los efectos del Bosque Urbano sobre la ciudad y sus servicios ecosistémicos.

A su vez, es muy importante modificar la imagen que de la infraestructura verde se ha venido habitualmente percibiendo en los entornos urbanos. Hasta hace relativamente poco tiempo, se apreciaba exclusivamente el valor estético y ornamental del arbolado, los arbustos y praderas de nuestras zonas verdes. De forma general, el resto de beneficios pasaban desapercibidos o eran infravalorados al no ser evaluados en términos económicos.

Gracias a la modelización internacional alcanzada por el **Proyecto i-Tree**, se obtiene un grado de conocimiento del Bosque Urbano que permite interpretar y calcular los beneficios que ofrece a la ciudadanía de una manera cuantitativa. De esta manera se permite concienciar a la opinión pública y a los diferentes organismos administrativos de la importancia de la gestión adecuada de este patrimonio natural en la mejora de la calidad de vida de los habitantes y visitantes de la ciudad.

EL BENEFICIO DE LOS ÁRBOLES

ATENUACIÓN DEL AGUA DE TORMENTA

Interceptan el agua de lluvia, reducen el volumen de agua de escorrentía y distribuyen en el tiempo sus efectos.

SOMBRA Y REFRIGERACIÓN

Proporcionan sombra, reducen las temperaturas estivales por la evapotranspiración foliar, reducen el efecto térmico de la isla de calor.

HÁBITOS SOCIALES

Proporcionan beneficios sociales, punto de encuentro, recreo y juego, mejoran el bienestar psicológico y reducen los índices de violencia.

MEJORA EN LA CALIDAD DEL AIRE

Reducen la contaminación, captando partículas contaminantes, produciendo oxígeno y absorbiendo CO₂.

ESTÉTICA

Incrementan objetivamente el valor estético de las ciudades, tanto los viejos árboles de los parques históricos de Madrid como las nuevas plantaciones en recientes desarrollos.

BIODIVERSIDAD Y HABITAT

Incrementan la biodiversidad de las ciudades, como lugares de hospedaje de aves, insectos, mamíferos y otros tipos de seres vivos, líquenes, musgos, hongos.



AHORRO DE ENERGÍA

Reducen el uso de calefacciones en otoño e invierno y aire acondicionado en primavera-verano.

ALIMENTO Y REFUGIO PARA LA BIODIVERSIDAD

Sus frutos, hojas, ramillas y tronco son alimento y refugio para la gran biodiversidad de Madrid.

ALMACENAMIENTO DE CARBONO

Suponen una gran reserva de carbono al formar parte de sus tejidos, obtenido de la absorción de CO₂, gas de efecto invernadero.

VALOR DE LA PROPIEDAD

Las viviendas próximas a zonas verdes o arbolado incrementan notablemente su precio.

PANTALLA DE PAISAJE

Permiten disimular o reducir las vistas y ruidos no deseables en algunos puntos de la ciudad, como vías de alta ocupación, fábricas, ...

ASISTENCIA MÉDICA

Reduce los efectos nocivos de la contaminación sobre la población y las incidencias médicas derivadas de ella, reduce el estrés e incrementa el bienestar físico.





EL BOSQUE URBANO DE MADRID

El bosque urbano de Madrid lo forman la vegetación, animales, aire y agua que convive con la ciudad. Con 5.700.000 árboles y un 26% de cobertura arbórea, es uno de los más extensos de las grandes capitales del mundo.

Al hablar del **Bosque Urbano de Madrid**, nos referimos al conjunto del ecosistema que habita en nuestra ciudad. Consideramos incluido en este complejo sistema toda la naturaleza que ocupa la ciudad, tanto los organismos vivos como el medio físico en el que se relacionan. Así, los millones de árboles, arbustos, céspedes y praderas naturales, hongos y líquenes, los animales, el suelo, el río Manzanares y el aire que respiramos, todo ello forma parte del Bosque Urbano de Madrid.

No podemos olvidar, por tanto, a sus ciudadanos, que forman parte del medio y se relacionan directamente con él. El cuidado y mejora del ecosistema urbano que comparte

espacio con la infraestructura gris, no solo es un deber con la naturaleza que nos rodea sino que posee implícita la mejora de nuestra calidad de vida. Es por ello que el estudio, caracterización, cuantificación y gestión del bosque urbano de las ciudades se hace imprescindible, ya que se traduce de forma directa en multitud de efectos ecosistémicos ventajosos para sus habitantes y visitantes.

Madrid cuenta con un inventario detallado de todas las zonas verdes, los árboles, arbustos y praderas que mantiene el Ayuntamiento de la Capital. Este inventario se recoge en un Sistema de Información Geográfica de Patrimonio Verde que se actualiza permanentemente. Dispone de los datos completos e individualizados



de 1.745.139 árboles, todos ellos localizados en las calles y zonas verdes de la ciudad.

Más de la mitad de sus calles están arboladas por el Ayuntamiento, lo que hace a Madrid merecedora del reconocimiento como **una de las grandes ciudades del mundo con mayor verde en sus calles**. Estos árboles consiguen igualmente un lugar destacado en cuanto a su biodiversidad, existiendo en la ciudad más de **500 especies distintas**.

Junto a estos árboles, conviven cerca de 800 especies distintas de arbustos, en aproximadamente 400 ha que ocupan sus agrupaciones. Todo ello se distribuye en las calles y en las más de **6.000 ha de parques y zonas verdes**

públicas que mantiene la corporación, de las que 1.600 ha son de céspedes y praderas naturales.

Este magnífico **patrimonio natural lo gestiona el Ayuntamiento de Madrid**, quien posee las competencias directas sobre su mantenimiento y conservación. Sin embargo, **no es sino una cuarta parte del Bosque Urbano de Madrid**.

Para hacerse una idea de la magnitud del Bosque Urbano de Madrid, hay que sumar a toda esta vegetación, la correspondiente a los parques y zonas verdes no municipales del interior de la zona urbana, ya sean públicos o privados, y las áreas forestales de Madrid. Las **zonas verdes no municipales** representan algo más de



REGE CAROLO III
ANNO
MDCCLXXVIII

la mitad (53%) de la cobertura arbórea de la zona urbana. En cuanto al total del Bosque Urbano de Madrid, las **áreas forestales suponen el 46%** de la cobertura arbórea, dando una idea de la importancia ecológica de estos espacios para la ciudad, así como su valioso estado de conservación.

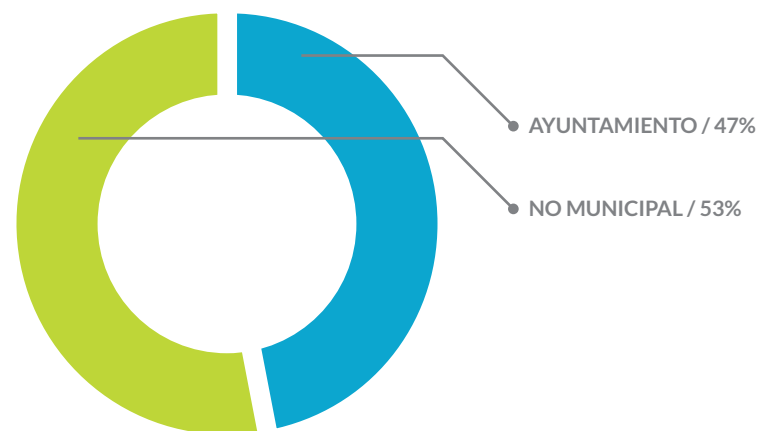
Para completar el Bosque Urbano madrileño, no podemos olvidarnos del río Manzanares. Se trata de un ecosistema fluvial que forma un corredor ecológico natural uniendo el Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama, el Monte de El Pardo y el Parque Regional del Sureste a través de su recorrido urbano.

Este Bosque Urbano no se trata de un ecosistema aislado, sino que se interrelaciona con su entorno directo, existiendo permeabilidad con las zonas forestales de Madrid colindantes con el núcleo urbano. Esta interrelación se lleva a cabo a través de canales o corredores verdes que intercambian sus especies e individuos con la ciudad.

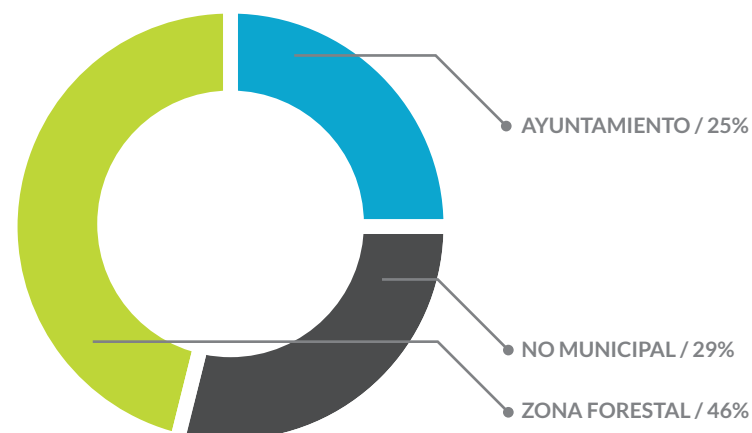
El Bosque Urbano de Madrid posee un enorme **valor forestal**, que lo

constituyen las 16.000 ha del **Monte de El Pardo**, que forma parte del Municipio de Madrid, de gestión pública dependiente de Patrimonio Nacional, las 3.000 ha de **Soto de Viñuelas**, también en Madrid, finca privada integrada en el Parque Regional de la Cuenca Alta del Manzanares y la superficie forestal del **Parque Regional del Sureste**, cuya gestión depende de la Comunidad de Madrid. En este último caso, solo una pequeña parte del mismo pertenece al Municipio de Madrid, siendo colindante el resto. Todos estos espacios naturales forman parte del Bosque Urbano de Madrid, aportando un gran valor medioambiental a la Ciudad y como reserva de una biodiversidad autóctona, institucionalmente protegida y de singular valor ecológico y ambiental.

COBERTURA ARBÓREA DE LA ZONA URBANA DE MADRID



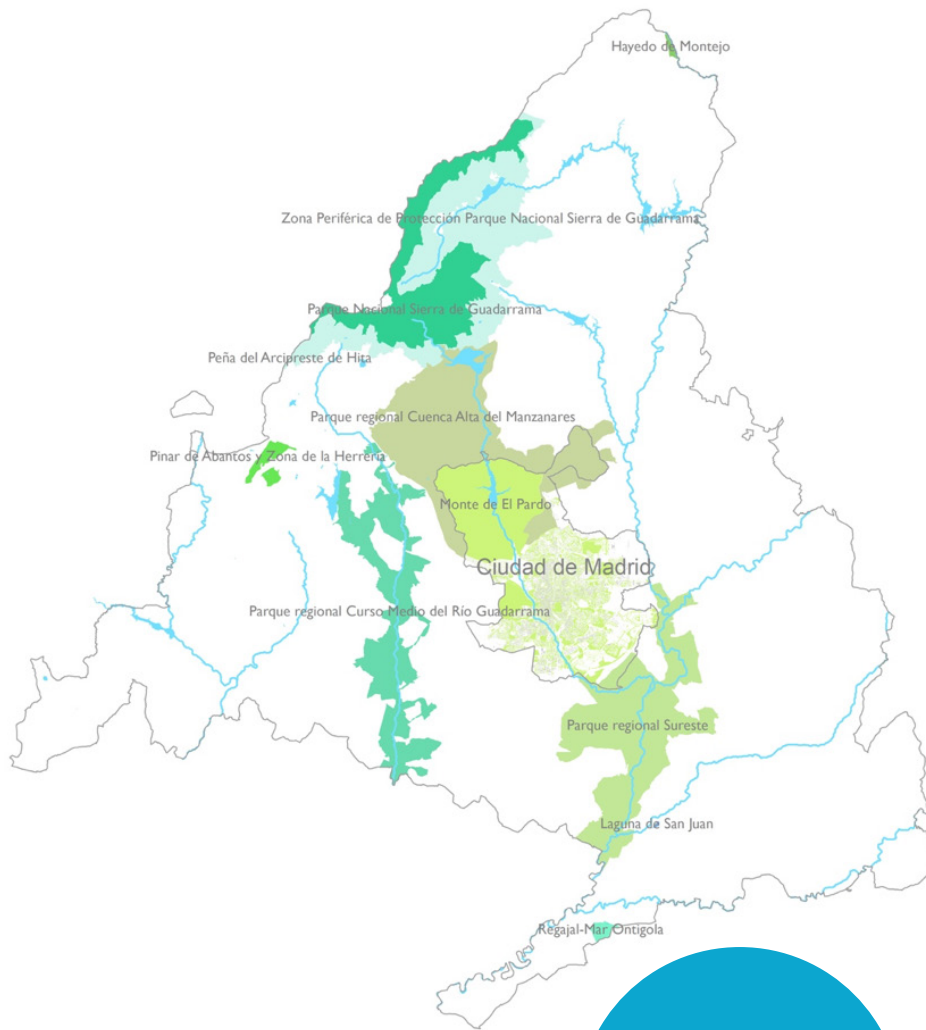
COBERTURA ARBÓREA DEL BOSQUE URBANO DE MADRID



Se trata de ecosistemas típicos de bosque mediterráneo con excelentes condiciones de conservación de sus formaciones esclerófilas. Forman parte desde el año 1988 de la **Red Natura 2000 de la Unión Europea**, protegidas por las Directivas de Aves (79/409/CEE) y de Hábitats (92/43/CEE), estando más del 80% de su extensión constituida por formaciones vegetales de interés europeo.

Esto nos ofrece una imagen de la magnífica y valiosa biodiversidad que alberga el Bosque Urbano de Madrid. A escasos **10 km a vuelo de pájaro de la Puerta del Sol**, centro neurálgico de la Ciudad, viven y anidan varias parejas de especies **en peligro de extinción**, como el **águila imperial ibérica** (*Aquila adalberti*) o vulnerables como la **cigüeña negra** (*Ciconia nigra*), el **Buitre negro** (*Aegypius monachus*), así como 29 especies que figuran en el Anexo I de la Directiva europea de Aves.





El Bosque Urbano de Madrid supone un magnífico corredor ecológico entre los Espacios Naturales Protegidos de la Comunidad de Madrid

El interés faunístico es extraordinario, tanto a nivel nacional como internacional, existiendo una comunidad casi intacta y única en España, que constituye una gran reserva, foco de irradiación hacia sus zonas colindantes. Esto, junto al paso de migraciones frecuentes de aves, en su ruta del Norte de Europa - África hace que se hayan identificado en el interior de la zona urbana de Madrid más de 200

especies distintas de aves y mamíferos. Sumemos los peces, reptiles, anfibios e insectos, entre los que hay catalogadas más de 150 especies de mariposas, y descubriremos el alcance de la biodiversidad de la capital.



El Bosque Urbano de Madrid

EL BOSQUE URBANO DE MADRID

Conforme a la clasificación de tipologías de zonas verdes de la ciudad, la cobertura arbórea de la zona urbana, no incluida en Conservación Municipal, es la que atiende a los siguientes arquetipos:



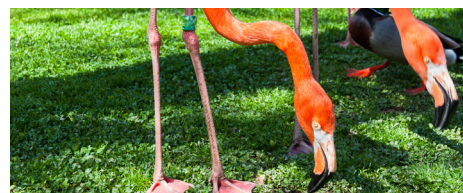
ZONAS VERDES LIGADAS A EDIFICIOS E INSTALACIONES INSTITUCIONALES

Son numerosos en Madrid dada su condición de gran Capital europea. Entre estos se encuentran el complejo de La Zarzuela, residencia de la Familia Real, el complejo de La Moncloa, residencia del Presidente del Gobierno, así como los numerosos Ministerios, Embajadas y Museos de la ciudad. También incluimos en esta tipología los Campus Universitarios, entre los que citamos por su extensión el de la Universidad Complutense (UCM), con sus cerca de 80 ha de zonas verdes, la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) o el campus de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM).



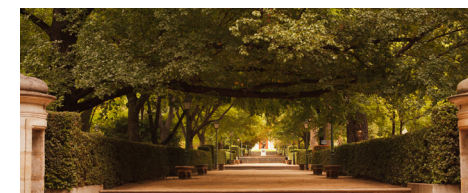
JARDINES HISTÓRICOS NO MUNICIPALES

Dentro de los que citamos por su extensión e importancia los Jardines del Campo del Moro del Palacio Real, los Jardines del Palacio de El Pardo o los Jardines de la Quinta del Duque del Arco.



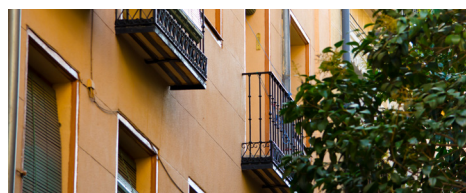
PARQUES ZOOLOGICOS

Como el Zoo de la Casa de Campo o Faunia.



PARQUE BOTANICOS

Entre los que destaca el Real Jardín Botánico.



JARDINES PRIVADOS

Lo constituyen jardines privados, tanto de viviendas unifamiliares como comunitarios de bloques o zonas privadas.



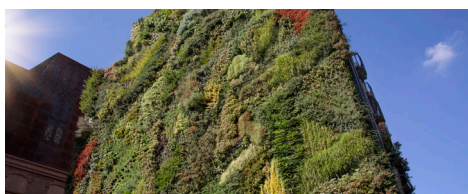
VEGETACIÓN ESPONTÁNEA

Aparece en solares no edificados o zonas no ajardinadas.



VIVEROS

Existen cinco viveros públicos y dos grandes viveros de titularidad privada en el interior del municipio.



EDIFICIOS VERDES

Entre ellos distinguimos los Balcones verdes, Jardines verticales, cubiertas vegetales o Atrium Citamos por su singularidad el Jardín Vertical del edificio de Caixa Forum del Paseo de El Prado o el Jardín Tropical Puerta de Atocha, en el interior de la Estación de Trenes de Atocha.



HUERTOS URBANOS

Madrid cuenta con una gran red de huertos urbanos, 27 de ellos municipales.



CEMENTERIOS

En Madrid hay 20 cementerios, entre los que destacan el Cementerio de la Almudena, con 120 ha o el de Carabanchel con 90 ha.



INSTALACIONES DEPORTIVAS

La Ciudad cuenta con ocho campos de golf, hipódromo y numerosos campos deportivos, con sus correspondientes zonas verdes asociadas.



El Bosque Urbano de Madrid posee un gran valor medioambiental y es reserva de una gran biodiversidad autóctona, institucionalmente protegida y de singular valor ecológico y ambiental.

BOSQUE URBANO DE MADRID

2.000.000 árboles
La encina es la especie
más abundante
1.500 especies
de flora autóctona

ÁRBOLES EN ENTORNOS FORESTALES

1.510.000 árboles
506 especies
distintas en zonas
verdes
6.000 ha.

ÁRBOLES EN PARQUES Y ZONAS VERDES MUNICIPALES

182 especies de aves
48 especies de
mamífero
44 especies de
mariposas

BIODIVERSIDAD

Fachadas
Balcones
Cubiertas vegetales
Atrium

EDIFICIOS VERDES



1.960.000 árboles
públicos
no municipales
y privados

ÁRBOLES EN ZONAS VERDES NO MUNICIPALES

230.000 árboles
128 especies
distintas
54% de calles
arboladas

ÁRBOLES DE LA CALLE

83.000 arbustos
390 ha de agrupaciones
de arbustos
663 ha de césped
917 ha praderas
naturales
32 ha de setos

ARBUSTOS Y CÉSPEDES

Corredor ecológico
entre espacios
protegidos

- PN Sierra Guadarrama
- Monte El Pardo
- Parque Regional
del Sureste

RÍO MANZANARES



METODOLOGÍA

Para evaluar los servicios aportados por el arbolado de la ciudad de Madrid, tanto en términos cuantitativos como económicos, se ha empleado el modelo **i-Tree Eco**, diseñado por el **Servicio Forestal del USDA**. Este modelo conjuga datos relativos a la composición y estructura de la vegetación de la ciudad, datos de contaminación atmosférica y meteorológicos (Nowak & Crane 2000).

La información relativa al arbolado que se analiza en el presente Estudio parte de la recogida en el GIS de Patrimonio Verde del Ayuntamiento de Madrid, base de datos georreferenciada de todos los árboles y zonas verdes de la Capital que son objeto de Conservación Municipal. **El número de árboles evaluado**, de los que se tienen datos completos por ser los **árboles**

gestionados por el Ayuntamiento, son 1.745.139.

El Sistema de Información Geográfica de Patrimonio Verde del Ayuntamiento de Madrid se actualiza permanentemente a través de **técnicos especializados en arboricultura**. Los datos utilizados en este estudio pertenecen a los de la última actualización de inventario de 2016. Cada uno de los árboles de mantenimiento municipal cuenta con información acerca de su especie, diámetro de copa, altura, perímetro de tronco, edad fenológica, disposición y ocupación. En el caso del arbolado viario, se cuenta además con información individualizada de su estructura, inclinación, presencia y transparencia de copa, vitalidad, defectos (en base, tronco y copa) y estado.

De cada árbol se cuenta con información georreferenciada de la tipología de zona verde o de vial en el que habita. En este último caso se recogen los datos de entorno de calzada, distancia a fachada, ancho de acera, interferencias (con farolas, edificios, señales, semáforos, cables...), marcos de plantación, distancia entre ejes de alineación y adecuación. Se cuenta asimismo con información pormenorizada de las masas arboladas en zonas forestales, arbustos, setos y zonas de praderas y céspedes de la corporación.

Este gran volumen de información ha debido ser procesado para adaptar los datos de partida al formato estandarizado requerido por el modelo i-Tree, y estratificados para clasificarlos en función del uso de suelo, que en este caso determina el

Plan General de Ordenación Urbana de Madrid. Para la obtención de un mayor nivel de precisión y poder comparar posteriormente los datos obtenidos en la simulación, se han dividido los datos de vegetación para cada uno de los 21 distritos de la ciudad de Madrid.

Los datos meteorológicos se han obtenido de la **Agencia Estatal de Meteorología** (AEMET) para varias estaciones de la ciudad de Madrid. En cuanto a los datos de polución, se han utilizado los recogidos en la Estación Automática de Medición de las Escuelas Aguirre, perteneciente a la **Red de Vigilancia de la Calidad del Aire del Ayuntamiento de Madrid**. Se ha seleccionado por su céntrica localización, próxima al Parque de El Retiro, así como por proporcionar las series más completas de todas las estaciones repartidas por la ciudad y

la determinación horaria de un gran número de contaminantes. Los datos utilizados para la simulación son los relativos a 2015.

El modelo i-Tree Eco del Servicio Forestal de USDA calcula la estructura de clases de edad y especies que presenta el Bosque Urbano, junto con otros parámetros como la biomasa y el índice de área foliar. Una vez calculados estos parámetros, el modelo utiliza distintos algoritmos matemáticos para combinar esta información con los datos meteorológicos y de contaminación. Así se estiman los servicios ecosistémicos aportados por la vegetación y se 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.





De este modo se han estimado en Madrid los siguientes parámetros:

ESTRUCTURA DEL BOSQUE URBANO DE MADRID |

Se ha analizado la composición de especies del arbolado de la capital que es objeto de mantenimiento municipal, el número de árboles, la densidad y la distribución diamétrica. Se analiza también la biomasa foliar existente.

INFLUENCIA DEL ARBOLADO EN LA CALIDAD DEL AIRE |

El modelo determina la cantidad de contaminación eliminada cada hora por el bosque urbano, y su valor económico. Se evalúa la mejora en la calidad del aire, mediante el porcentaje de cada contaminante captado por el bosque urbano a lo largo del año. Asimismo, se calcula el volumen de oxígeno que aporta al aire de Madrid la vegetación estudiada.

La eliminación de la contaminación atmosférica se ha calculado para

el ozono (O_3), dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), monóxido de carbono (CO) y partículas menores de 2,5 micras ($PM_{2,5}$). Se cuenta igualmente con información de las partículas contaminantes de tamaño inferior a 10 micras, si bien como en este caso $PM_{2,5}$ es un subconjunto de PM_{10} , no se ha tenido en cuenta este último en el análisis de los contaminantes de la Ciudad de Madrid. Por lo general, $PM_{2,5}$ es un valor más relevante en los debates sobre los efectos de la contaminación atmosférica en la salud humana.

EFFECTOS SOBRE LAS EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO |

El Bosque Urbano de Madrid es un gran sumidero de gases contaminantes de efecto invernadero, como el CO_2 , analizándose la cantidad y valor del almacenamiento y secuestro anual neto

de este compuesto. El **almacenamiento de carbono** es la cantidad de carbono que forma parte de la estructura de las plantas leñosas, tanto en su partes aérea como radicular. El **secuestro de carbono** es la captación del dióxido de carbono (CO_2) del aire por las plantas, en sus procesos fotosintéticos.

EMISIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES BIOGÉNICOS (VOCS) |

El modelo estima las emisiones de este tipo llevadas a cabo por la vegetación junto con la formación de ozono y monóxido de carbono asociada, clasificando las especies en función del grado de emisiones realizadas.

EFFECTOS SOBRE EL USO ENERGÉTICO DE EDIFICIOS |

Se ha cuantificado el ahorro de energía asociado a la presencia de vegetación

urbana próxima a los edificios de Madrid y su valor económico.

INTERCEPCIÓN DEL AGUA DE LLUVIA |

Se analiza la captación de agua de lluvia por parte del arbolado de la ciudad y el volumen de escorrentía evitada.

SALUD PÚBLICA |

La contaminación del aire incide directamente en la salud de los habitantes de Madrid. Este modelo estima las incidencias evitadas por la captación de contaminación por el arbolado de la ciudad y su valor económico.

RESULTADOS / ANÁLISIS

01

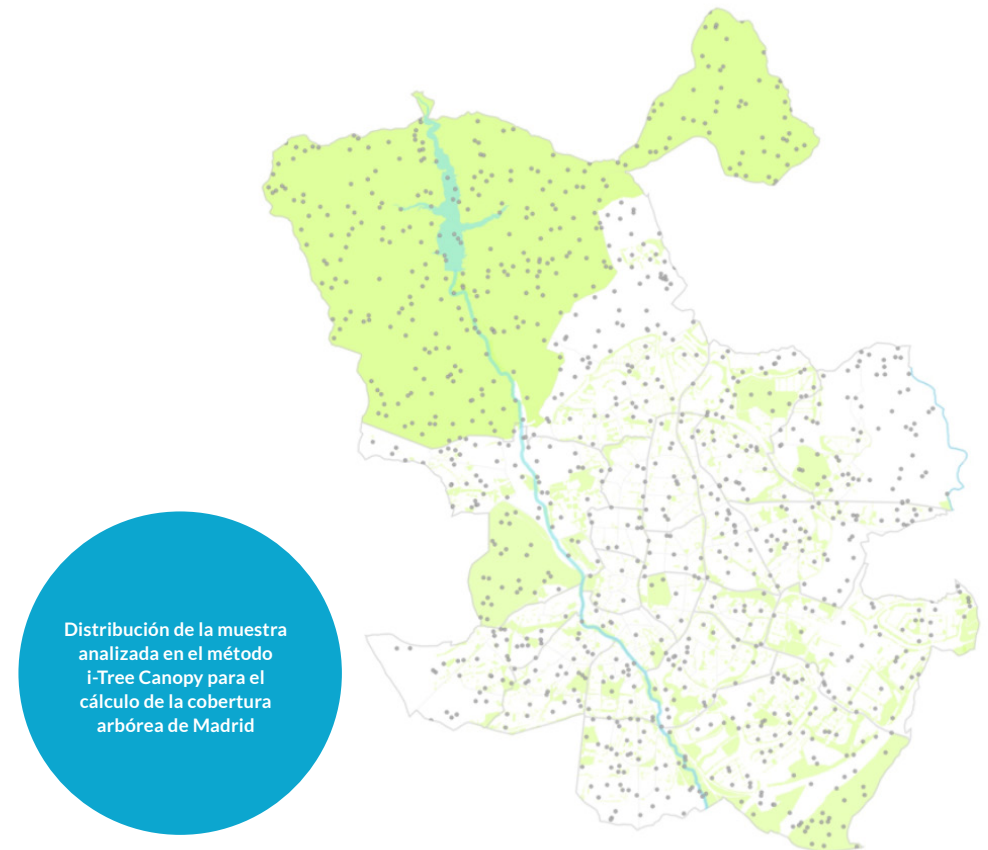
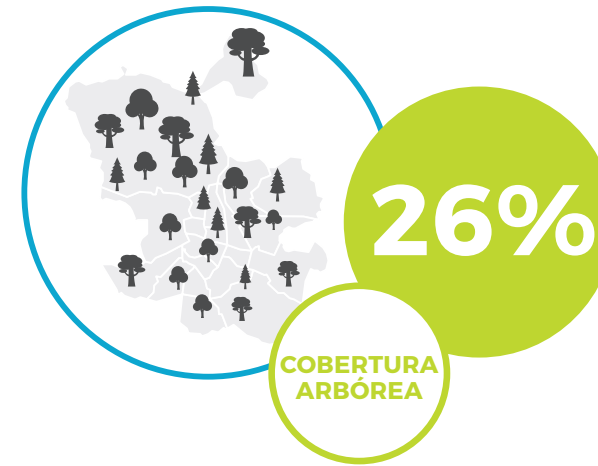
ESTRUCTURA DEL BOSQUE URBANO COBERTURA ARBÓREA

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. Asimismo, los resultados varían notablemente si se incluyen las zonas forestales, lo que es común en la mayor parte de los estudios de las grandes ciudades. Por ello es conveniente indicar la metodología empleada, de cara a poder comparar correctamente entre las distintas ciudades y acordar objetivos sensatos a la hora de aplicar este valor como indicador de la ciudad.

En este caso se han utilizado dos métodos de cálculo. El primero de ellos es el desarrollado por el Departamento Forestal de Estados Unidos, i-Tree Canopy, exclusivamente seleccionando árboles. Se ha contado con la zona forestal perteneciente a la ciudad, tal y como se observa en la metodología empleada en otras ciudades que han realizado estudios similares al que presentamos.

Con una muestra de 1.000 puntos, la cobertura arbórea de Madrid obtuvo unos resultados del **26,0%**.

El otro método de cálculo se basa en los ficheros digitales con información altimétrica de la nube de puntos del proyecto PNOA LiDAR liderado por el Gobierno de España. Se trata de ficheros LAS de 2x2 km de extensión. Las nubes de puntos fueron capturadas mediante sensores LiDAR aerotransportados, con una densidad de 0,5 puntos/m² y posteriormente clasificadas y coloreadas a partir





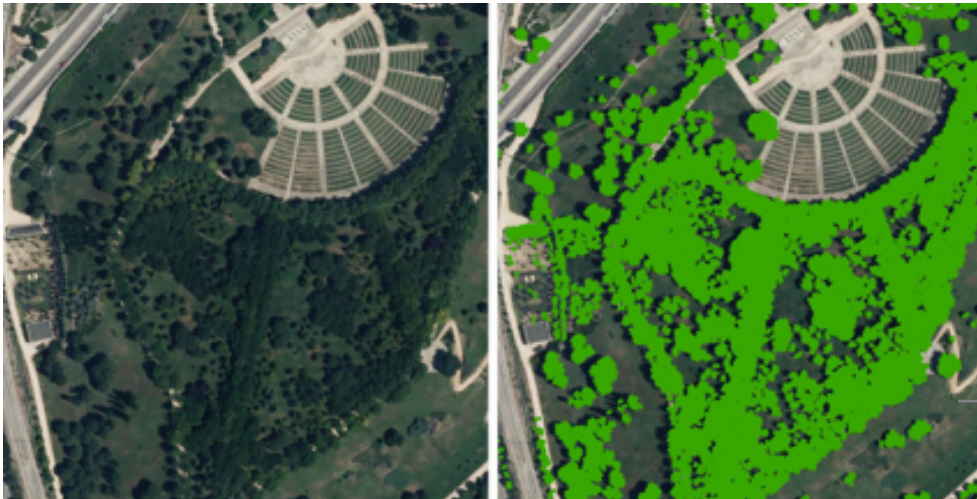
Nube de puntos PNOA LIDAR de la ciudad de Madrid

de las ortofotos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) con tamaño de pixel de 25 y 50 cm.

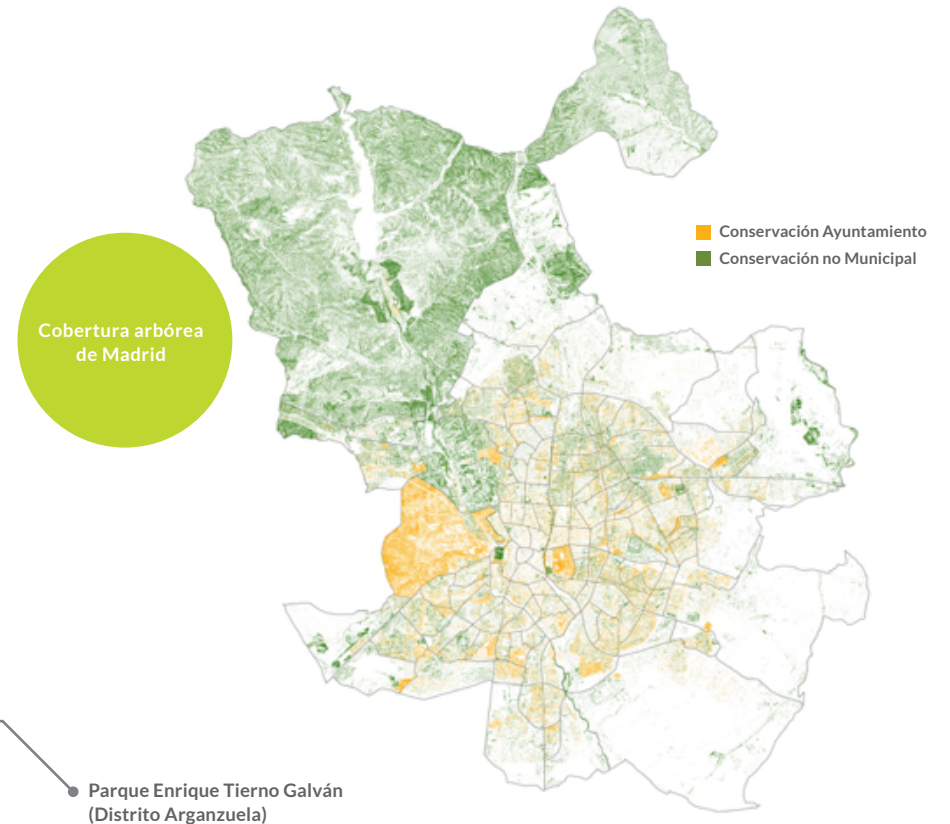
Mediante un pretratamiento y filtrado de la nube de puntos según tipología, y posterior depurado con el apoyo de ortofotos y cartografía digital, se ha determinado la cobertura arbórea de Madrid. Sin embargo, no se dispone

actualmente de imágenes satélite de muy alta resolución que nos aportaría una mayor aproximación a la cobertura arbórea, por lo que los resultados son estimados.

Un ejemplo del resultado de aplicar este método de evaluación puede verse en la siguiente figura del Parque Enrique Tierno Galván:



Se obtiene de esta manera la gráfica de cobertura arbórea que se recoge en esta página. En naranja se representa la cobertura arbórea de conservación municipal y en verde la pública y privada que no es mantenida por el Ayuntamiento. La cobertura se reduce al **16,9%**, indicativo de que a la hora de establecer objetivos a nivel ciudad o comparar entre otras ciudades del mundo, es necesario identificar el método de cálculo que permita interpretar correctamente sus resultados.



02

ESTRUCTURA DEL BOSQUE URBANO ARBOLADO

Madrid tiene una población aproximada de **5.700.000 árboles**. En el entorno urbano, 1.740.000 son públicos y los mantiene el Ayuntamiento de la Ciudad, estimándose en 1.960.000 los de titularidad pública no municipales y los situados en propiedades privadas. Se estiman por tanto un total de 3.700.000 árboles viviendo en el casco estrictamente urbano de Madrid. Los 2.000.000 restantes forman parte de los espacios forestales que dependen y forman parte de la ciudad, la mayor parte de ellos públicos. Entre ellos, están el Monte de El Pardo, Soto de Viñuelas y la pequeña parte del Parque Regional del Sureste que pertenece a Madrid. Todas estas zonas forman parte administrativamente de la Ciudad y son limítrofes con el casco urbano.

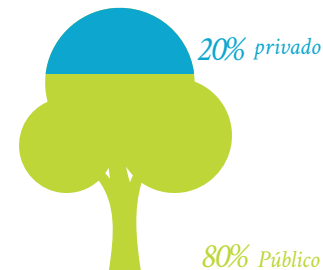
De esta cobertura arbórea, el porcentaje de **arbolado público** es aproximadamente un **80%** del total del bosque urbano de Madrid, frente a un **20%** de propiedad privada.

La densidad del arbolado resulta de **94 pies por hectárea**, valor que se encuentra en la media de las calculadas para otras grandes ciudades del mundo, conforme a los datos obtenidos de otros estudios realizados con i-Tree Eco. En este sentido, hay que contar con que la superficie forestal está compuesta por un bosque adhesado mediterráneo con predominio de encina (*Quercus ilex* subsp. *rotundifolia*), caracterizado por bajas densidades de arbolado, pero compuesto por árboles con gran diámetro y copa muy densa y desarrollada.

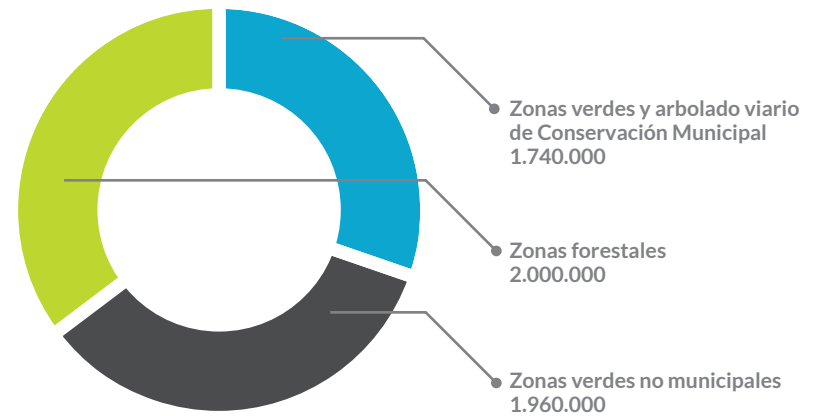


DISTRIBUCIÓN DE PROPIEDAD DEL ARBOLADO DE MADRID

	Total	Público	Privado
Zonas verdes y arbolado viario de Conservación Municipal	1.740.000	1.740.000	
Zonas verdes no municipales	1.960.000	1.000.000	960.000
Zonas forestales	2.000.000	1.800.000	200.000
TOTAL ARBOLADO MADRID	5.700.000	4.540.000	1.160.000



POBLACIÓN DE ÁRBOLES DE MADRID



CUADRO COMPARATIVO CON OTRAS CIUDADES DEL MUNDO

		Número de árboles	Superficie (ha)	Densidad (pies/ha)	Cobertura vegetal arbórea (%)
Toronto	Canadá	10.200.000	66.140	154	24
Atlanta	Estados Unidos	9.415.000	34.710	271	37
Londres	Reino Unido	8.421.000	159.470	53	14
Birmingham	Reino Unido	6.000.000	26.780	224	23
MADRID	ESPAÑA	5.700.000	60.430	94	26
Nueva York	Estados Unidos	5.212.000	78.900	66	21
Chicago	Estados Unidos	3.585.000	60.610	59	17
Philadelphia	Estados Unidos	2.113.000	36.700	58	16
Glasgow	Reino Unido	2.000.000	17.643	113	15
Washington	Estados Unidos	1.928.000	17.700	109	29
Barcelona	España	1.419.823	10.190	139	24
Boston	Estados Unidos	1.183.000	12.540	94	22
San Francisco	Estados Unidos	668.000	12.140	55	12
Edimburgo	Reino Unido	600.000	26.400	23	17



El análisis de la composición del bosque urbano de Madrid se ha realizado evaluando los datos completos de los árboles de mantenimiento municipal. Estos suponen 1.745.139 ejemplares distribuidos por zonas verdes públicas y arbolado viario de la capital.

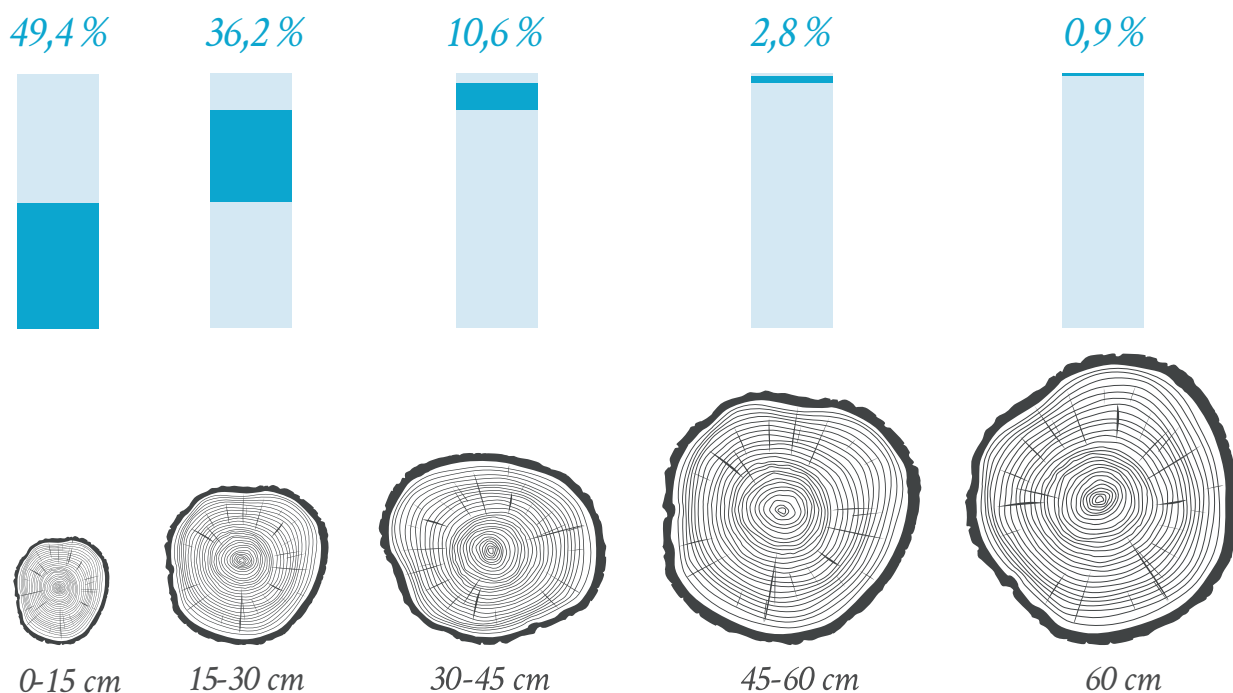
El diámetro normal (DBH) es el calculado a una altura aproximada de 1,3 metros o altura del pecho. En el arbolado urbano municipal, el 49% presenta diámetros inferiores a 15,2 cm.

La distribución por clases diamétricas de la población se representa en el gráfico, en el que se observa que la mayor parte de los árboles municipales (86,6%) tienen diámetros inferiores a 30 cm, siendo el 49,4% los que son menores o iguales a 15 cm. A medida que se incrementa el diámetro se reduce su proporción, siendo menos de un 1% los que superan los 60 cm de diámetro.

La distribución en clases diamétricas es importante para determinar la

resiliencia del bosque urbano. Las clases inferiores son necesarias como futuro de renovación del arbolado, si bien es necesario un porcentaje adecuado de árboles de gran diámetro, ya que aportan unos beneficios ecosistémicos y un valor ecológico muy superior al de los árboles jóvenes.

DISTRIBUCIÓN POR CLASES DIAMÉTRICAS ARBOLADO MANTENIMIENTO MUNICIPAL



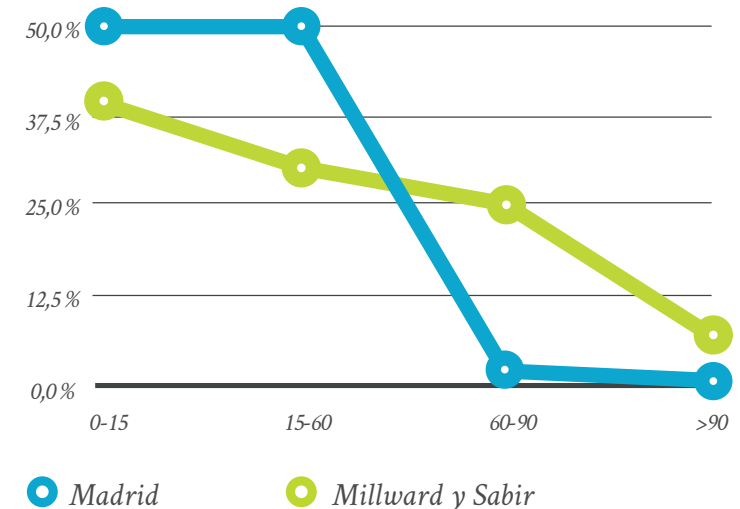
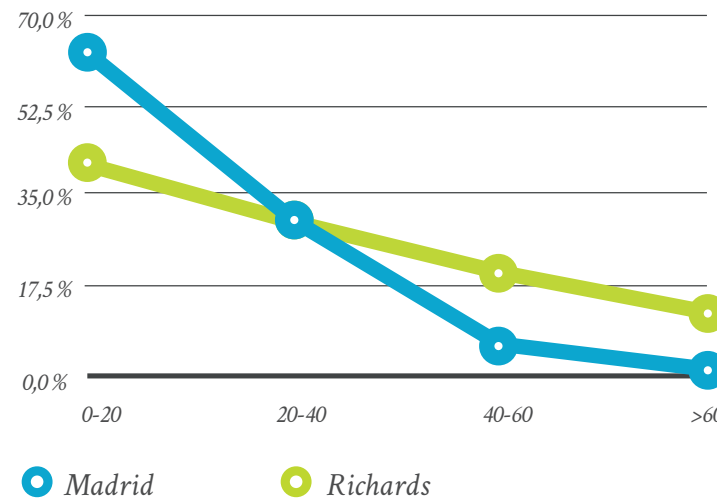
Existen estudios que identifican las curvas o porcentajes ideales de cada una de las clases diamétricas del bosque urbano. Entre ellos, se cita a Richards (1983) y las posteriores modificaciones sobre sus aproximaciones, entre la que se encuentra la distribución ideal de Millward y Sabir (2010). Estos trabajos se han adoptado en ciudades como Toronto como indicadores para establecer decisiones acerca de la gestión del arbolado.



La encina (*Quercus ilex* subsp. *rotundifolia*) es el árbol dominante del bosque adhesado mediterráneo que conforma el entorno forestal de Madrid

En el caso de Madrid, la ciudad dispone de un elevado porcentaje de clases diamétricas inferiores, lo que indica un buen nivel de resiliencia del arbolado y futuro reemplazo de los árboles de edad más avanzada, si bien resulta escaso en árboles de gran diámetro. En este sentido, se debería incidir en un mayor porcentaje de estos árboles adultos que tantos beneficios aportan a la ciudad.

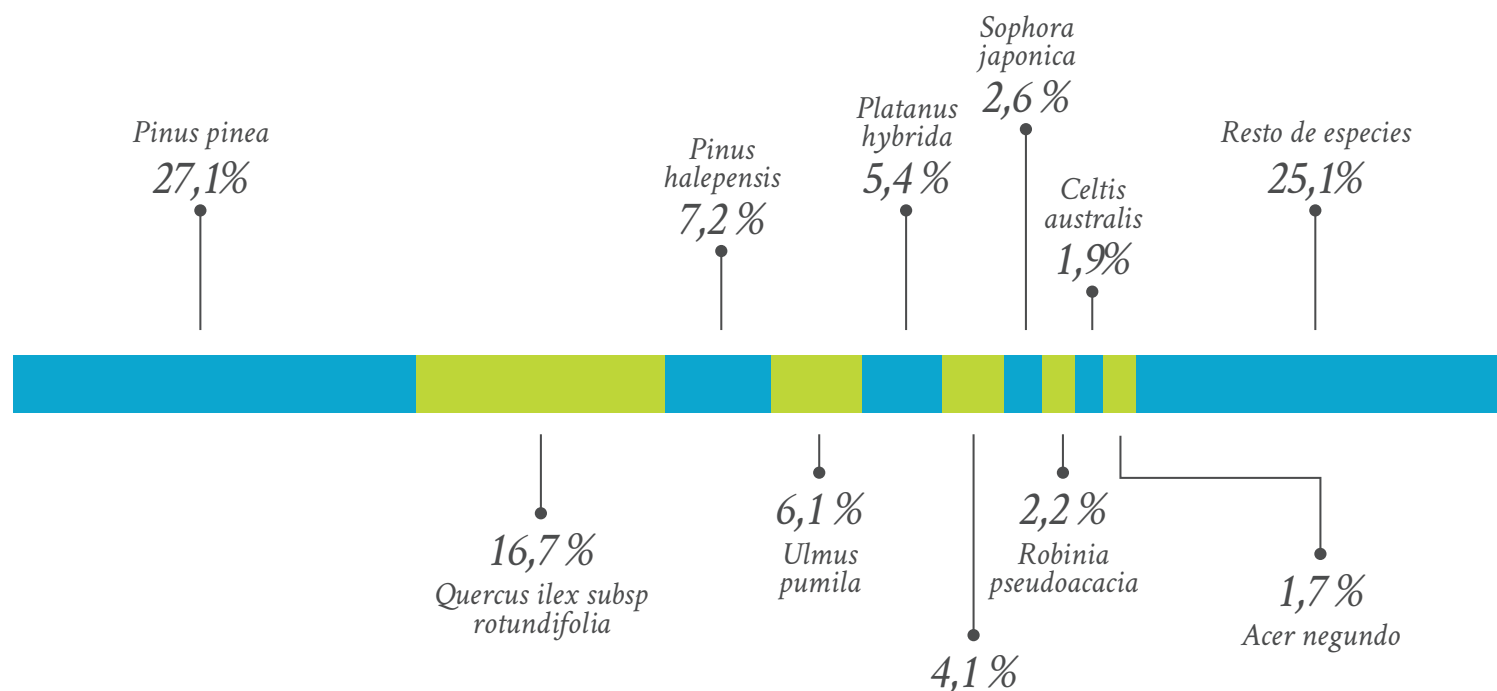
Se ha evaluado también la composición del bosque urbano. La especie más abundante es el pino piñonero (*Pinus pinea*), seguido de la encina (*Quercus ilex* subsp. *rotundifolia*), el pino carrasco (*Pinus halepensis*), el olmo de Siberia (*Ulmus pumila*) y el Plátano de sombra (*Platanus hybrida*). Las tres primeras son especies autóctonas del ecosistema forestal mediterráneo español, y suponen el 51,0% del total.



Las 10 especies más abundantes representan el 74,9% de los árboles de mantenimiento municipal.

En los anexos se incluye el listado de las especies existentes en el **arbolado de mantenimiento municipal**. En los datos que se manejan del GIS de Patrimonio Verde del Ayuntamiento de Madrid se han determinado **506 especies distintas de árboles**, lo que da una idea de la gran biodiversidad de su bosque urbano. En el listado de especies adaptado a i-Tree Eco que se recogen en los anejos, este número disminuye a 444, dado que se ha adaptado a las especies preestablecidas en el programa. Por ello, en muchos casos aparece únicamente el nombre del género y no la especie, englobando a todas aquellas especies que pertenecían a ese género y que no se encontraban como especie en el listado del software.

Si comparamos con otras ciudades que han realizado el mismo análisis mediante i-Tree Eco, Londres arroja un resultado de 126 especies distintas, siendo la de mayor biodiversidad de las ciudades de Reino Unido, 168 en Nueva York, más de 150 en Washington, Toronto 116 o Barcelona 138. Estos datos no incluyen las especies de parques botánicos o colecciones particulares que tienen todas las grandes ciudades, sino el

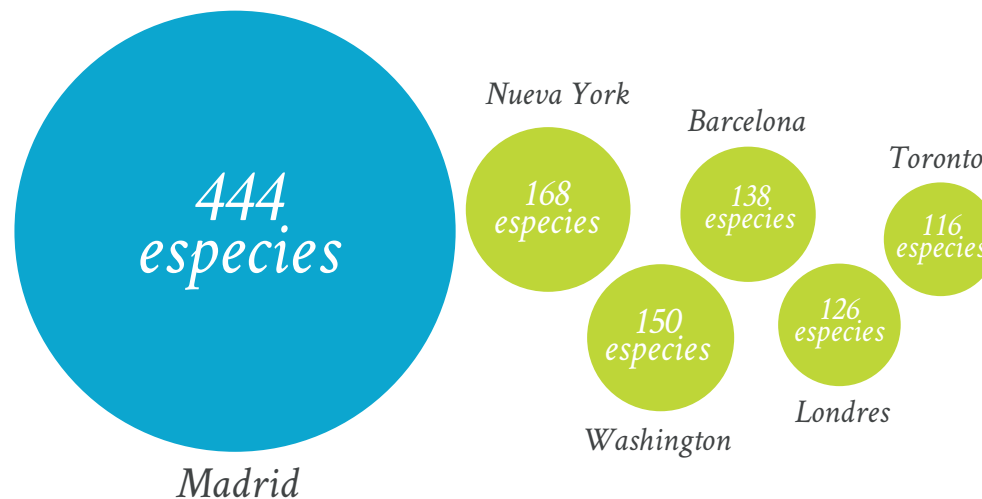




arbolado presente en zonas verdes y arbolado viario del entorno urbano en el que se realizan estos estudios. No están incluidas, en este caso, las especies del **Real Jardín Botánico de Madrid**, con un total de **5.000 especies** de plantas distintas en sus colecciones.

Estos datos se corresponden con las referencias de biodiversidad de la Península Ibérica, conocida por ser uno de los territorios con mayor variedad florística de Europa. No es de extrañar que Madrid, por su céntrica y especial localización en este espacio, posea esta elevada diversidad.

DIVERSIDAD DE ESPECIES DE ÁRBOLES EN EL BOSQUE URBANO DE MADRID





03

ESTRUCTURA DEL BOSQUE URBANO AREA FOLIAR Y DOMINANCIA DE ESPECIES

El número de árboles que componen el bosque urbano es un dato importante para hacernos una idea de la cantidad de árboles que habitan en la ciudad. Sin embargo, la cobertura, la diversidad y la calidad se muestran más relevantes en cuanto a la determinación de los servicios ecosistémicos que aportan. Así, los beneficios que se calculan en los próximos capítulos están ligados al tamaño de los árboles, las especies y la superficie foliar en buen estado que presentan. A mayores tamaños (diámetros, alturas y tamaño de copa), mayor cobertura y por tanto mayor superficie foliar sana, mayores beneficios se suman al conjunto. En muchos casos, estos beneficios son exponenciales, por lo que la **tendencia de los bosque urbanos sería obtener la mayor cantidad de árboles de gran tamaño y de adecuada calidad estructural.**

A partir de los datos obtenidos de abundancia y área foliar por especie, se determina el valor dominancia (DV) para cada especie, que marca la importancia relativa de cada una frente a los beneficios o servicios ecosistémicos que aporta a la ciudad.

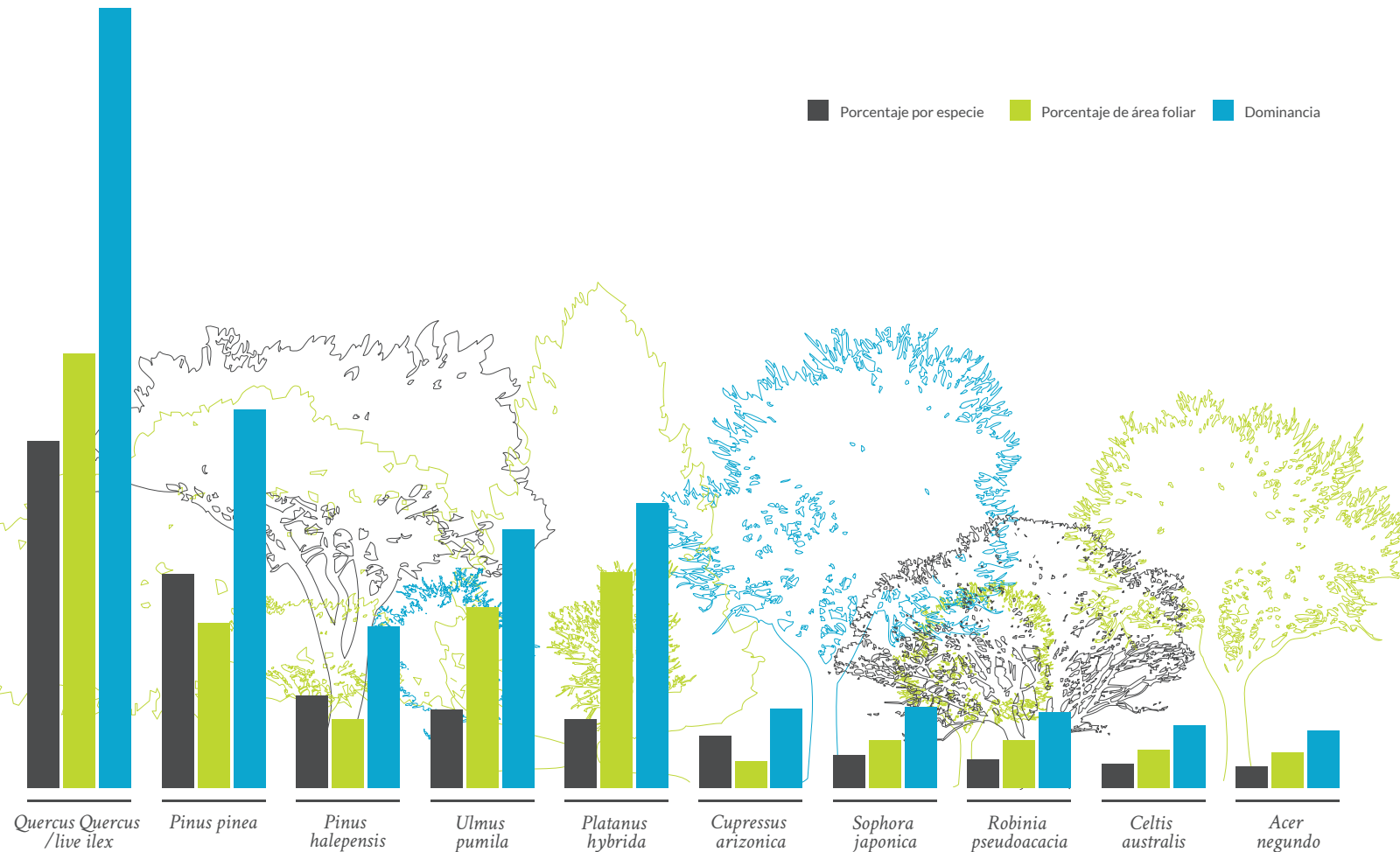
Los mayores beneficios los aportan el pino piñonero (*Pinus pinea*) y la encina (*Quercus ilex* subsp. *rotundifolia*), dado que representan entre las dos el 43,8% de la población de Madrid y el 46,9% del área foliar de los árboles de la capital. Hay que destacar que ambas especies son de hoja perenne, aportando los servicios ecosistémicos durante todo el año, tanto en cuanto a captación de contaminantes como retención de agua de lluvia.

Por otro lado, especies con menor porcentaje de población que otras, como el pátano de sombra (*Platanus hybrida*) frente a pino carrasco (*Pinus halepensis*),

DOMINANCIA DE ESPECIES MÁS ABUNDANTES DEL BOSQUE URBANO DE MANTENIMIENTO MUNICIPAL

poseen mayor área foliar en conjunto, lo que la convierten en una especie de mayor dominancia (22,3% frente a 12,6%) y por tanto mayores beneficios asociados.

En el siguiente gráfico se representa la dominancia de las 10 especies más abundantes del bosque urbano de mantenimiento municipal de Madrid. Tras las dos primeras especies, cobran especial relevancia por su importancia en cuanto a los beneficios aportados el plátano de sombra (*Platanus hybrida*) y olmo de siberia (*Ulmus pumila*). Las falsas acacias como *Sophora japonica* o *Robinia pseudoacacia* también presentan unos índices de dominancia superiores a otras especies de mayor presencia.

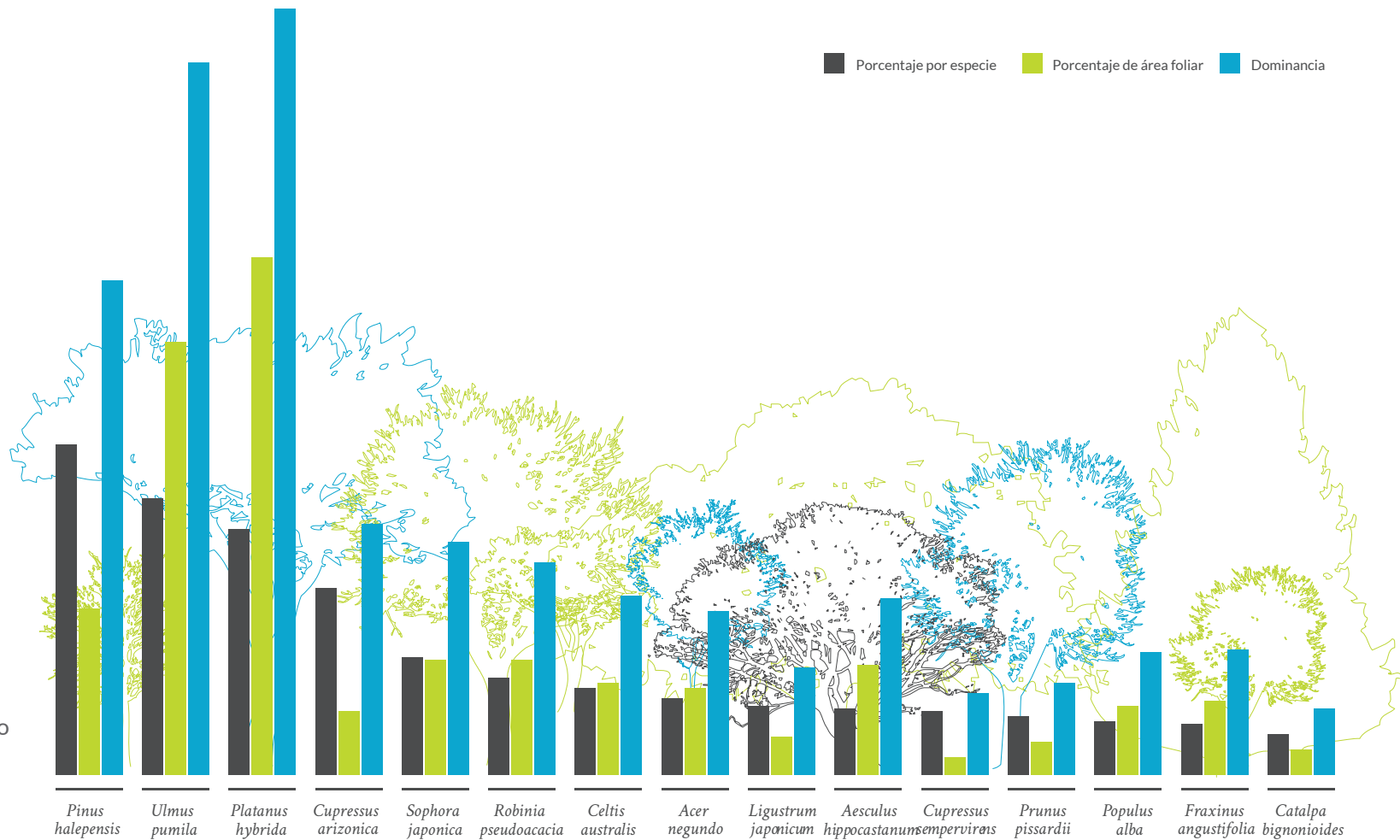


La mayor parte de los pinos piñoneros y encinas (*Pinus pinea* y *Quercus ilex* subsp. *rotundifolia*) se encuentran en parques forestales urbanos de Madrid, como la Casa de Campo, pulmón verde de la ciudad, de uso público y mantenimiento municipal. Se ha realizado el mismo estudio prescindiendo de estas especies, lo que nos aporta conocimiento de los beneficios de las especies más representativa o abundantes en el arbolado viario y zonas verdes no forestales de la ciudad.

En este caso, la relevancia o dominancia es mayor en el plátano de sombra (*Platanus hybrida*) (29,9), con un 9,6% de los árboles y olmo de Siberia (*Ulmus pumila*) (27,8) con el 10,8% que en el pino carrasco (*Pinus halepensis*), que tiene una dominancia de 19,3 con el 12,9% de la población. Lo mismo sucede con el castaño de indias (*Aesculus hippocastanum*), que pese a constituir únicamente el 2,6% de los árboles de este supuesto, tienen el 4,3% de la superficie foliar de la muestra.

A la hora de gestionar el bosque urbano de las ciudades, se deben contemplar estos resultados, teniendo en cuenta

DOMINANCIA DE ESPECIES MÁS ABUNDANTES DEL BOSQUE URBANO SIN EL PINO PIÑONERO NI LA ENCINA





aquellas especies que actualmente aportan mayores beneficios a la comunidad. Sin embargo, no significa que se conviertan en la única referencia a la hora de determinar las estrategias de introducción de especies en las zonas verdes y arbolado viario.

Dado que los mayores beneficios son los obtenidos por aquellos árboles de mayor tamaño y área foliar, **la gestión o tratamientos culturales de los árboles conviene orientarlos hacia la consecución de una mayor dimensión de cada ejemplar e incrementar el volumen de su copa.** Con ello se reportarán mayores servicios a la ciudad. Todo ello, claro está, teniendo en cuenta las especiales condiciones del arbolado urbano, tanto en riesgo como interferencias con otros elementos de la ciudad.

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).

El total de área foliar calculada para el bosque urbano de mantenimiento municipal de Madrid es de 12.556 ha. Estimando con este valor el área foliar del total del bosque urbano de Madrid, obtenemos un área de 41.046 ha. Si expresáramos esa superficie frente a la total de la ciudad, asumiendo que el área foliar lo imaginamos en dos dimensiones, ésta representaría el **68% de la superficie de Madrid.**



01

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

El incremento constante de la población y la industrialización de las ciudades, junto con la cada vez más creciente demanda energética y las numerosas actividades que requieren el uso de combustibles fósiles, en especial el tráfico de vehículos, ha provocado un incremento notable de la contaminación atmosférica de las ciudades. En la actualidad, se ha llegado a convertir en uno de los principales problemas en la gestión de las grandes capitales como Madrid. Los efectos negativos que causa un aire de baja calidad atañen directamente a la salud humana.

El Ayuntamiento de Madrid, consciente de la importancia de un aire urbano de calidad en la ciudad, acaba de redactar el **Plan de Calidad del Aire y Cambio Climático**. Este Plan tiene por objetivo conseguir una ciudad sostenible, que garantice la salud de la ciudadanía frente al reto de la contaminación atmosférica, reduzca las emisiones de gases de efecto invernadero y fortalezca a la ciudad frente a los impactos del cambio climático.

El aumento de los niveles de contaminación genera numerosos efectos tanto directos como indirectos sobre los ciudadanos e infraestructuras de la ciudad

(edificios, monumentos, ...), a la vez que se incrementan considerablemente los costes derivados de su mitigación y subsanación.

El arbolado urbano contribuye de un modo muy importante a la reducción de la contaminación atmosférica, influyendo en el mantenimiento y mejora de la calidad del aire. La influencia directa que la vegetación tiene sobre la calidad del aire se debe a la producción de oxígeno, la reducción de la temperatura, lo que se traduce en una disminución de los niveles de ozono, al descenso de polución del aire absorbiendo gases contaminantes a través de los estomas de las hojas y a la captación de partículas en suspensión (Nowak et al., 2006). Todo ello supone la reducción de los problemas de salud directa o indirectamente derivados de la contaminación y por tanto de los costes sanitarios (Lovasi et al. 2008, Donovan et al., 2013).

Además y de un modo indirecto, la distribución eficiente de la vegetación en torno a los edificios da como resultado una menor necesidad de consumo energético y, por lo tanto, un descenso en la cantidad de emisiones y en la demanda de energía.

Para estimar la capacidad del arbolado de Madrid de eliminar o absorber contaminantes de la atmósfera y





mejorar la calidad del aire, se ha utilizado el modelo **i-Tree**. De forma específica, se ha cuantificado el volumen filtrado de monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃) y dióxido de azufre (SO₂). Se ha estimado también la capacidad de captación de diferentes partículas contaminantes PM_{2,5} (partículas menores de 2,5 micras).

La estimación realizada por el programa ha sido llevada a cabo tanto en términos cuantitativos como en términos económicos.

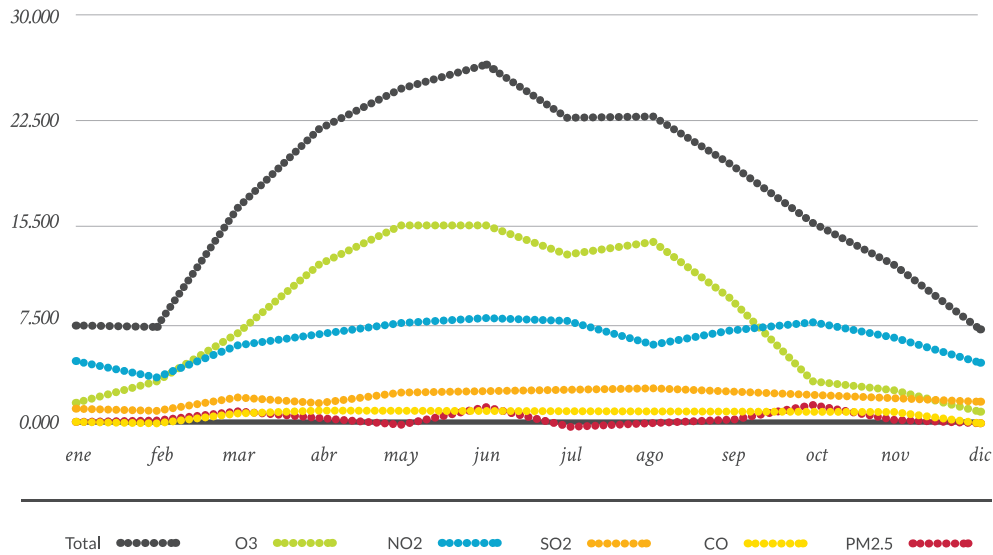
La captación de contaminación por el bosque urbano madrileño se calculó a partir de los datos del inventario completo del arbolado de mantenimiento municipal recogido en el GIS de Patrimonio Verde del Ayuntamiento de Madrid. Con ello se estimó para el resto del arbolado de la capital.

La contaminación captada por la vegetación en Madrid es de 0,011 t/ha año. Estos valores se asemejan a los obtenidos en Londres (0,014) y menores de los de otras ciudades como Glasgow (0,050 tn/ha año) o Barcelona (0,030 tn/ha año), si bien hay que considerar que en las primeras versiones de i-Tree se incorporaba el valor de PM₁₀, incrementando sustancialmente los valores de la contaminación captada frente a las estimaciones actuales donde se utiliza solo el valor PM_{2,5}.

Los factores que influyen en la captación de la contaminación son la cobertura arbórea, el área foliar y las concentraciones de polución atmosférica. La adecuada gestión de estos parámetros contribuye a la mejora de la calidad del aire en las ciudades. En lo que respecta al arbolado, incrementos del área foliar supone un mayor beneficio

	CANTIDAD (TN/AÑO)		VALOR (€/AÑO)	
	Arbolado de mantenimiento municipal	Estimación arbolado urbano Madrid	Arbolado de mantenimiento municipal	Estimación arbolado urbano Madrid
Monóxido de carbono (CO)	6,36	20,80	8.483 €	27.738 €
Ozono (O ₃)	95,62	312,68	897.925 €	2.936.213 €
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	75,32	246,31	707.338 €	2.312.997 €
Dióxido de azufre (SO ₂)	23,27	76,08	53.488 €	174.905 €
Partículas menores de 2,5 (PM _{2,5})	5,32	17,38	33.332 €	108.997 €
CAPTACIÓN CONTAMINACIÓN	205,89	673,25	1.700.566 €	5.560.851 €

CAPTACIÓN DE LOS ÁRBOLES DE MADRID POR CONTAMINANTE

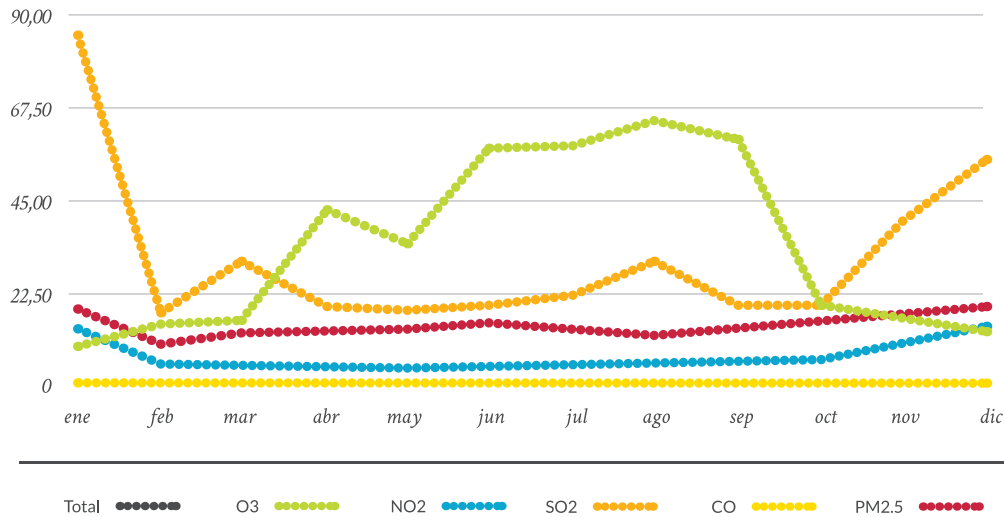


y rendimiento de absorción de contaminación, por lo que se debe tender a mejorar la estructura y volumen de las copas de los árboles y a la selección de especies con una mayor superficie potencial de hojas.

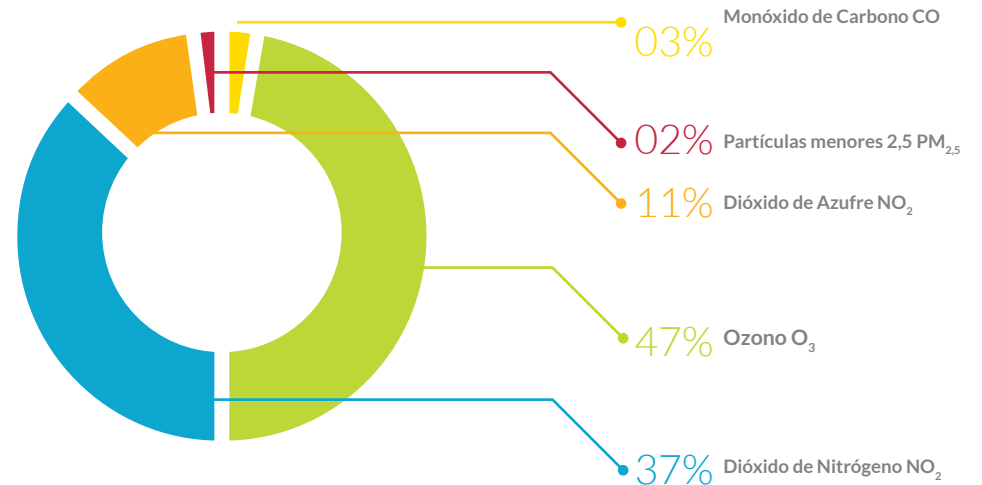
La contaminación captada en Madrid es mayor en verano que en invierno. Presenta un máximo en Julio, coincidiendo con el mes de temperaturas más elevadas, más horas de luz, mayor presión atmosférica y un mes en el que los árboles presentan su copa completamente desarrollada y una gran actividad estomática. Asimismo, son meses de mayor contaminación atmosférica.

El contaminante que más capta la vegetación de Madrid es el **Ozono (O₃)**, con el **46,4%** del total, seguido del **NO₂** que asupone el **36,6%** de los contaminantes absorbidos. Partiendo de los datos del inventario completo de la vegetación de mantenimiento municipal, se ha estimado el total de la contaminación captada por el arbolado de Madrid. Así, se estima una remoción de 21 tn anuales de CO, 313 tn de O₃, 246 tn de NO₂, 76 tn de SO₂ y 17 tn al año de partículas menores de 2,5 micras. En términos económicos, el bosque urbano de Madrid aporta unos beneficios a la ciudad de **5.560.851 €** debidos a la captación de la contaminación.

CONCENTRACIONES POR CONTAMINANTE EN EL AIRE DE MADRID



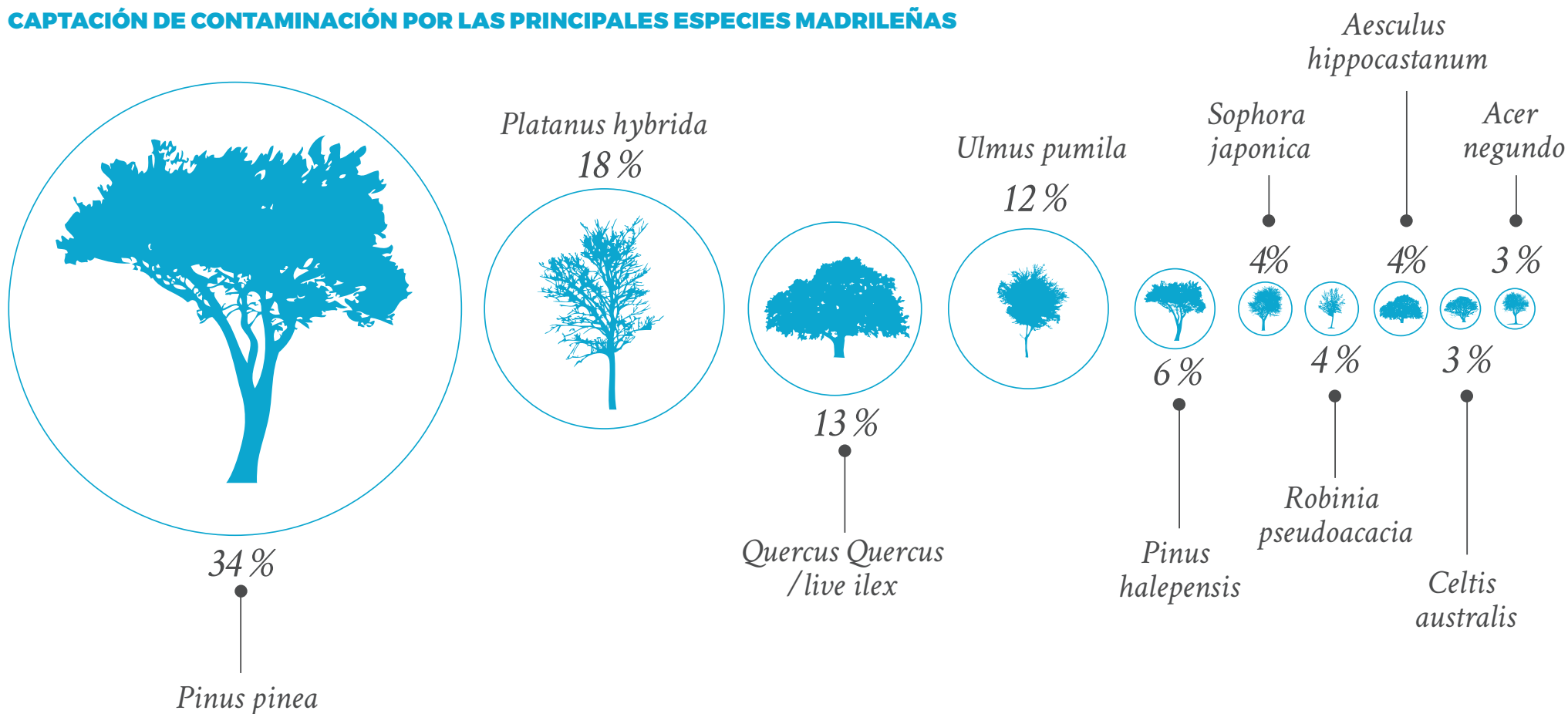
PORCENTAJE DE CADA CONTAMINANTE CAPTADO POR EL BOSQUE URBANO MADRILEÑO



En cuanto a las especies, las diez especies que más contaminación captan en Madrid son las recogidas en la tabla siguiente. El pino piñonero (*Pinus pinea*) supera al resto, con 53 tn/año, seguido del Plátano de sombra (*Platanus hybrida*) con 27 tn/año. Supera por tanto a la tercera especie en importancia, la encina

(*Quercus ilex subsp. rotundifolia*), aun teniendo un menor número de árboles que ésta.

CAPTACIÓN DE CONTAMINACIÓN POR LAS PRINCIPALES ESPECIES MADRILEÑAS





02

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES BIOGÉNICOS

Como vemos, la vegetación de las ciudades es capaz de captar O_3 a través de sus estomas, lo que supone un efecto beneficioso para la calidad del aire. Sin embargo, algunas especies emiten isoprenos y monoterpenos, conocidos como compuestos orgánicos volátiles biogénicos (VOCs). Estos compuestos químicos naturales pueden reaccionar con óxidos de nitrógeno NO_x y generar ozono O_3 y monóxido de carbono CO (Nowak et al., 2000; Nowak et al. 2002; Nowak et al., 2007), lo que supone un efecto negativo a considerar en el balance global de captación de contaminantes.

Su emisión varía principalmente en función de la especie y la temperatura. Por ello, acciones encaminadas al incremento de la cobertura arbórea fomentará una disminución de la temperatura, a la vez que la elección de especies con menos capacidad de emitir VOCs reducirá de forma local la producción de ozono (Nowak et al., 2000; Nowak et al. 2002; Nowak et al., 2007).

Para su cuantificación, el modelo utilizado incluye un algoritmo a través del cual se puede cuantificar tanto la producción de VOCs como de la reducción experimentada en su emisión, en función del tipo de especie, estructura, grado de cobertura, etc.

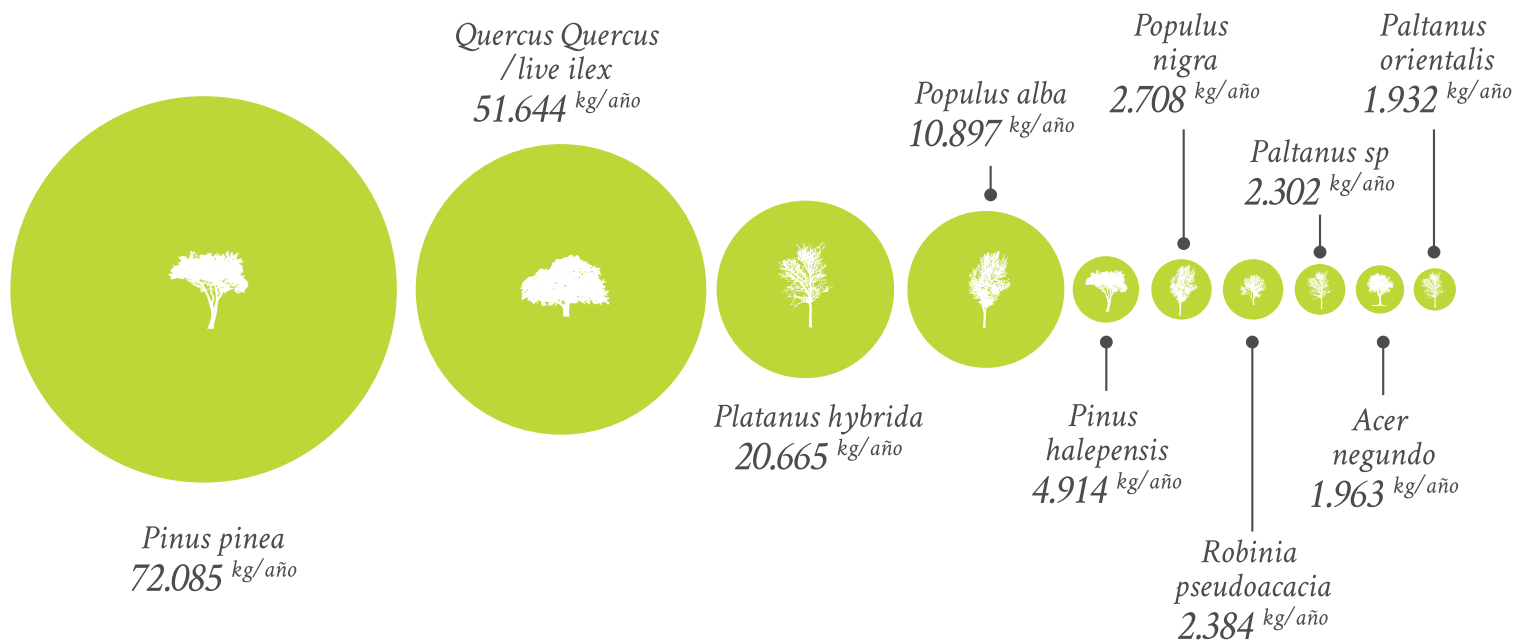
Se ha calculado un total de 192 tn de VOCs emitidos por el arbolado de mantenimiento municipal de Madrid (120 tn de Isoprenos y 72 tn de Monoterpenos). La estimación para el **total del Bosque Urbano de Madrid** es de **629 tn de VOCs** (393 tn Isoprenos y 236 tn Monoterpenos).

Las especies que mayor cantidad de Compuestos orgánicos volátiles biogénicos emitieron fueron la encina (*Quercus ilex*) (37,5%), seguidos del pino piñonero (*Pinus pinea*) (26,8%) y el plátano de sombra (*Platanus hybrida*) (10,7%). Las 10 especies que más emiten suponen el 90,8% de las emisiones anuales, tal y como representa el siguiente gráfico:

EMISIÓN VOC'S ARBOLADO MANTENIMIENTO MUNICIPAL

Especie	ISOPRENOS (G/AÑO)	MONOTERPENO (G/AÑO)	VOC (G/AÑO)
<i>Quercus Quercus/live ilex</i>	70.759.018	1.326.471,26	72.085.488,96
<i>Pinus pinea</i>	261.801	51.381.731,86	51.643.533,25
<i>Platanus hybrida</i>	20.317.192	348.127,59	20.665.319,95
<i>Populus alba</i>	10.802.814	93.978,72	10.896.793,20
<i>Pinus halepensis</i>	41.938	8.170.904,58	8.212.842,47
<i>Populus nigra</i>	2.683.864	23.786,86	2.707.650,75
<i>Robinia pseudoacacia</i>	2.194.192	189.520,16	2.383.712,59
<i>Platanus</i>	2.261.710	40.180,12	2.301.890,46
<i>Acer negundo</i>	19.959	1.943.024,24	1.962.983,72
<i>Platanus orientalis</i>	1.898.257	33.994,55	1.932.251,74
TOTAL MADRID	120.068.711	72.380.045	192.448.753

EMISIÓN VOC'S ARBOLADO MANTENIMIENTO MUNICIPAL





03

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS SECUESTRO Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO

El CO₂ es el principal gas de efecto invernadero responsable del cambio climático de la tierra. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), desde 1990 se ha producido un incremento del 50% en las emisiones de este gas, y tan solo en la primera década del siglo XXI, se ha producido un incremento mayor que en las tres décadas anteriores.

Las grandes ciudades como Madrid son fuentes de CO₂, por lo que se están desarrollando e implementando acciones encaminadas a aminorar su producción. En este sentido, se ha aprobado recientemente el Plan de Calidad del Aire y Cambio Climático de Madrid, consciente de la necesidad de ayudar a mitigar, en la medida de lo posible, este problema global del planeta.

El bosque Urbano ayuda en gran medida a su reducción, al **ser un sumidero natural de CO₂**. Las plantas, en sus procesos fotosintéticos, absorben este gas y desprenden oxígeno, incorporando el carbono a sus hojas, ramas, ramillas, tronco y raíces. Todos los tejidos de una planta se forman a partir del carbono que absorben del aire. En el caso de los árboles, este carbono pasa a formar parte de su estructura y dado que, por regla general, suelen ser longevos, se convierten en un magnífico almacén de este compuesto a largo plazo.

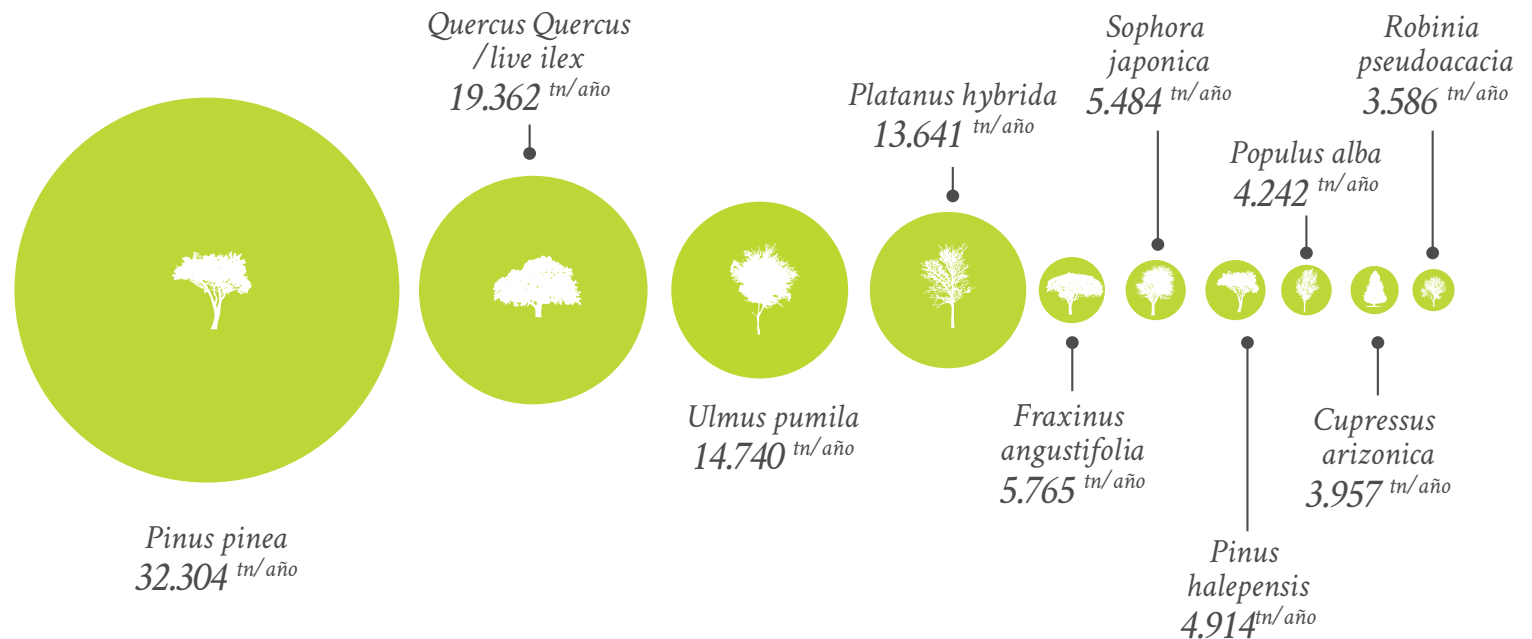
ALMACÉN Y SECUESTRO DE CARBONO

Contaminante	CANTIDAD (TN/AÑO)		VALOR (€)	
	Arbolado de mantenimiento municipal	Estimación arbolado urbano Madrid	Arbolado de mantenimiento municipal	Estimación arbolado urbano Madrid
Almacén de carbono	143.972	470.789	837.918 €	2.739.993 €
Secuestro de carbono	8.922	29.176	51.928 €	169.803 €
TOTAL	152.894	499.965	889.846 €	2.909.796 €

Hay que diferenciar entre el carbono almacenado en su biomasa aérea y subterránea del CO₂ que secuestran anualmente, calculado como el gas removido o absorbido por los árboles. Esta capacidad de absorción varía según las especies, y se incrementa con el tamaño y vitalidad de los pies (Nowak et al., 2002; Nowak, 2006; Nowak et al., 2013).

Hay que tener en cuenta también que el carbono almacenado puede ser devuelto a la atmósfera tras la muerte del árbol y su posterior descomposición, por lo que la supervivencia de los árboles es importante a la hora de gestionar el patrimonio verde de una ciudad (Heisler, G. M., 1986; Nowak et al., 2002; Nowak, 2006; Nowak et al., 2013).

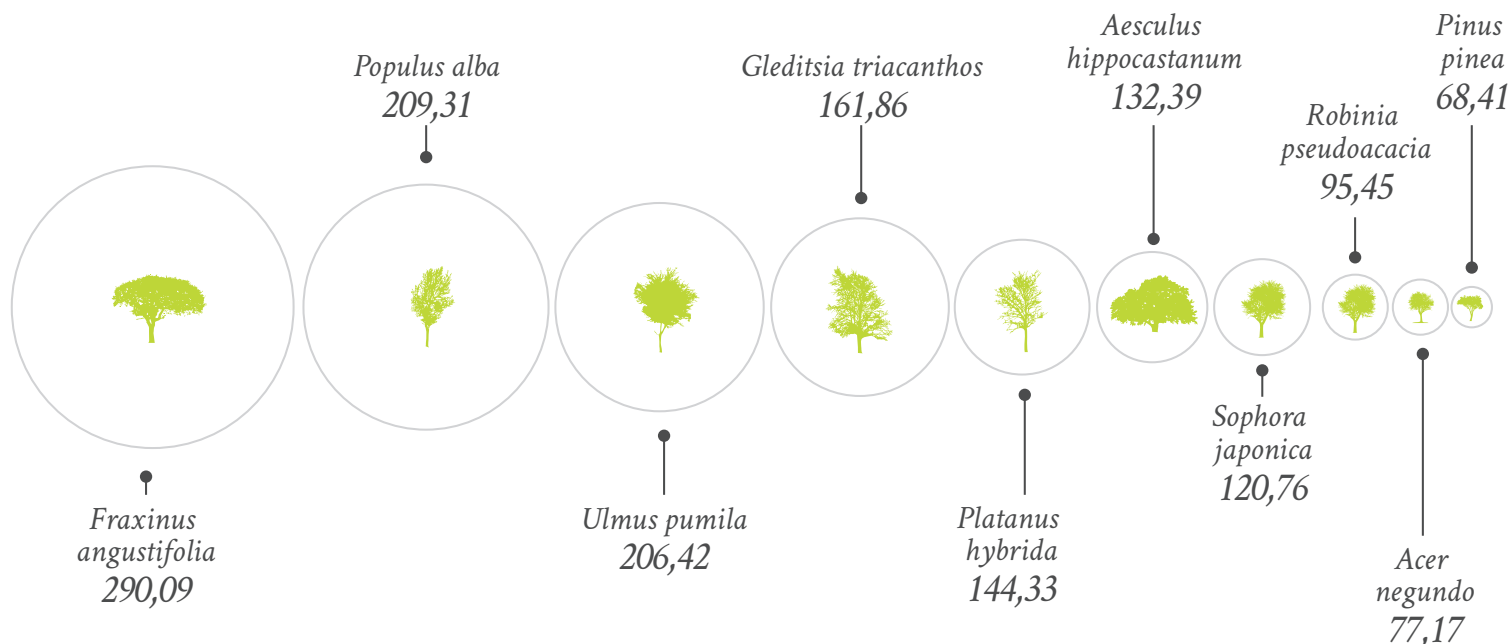
ALMACÉN DE CARBONO



ALMACENAMIENTO DE CARBONO

Especie	Almacén de carbono (tn/año)	Número	Almacén medio anual por árbol (kg/árbol)
<i>Fraxinus angustifolia</i>	5.765	19.874	290,09
<i>Populus alba</i>	4.242	20.268	209,31
<i>Ulmus pumila</i>	14.740	71.408	206,42
<i>Gleditsia triacanthos</i>	2.221	13.724	161,86
<i>Platanus hybrida</i>	13.641	94.514	144,33
<i>Aesculus hippocastanum</i>	3.394	25.637	132,39
<i>Sophora japonica</i>	5.484	45.412	120,76
<i>Robinia pseudoacacia</i>	3.586	37.572	95,45
<i>Acer negundo</i>	2.266	29.368	77,17
<i>Pinus pinea</i>	32.304	472.183	68,41

ALMACÉN MEDIO POR ÁRBOL (TN)



Se ha estimado el carbono almacenado anualmente en los árboles de Madrid en **470.789 tn**. El secuestro de CO₂ se estima en **29.176 tn/año**. En términos económicos, esto supone un valor de **2.739.993 €/año** de carbono almacenado y **169.803 €/año** de secuestro neto.

Las diez especies que almacenan más carbono en los árboles de mantenimiento municipal son las representadas en el gráfico. *Pinus pinea* encabeza este listado, con **32.304 tn/año**, seguida de *Quercus ilex*, *Ulmus pumila* y *Platanus hybrida*. En total, estas 10 especies suponen el **77,39%** del carbono total almacenado de la ciudad.

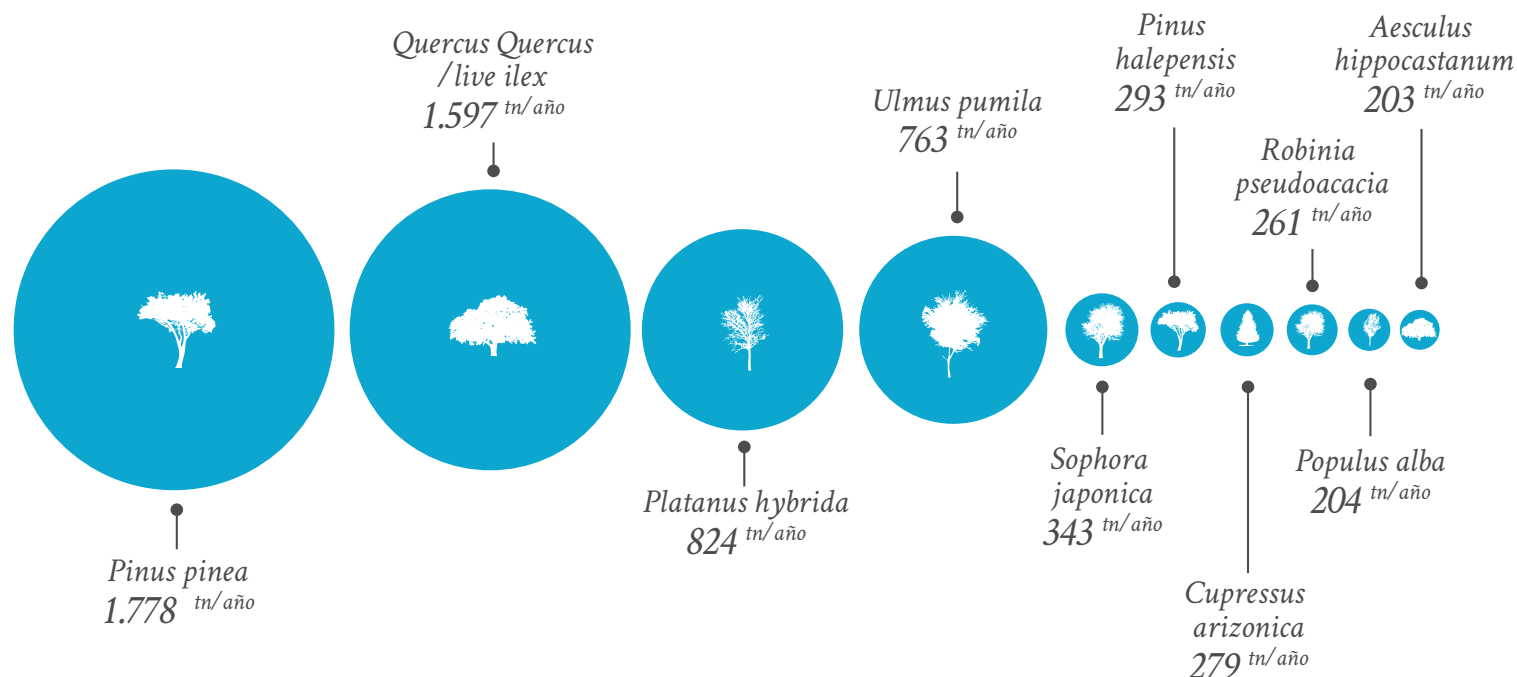
En la tabla se recogen los valores de almacenamiento medio anual por árbol de cada una de estas diez especies, siendo *Fraxinus angustifolia* la de mayor almacén medio por árbol (290,09 kg/árbol), seguida de *Populus alba*, *Ulmus pumila* y *Gleditsia triacanthos*, que alcanzan valores de 209,31, 206,42 y 161,86 kg/árbol respectivamente.

En cuanto a secuestro de carbono, en la gráfica se identifican las diez especies con mayor secuestro anual de carbono

de los árboles de mantenimiento municipal. La especie que más contribuye en términos globales es *Pinus pinea*, con 1.778 tn/año, seguida de *Quercus ilex* (1.597) y *Platanus hybrida* (824).

Los valores de secuestro neto anual por árbol indican que *Ulmus pumila* y *Populus alba* son las especies de mayor beneficio por árbol, con una media de 10,68 y 10,08 kg/árbol y año. Le siguen *Platanus hybrida* y *Aesculus hippocastanum*, con 8,72 y 7,92 kg árbol/año respectivamente.

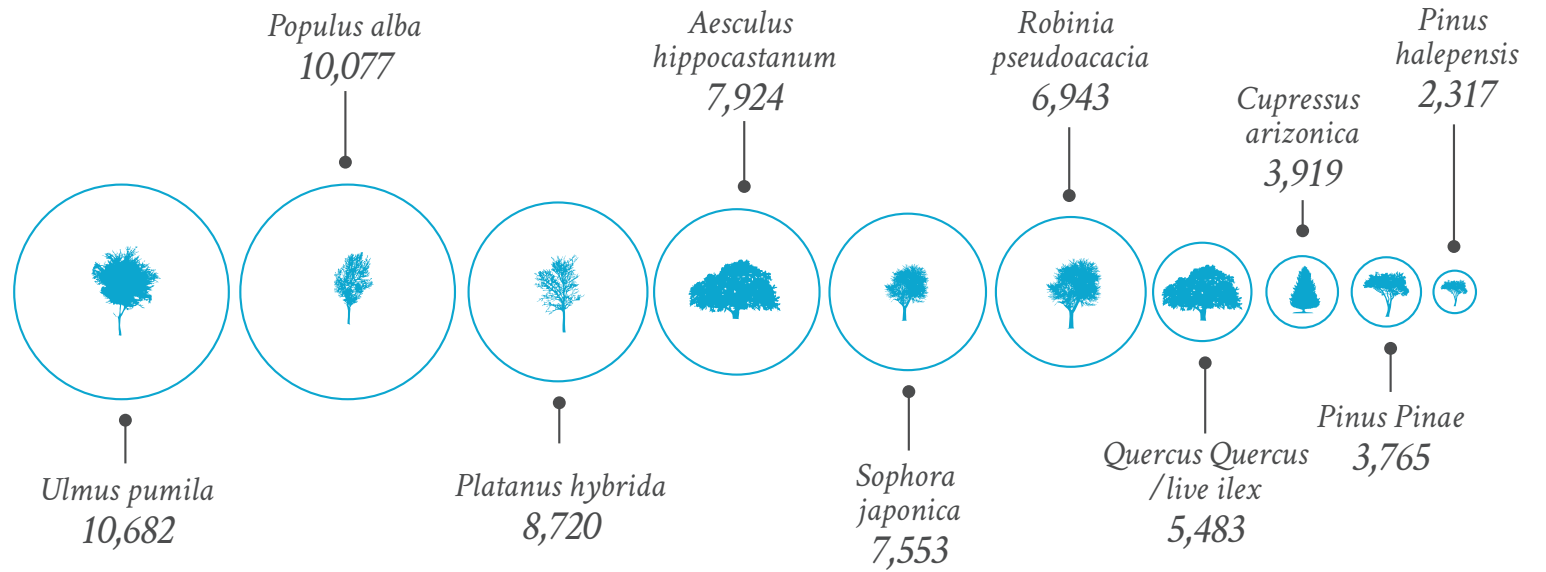
SECUESTRO CARBONO



SECUESTRO DE CARBONO

Especie	Secuestro de carbono (tn/año)	Número	Secuestro medio anual por árbol (kg/árbol)
<i>Ulmus pumila</i>	763	71.408	10,6827
<i>Populus alba</i>	204	20.268	10,0771
<i>Platanus hybrida</i>	824	94.514	8,7202
<i>Aesculus hippocastanum</i>	203	25.637	7,9243
<i>Sophora japonica</i>	343	45.412	7,5537
<i>Robinia pseudoacacia</i>	261	37.572	6,9435
<i>Quercus ilex</i>	1.597	291.207	5,4831
<i>Cupressus arizonica</i>	279	71.279	3,9191
<i>Pinus pinea</i>	1.778	472.183	3,7651
<i>Pinus halepensis</i>	293	126.266	2,3172

SECUESTRO MEDIO ANUAL POR ÁRBOL (KG/ÁRBOL)



04

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS RELACIÓN CON EL USO ENERGÉTICO DE EDIFICIOS

La presencia de arbolado urbano tiene un efecto directo sobre el consumo energético de los edificios de la ciudad. En épocas calurosas como la primavera o el verano de Madrid, la presencia de arbolado en las inmediaciones de los edificios les aporta sombra, reduciendo la influencia de la radiación solar. Asimismo, debido a los efectos de la evapotranspiración, se regula la temperatura local, reduciendo por todo ello el uso de aire acondicionado. En el caso de las estaciones frías, la ubicación adecuada de arbolado próximo a los edificios actuará a modo de barrera de protección frente a los vientos fríos, disminuyendo la pérdida de calor y por tanto el consumo de calefacción. En ambos casos, la presencia de arbolado se traduce en un menor consumo energético por parte de los edificios y una menor emisión de contaminantes a la atmósfera, al mismo tiempo que se reduce la demanda de energía a las plantas productoras (Heisler, G. M., 1986, Nowak, 2002; Nowak et al, 2007).

Por otro lado, los árboles pueden provocar el efecto contrario y aumentar el consumo de energía de los edificios próximos, al disminuir con su presencia la temperatura en invierno o bloquear las brisas frescas del verano, lo que se traduce en un mayor consumo. Pese a estos efectos negativos, en conjunto se han llegado a registrar ahorros de un 20-25% de energía en determinadas construcciones residenciales provistas de arbolado bien emplazado en sus inmediaciones, en comparación con otras construcciones sin protección. Por ello, un diseño adecuado de la localización del arbolado urbano es básico para la consecución de un consumo óptimo y del correspondiente ahorro de energía (Heisler, G. M., 1986, Nowak, 2002; Nowak et al, 2007).

Para la estimación de los efectos del arbolado en el consumo de energía de los edificios de la ciudad, el modelo utiliza la posición del arbolado, su orientación y la distancia a los diversos edificios. Hay que señalar que el modelo empleado está diseñado para el clima, construcciones tipo y eficiencia energética de los Estados Unidos, sin embargo este programa también es capaz de estimar los efectos energéticos de la vegetación para otras localizaciones, equiparándolos con el modelo original, aunque con las correspondientes limitaciones por las diferencias existentes

entre los estilos de construcción de los diferentes lugares de estudio.

Para este análisis en la ciudad de Madrid, se han determinado y seleccionado los árboles de conservación municipal de más de 6 metros de altura y que se encuentran a menos de 18 m de distancia a cualquier edificio. De los ejemplares cuyos datos se recogen en el GIS de Patrimonio Verde del Ayuntamiento de Madrid, un total de **212.915 árboles** cumplen estas condiciones.

Al aplicar el modelo a estos árboles, se obtienen las estimaciones del ahorro energético ligado a los edificios próximos y de esta manera también se ha podido estimar el beneficio aportado a toda la ciudad en su conjunto. Las estimaciones obtenidas por el modelo i-Tree Eco se basan en los siguientes efectos:

EFFECTO EN EL USO DE LA ENERGÍA DEL EDIFICIO. Se analizan los incrementos o disminuciones del BTU y kWh necesarios para calentar o enfriar los edificios con influencia directa de la vegetación.

Respecto a la energía eléctrica, el total de kWh reducidos debido a la presencia de los árboles es de **4.983.082 kWh**. Este dato resulta de la suma de los kWh reducidos debidos a la sombra

producida en los meses de calor (2.999.505 kWh), la reducción de los efectos del viento (148.955 kWh), el enfriamiento del clima local debido a la evapotranspiración (2.975.985 kWh) y el calentamiento del clima (671.394 kWh). A estas cantidades se deben deducir los kWh por el efecto negativo que provoca la sombra en los meses más fríos (-1.812.758 kWh). Como se observa, el cómputo general es positivo.

kWh	TOTAL
kWh calentamiento sombra	-1.812.758
kWh enfriamiento sombra	2.999.505
kWh calentamiento clima	671.394
kWh enfriamiento clima	2.975.985
kWh viento	148.955
TOTAL kWh	4.983.082

En cuanto a la influencia en la variación de BTU (british thermal unit), equivalentes al gas natural en Madrid (1 m3 de gas natural = 36.374 BTU), los resultados obtenidos son negativos, con un valor total de **-22.727.403.738 BTU**. El resultado proviene de la suma de los BTU reducidos del efecto del clima (17.842.703.232 BTU) y del viento (4.680.263.876 BTU) y los BTU aumentados por el efecto sombra que producen los árboles sobre los edificios en épocas frías.

BTU	TOTAL
BTU clima	17.842.703.232
BTU viento	4.680.263.876
BTU sombra	-45.250.370.846
TOTAL BTU	-22.727.403.738

EFFECTO EN LAS EMISIONES DE CARBONO Se evalúa el aumento o disminución en las emisiones de carbono de las fuentes de energía como resultado de los cambios en el consumo de energía. En este caso, se estima en Madrid una cantidad total de **435 toneladas de carbono evitado**.

VALOR DE LOS EFECTOS Para la estimación total de los efectos sobre el uso energético de los edificios, se suman de los valores económicos asociados con los cambios en el consumo de la energía del edificio y sobre las emisiones de carbono.

El precio de la electricidad y del gas natural utilizados para la estimación de valor económico corresponden al precio medio en Madrid en el momento del estudio: 0,13 €/kWh y 0,01465 €/MBtu. El importe del carbono evitado se calculó en función de los valores unitarios utilizados en el resto de capítulos de este estudio.

Los resultados económicos obtenidos para cada uno de los efectos son:

En el cómputo general, los efectos del arbolado en la ciudad sobre la cantidad

CONCEPTO	TOTAL
Beneficios energía eléctrica (€)	647.800 €
Beneficios en combustible (€)	-332.956 €
Beneficios por el carbono evitado (€)	2.227 €
Valor total	317.072€
Total ciudad de Madrid	674.621 €

de energía utilizada para calentar o enfriar las viviendas próximas, aporta un beneficio global de 317.072,15 €. A partir de estos datos se estima que el beneficio total del arbolado urbano de la ciudad de Madrid alcanza los **674.621,59 €**.

A pesar de utilizar los precios locales y los árboles y distancias reales de la ciudad de Madrid, hay que tener en cuenta que este componente del modelo i-Tree Eco está desarrollado para los tipos climáticos de EE.UU, su tipología de edificios y sus condiciones respecto al uso de energía, por lo que los resultados obtenidos para Madrid deben considerarse como una estimación.

05

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS INTERCEPCIÓN DE AGUA DE LLUVIA

El continuo crecimiento de las grandes ciudades viene acompañado de un aumento en las superficies asfaltadas, aceras y edificios, lo que se traduce en un incremento de la impermeabilidad del terreno. Esto supone mayor dificultad para la infiltración del agua de lluvia en el suelo, facilita formación de escorrentías y colapsa las infraestructuras de saneamiento y evacuación de pluviales.



A su vez, los flujos producidos lavan de forma rápida las calles, arrastrando en su camino numerosos contaminantes, partículas nocivas como hidrocarburos, metales, polvo, basura y sustancias orgánicas, siendo una de las principales causas de contaminación de las masas de agua tanto subterráneas como superficiales en las que finalmente desembocan (Xiao et al. 1998; Seitz et al., 2008, Livesley et al. 2015).

Los árboles, arbustos, céspedes y praderas, interceptan y almacenan agua de lluvia en la superficie de sus hojas, ramas y tronco de forma temporal. Este agua se incorpora de nuevo al suelo de forma escalonada y moderada o bien pasa directamente a la atmósfera por evaporación (Korhnak, 2000; Seitz et al., 2008). Así se reduce la escorrentía, mejora la calidad del agua evacuada y se reducen los costes y tamaño de las infraestructuras necesarias de control de avenidas y evacuación de pluviales.

Al mismo tiempo, la vegetación mejora la estructura del suelo con el crecimiento de su sistema radicular y la descomposición de los restos de

materia orgánica. Se incrementa la capacidad de infiltración, la capacidad de retención de agua del suelo y se reduce la escorrentía. Abundando más, se reduce la velocidad de las gotas de lluvia y su inercia al caer al suelo, disminuyendo la erosión.

La capacidad de intercepción del agua depende de la especie, la superficie foliar, la densidad, época del año y el tipo de precipitación. i-Tree Eco permite estimar el volumen anual interceptado por la vegetación de la ciudad y el volumen anual de escorrentía evitada.

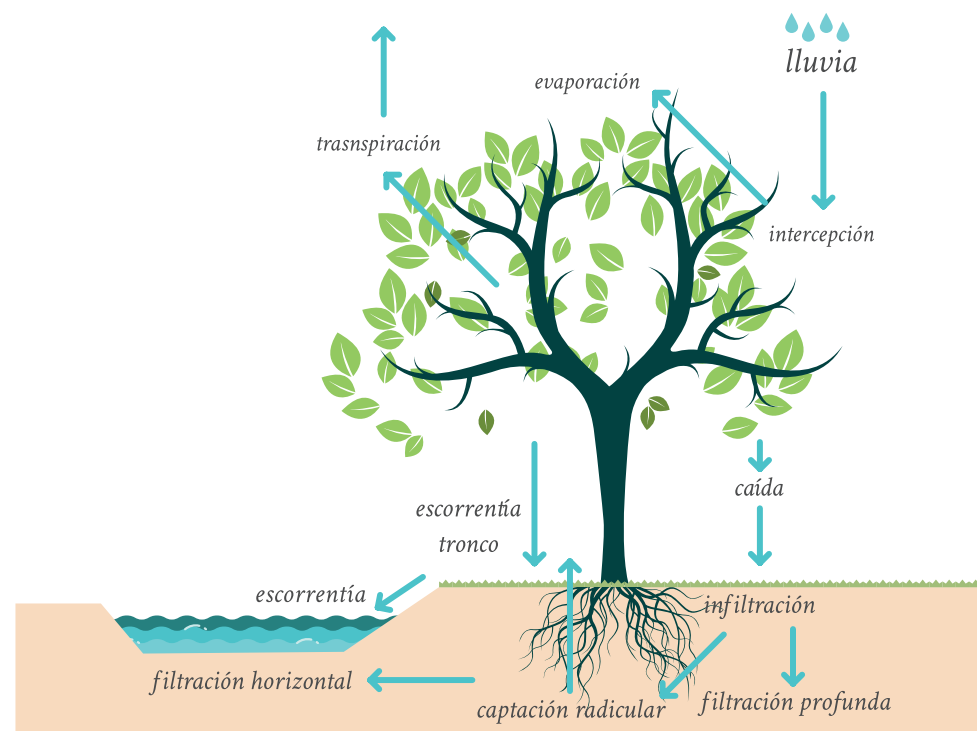
El total de área foliar calculada en Madrid para los árboles de mantenimiento municipal es de 16.375 ha, por lo que se estima en **53.546 ha el área foliar del Bosque Urbano de Madrid**. La **escorrentía evitada** por esta superficie asciende a **814.805 m³/año**, lo que supone un beneficio económico de **1.688.247 €/año**.

En cuanto al volumen de **agua interceptada** por la vegetación, se calcula en **1.210.963 m³/año** para los árboles incluidos en zonas

verdes y viario conservados por el Ayuntamiento de Madrid. Calculando este valor para el conjunto de Madrid, el volumen total de agua interceptada por el bosque urbano madrileño se estima en **3.959.850 m³/año**.

Las diez especies que más agua interceptan en el arbolado de mantenimiento municipal son las recogidas en la siguiente tabla:

Especies	Evaporación potencial (m ³)	Evaporación (m ³)	Transpiración (m ³)	Agua interceptada (m ³ /año)	Escorrentía evitada (m ³ /año)
<i>Pinus pinea</i>	4.363.954	205.558	1.552.405	205.704	44.324
<i>Platanus hybrida</i>	2.279.061	103.900	847.197	103.954	22.387
<i>Quercus ilex</i>	1.649.942	77.989	583.358	78.044	16.820
<i>Ulmus pumila</i>	1.547.869	71.258	566.536	71.295	15.360
<i>Pinus halepensis</i>	700.167	32.845	251.122	32.869	7.080
<i>Sophora japonica</i>	507.275	22.925	189.831	22.934	4.941
<i>Robinia pseudoacacia</i>	498.472	22.868	183.814	22.880	4.927
<i>Aesculus hippocastanum</i>	474.560	21.922	172.765	21.933	4.726
<i>Celtis australis</i>	398.143	18.272	147.070	18.283	3.936
<i>Acer negundo</i>	373.414	17.217	136.791	17.227	3.710



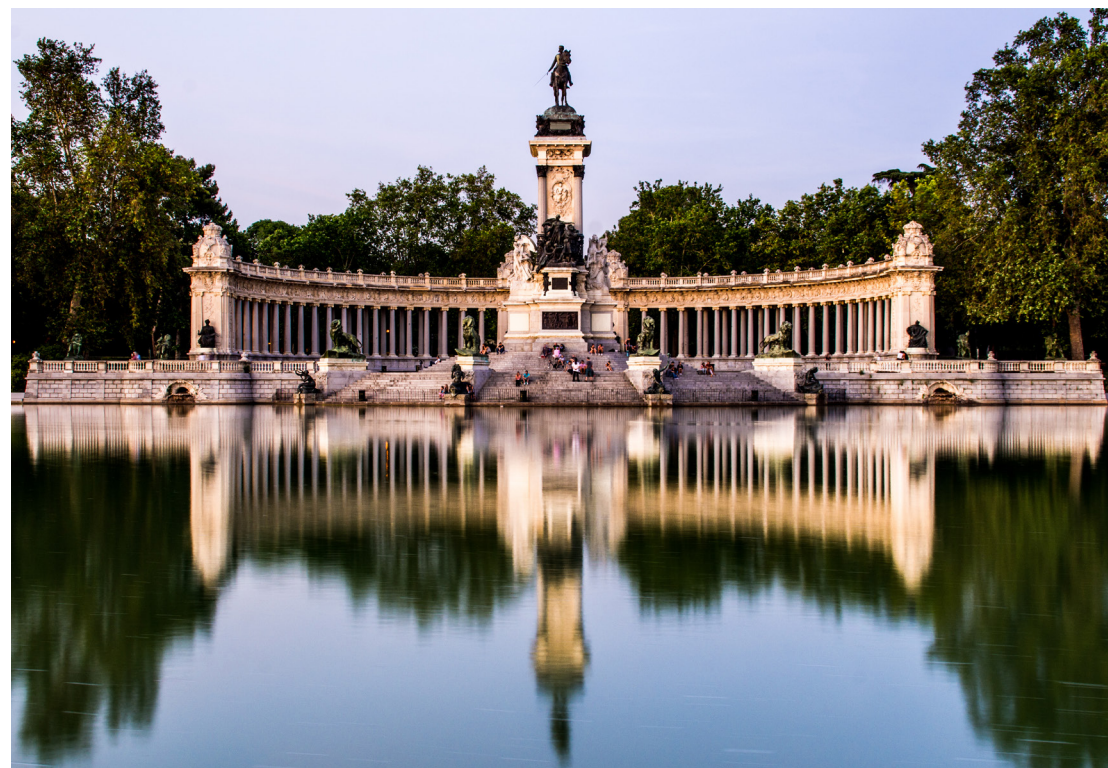
La vegetación es parte activa del ciclo de agua.

Pinus pinea representa el 25,9% del agua interceptada por los árboles de mantenimiento municipal, seguido de *Platanus hybrida* con el 13,1%, *Quercus ilex* (9,8%) y *Ulmus pumila* (8,97%).

En total, las 10 especies que interceptan más agua representan el 74,9% del captado por los árboles de Madrid.

En Madrid existen más de 500 especies de árboles, agrupadas en este estudio en 444 especies distintas contempladas en la base de datos del software i-Tree Eco. De ellas, destacan *Eucalyptus globulus* y *Taxodium mucronatum* como las especies de mayor rendimiento de agua interceptada y escorrentía evitada por árbol, con valores de 1,33 y 0,94 m³/árbol y año. No obstante, estas especies no son representativas del bosque urbano madrileño.

De las especies más comunes en Madrid, las de mayor ratio agua interceptada por árbol pertenecen al género *Platanus* (*Platanus sp.*, *Platanus occidentalis* y *Platanus hybrida*) y *Ulmus*, con valores medios próximos a 0,36 m³/árbol y año. *Aesculus hippocastanum* y *Ailanthus altissima* son también especies comunes con elevados índices medios de captación de agua, con 0,27 y 0,24 m³/árbol y año respectivamente.





06

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS SALUD PÚBLICA

La contaminación del aire incide directamente en la salud de los habitantes y visitantes de las grandes ciudades. Está comprobado que niveles altos de contaminación atmosférica generan la aparición de distintas patologías y enfermedades, especialmente de tipo cardiovascular y pulmonar.

Además, existen estudios que relacionan la pérdida de arbolado y el incremento de la mortalidad por este tipo de patologías. Estos efectos tienen una gradación tanto en la gravedad de sus consecuencias como en la población de riesgo afectada (Ballester et al., 1999, Ballester, 2005; Ballester et al., 2010, Donovan et al., 2013).

Al mismo tiempo se ha demostrado una correlación entre el incremento de la tasa de mortalidad y la exposición continuada a altos niveles de contaminación. Para la Organización Mundial de la Salud (OMS), la contaminación atmosférica es uno de los principales elementos causantes de problemas sanitarios en el mundo. Según este organismo, el número de muertes prematuras relacionadas con la contaminación atmosférica asciende hasta una cifra próxima a los dos millones, de las cuales 300.000 se producen en Europa.

El Observatorio de la Sostenibilidad en España, en su informe Calidad del aire en las ciudades de 2007 recoge los siguientes efectos sobre la salud de los distintos contaminantes:

PARTÍCULAS PM

Se introducen en los pulmones e incluso en el sistema circulatorio. Agrava enfermedades respiratorias como el asma e incrementa el aumento de enfermedades cardiovasculares. Incrementa el número de defunciones prematuras.

OZONO



Produce inflamación de las vías respiratorias e irritación de los ojos, disminuye las defensas y daña los pulmones, provocando cambios de distinto alcance en el sistema respiratorio.

ÓXIDOS DE NITRÓGENO



Afecta al sistema respiratorio provocando irritaciones y agravando enfermedades respiratorias (asma). Deriva en reducción de la capacidad pulmonar, incrementando el número de atenciones sanitarias y de defunciones prematuras.

ÓXIDOS DE AZUFRE



Provoca enfermedades del sistema respiratorio como bronquitis y otras patologías.

MONÓXIDO DE CARBONO



Contaminante altamente tóxico que reduce la capacidad de la sangre para transportar oxígeno desde los pulmones al resto de tejidos.

El modelo i-Tree permite estimar el número de incidencias médicas que evita la presencia del arbolado de Madrid. Estos cálculos están basados en datos de población y salud de Estados Unidos, por lo que hay que ser cautos a la hora de interpretar los resultados obtenidos para la ciudad de Madrid.

Se parte de una población en Madrid de 3.166.000 personas, con una densidad de 5.239,12 habitantes por km². A partir de estos datos, se utilizan ecuaciones de regresión que estiman el valor (en dólares) de cada uno de los contaminantes, obteniéndose los siguientes beneficios económicos del bosque urbano de Madrid:

CONTAMINANTE	Arbolado de mantenimiento municipal	Bosque urbano de Madrid
NO ₂	207.600 €	678.850 €
O ₃	1.476.465 €	4.828.073 €
PM _{2,5}	2.849.629 €	9.315.789 €
SO ₂	15.273 €	49.945 €
	4.548.968 €	14.872.659 €

Basándose en las incidencias médicas medias por contaminante de las áreas urbanas de distintas ciudades en Estados Unidos se obtienen los resultados de las incidencias médicas evitadas por la captación de contaminantes debidas al bosque urbano de Madrid.

En Madrid tiene especial relevancia en términos de beneficio económico para el Sistema de Salud la captación de partículas menores de 2,5 micras por los árboles de la ciudad y la captación de ozono.

El asma y los problemas respiratorios agudos son las patologías médicas más numerosas de las evitadas por la captación de contaminantes debidas al Bosque Urbano madrileño. Se han estimado 3.676 casos de exacerbación de asma y 4.089 síntomas respiratorios agudos evitados anualmente por los árboles de Madrid.

CONTAMINANTE	INCIDENCIA MÉDICA	INCIDENCIAS EVITADAS BOSQUE URBANO MADRID
NO ₂	Síntomas respiratorios agudos	341.6
	Exacerbación del asma	3,242.3
	Visitas a emergencias	4.4
	Admisiones de hospital	13.8
O ₃	Síntomas Respiratorios Agudos	1,908.2
	Visitas a emergencias	0.5
	Admisiones de hospital	19.5
	Mortalidad	0.7
	Días de pérdida de colegio	473.7
PM _{2,5}	Bronquitis aguda	0.8
	Infarto agudo de miocardio	0.4
	Síntomas Respiratorios Agudos	1,831.5
	Exacerbación del asma	356.6
	Bronquitis crónica	0.3
	Visitas a emergencias	0.5
	Admisiones Hospitalarias, Cardiovasculares	0.2
	Admisiones Hospitalarias, Respiratorio	0.2
	Síntomas Respiratorios Inferiores	10.7
	Mortalidad	1.4
Síntomas respiratorios superiores	7.6	
Días de pérdida de trabajo	66.8	
SO ₂	Síntomas Respiratorios Agudos	7.8
	Exacerbación del asma	78.0
	Visitas a emergencias	0.8
	Admisiones de hospital	1.4

01

EFFECTOS EQUIVALENTES. ESTIMACIÓN COMPARATIVA DE EMISIONES

El bosque urbano de Madrid ofrece beneficios que incluyen el almacenamiento y secuestro de carbono y la eliminación de contaminantes del aire. Para comparar y hacernos una idea de su valor relativo, los beneficios de los árboles se equipararon con las estimaciones de las emisiones medias municipales de carbono, las emisiones promedio de automóviles de pasajeros y las emisiones promedio de los hogares.

EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO (C) ES EQUIVALENTE A



LA ELIMINACIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO) ES EQUIVALENTE A



LA ELIMINACIÓN DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO₂) ES EQUIVALENTE A:



LA ELIMINACIÓN DE DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂) ES EQUIVALENTE A:





ANEJO 01

COMPARACIÓN CON OTROS BOSQUES URBANOS

El modelo i-Tree permite comparar los bosques urbanos de las ciudades entre sí, al tratarse de un único método de análisis. No obstante, los datos se deben tratar con prudencia, ya que existen varios atributos variables de cada ciudad que afectan a la estructura del bosque urbano y sus funciones.

En las siguientes tablas, comparamos los resultados obtenidos en Madrid con los de otras ciudades del mundo que han utilizado el mismo método.

El número de árboles de Madrid se ha calculado, al igual que en el resto de las ciudades de estas tablas comparativas, contando con los árboles de las zonas verdes, parques y jardines (públicos y privados), el arbolado viario y las zonas forestales de la ciudad. Con 5.700.000 árboles, Madrid es una de las ciudades más arboladas de las analizadas, siendo su cobertura arbórea calculada por medio del software i-Tree canopy (26%) la tercera más elevada.

Los valores de almacén y secuestro de carbono medios son inferiores a los obtenidos en otras ciudades. Se debe contemplar el incremento de los diámetros medios del arbolado como medida para aumentar el carbono almacenado. Se observa que el paso a clases diamétricas superiores puede incidir exponencialmente en los cálculos de almacén de carbono en árboles de la misma especie.

En cuanto a la remoción de la contaminación, la diferencia comparativa con otras ciudades puede deberse a que en el cálculo de este parámetro se contemplen o no las cantidades de PM_{10} captadas. En el caso de Madrid únicamente se han obtenido los valores de remoción de $PM_{2,5}$, tal y como establece i-Tree en sus nuevas versiones. Por ello, los valores son inferiores comparativamente a otras ciudades en las que se suman además las cantidades de PM_{10} , como se contemplaba en los análisis del software i-Tree en versiones anteriores.

Ciudad	País	Número de árboles	Cobertura vegetal arbórea (%)	Almacén de carbono (tn)	Secuestro de carbono (tn/año)	Remoción de contaminación (tn/año)
Toronto	Canadá	10.200.000	24,0	900.000	36.600	1.100
Atlanta	EE.UU.	9.415.000	36,8	1.220.000	42.100	1.508
Londres	Reino Unido	8.421.000	14,0	2.367.000	77.200	2.241
Madrid	España	5.700.000	26,0	470.789	29.176	673
Nueva York	EE.UU.	5.212.000	20,9	1.350.000	42.300	1.677
Chicago	EE.UU.	3.585.000	17,2	649.544	22.861	806
Philadelphia	EE.UU.	2.113.000	15,7	481.000	14.600	523
Glasgow	Reino Unido	2.000.000	15,0	183.000	9.000	283
Washington DC	EE.UU.	1.928.000	28,6	474.000	14.600	379
Barcelona	España	1.419.823	24,0	113.437	5.422	305
Boston	EE.UU.	1.183.000	22,3	289.000	9.500	258
San Francisco	EE.UU.	668.000	11,9	194.000	5.100	141
Edimburgo	Reino Unido	600.000	17,0	145.611	4.721	100



ANEJO 02

LISTADO DE ESPECIES

Especie	Cantidad	Porcentaje Población	Area Foliar (M2)	Porcentaje Área Foliar	Biomasa Foliar (Kg)	Dominancia	Almacén De Carbono (Tn)	Secuestro Carbono (Tn/Año)	Captación Contaminación (Kg/Año)	Producción Oxígeno (Tn/Año)	Agua Interceptada (M3/Año)	Escorrentía Evitada (M3/Año)	Evaporación Potencial (M3)	Evaporación (M3)	Transpiración (M3)	Isoprenos (G/Año)	Monoterpenos (G/Año)	Voc (G/Año)
Abelia	18	0,001%	630	0,000%	47,16	0,001%	1,10	0,08	0,79	0,22	4,62	0,95	64,96	4,62	23,30	0,00	0,00	0,00
Abies	107	0,006%	9.398	0,006%	1.323,71	0,012%	5,58	0,35	11,97	0,94	70,13	14,42	1.004,20	70,11	372,06	87,66	16.543,68	16.631,34
Abies alba	233	0,013%	11.320	0,007%	1.594,42	0,020%	5,51	0,51	14,55	1,37	85,21	17,53	1.218,06	85,17	453,86	106,01	19.927,01	20.033,02
Abies cephalonica	5	0,000%	668	0,000%	94,06	0,001%	0,40	0,02	0,85	0,05	5,04	1,04	70,01	5,03	25,23	6,06	1.175,49	1.181,55
Abies concolor	2	0,000%	28	0,000%	3,93	0,000%	0,01	0,00	0,03	0,01	0,20	0,04	2,85	0,20	1,02	0,25	49,09	49,34
Abies nordmanniana	81	0,005%	19.218	0,012%	2.706,76	0,016%	16,18	0,60	24,52	1,59	143,82	29,57	2.054,54	143,73	759,51	178,93	33.828,89	34.007,82
Abies pinsapo	212	0,012%	24.386	0,015%	3.434,61	0,027%	18,03	0,94	30,84	2,50	181,53	37,35	2.556,59	181,41	928,00	222,94	42.925,51	43.148,45
Abies procera	4	0,000%	753	0,000%	105,99	0,001%	0,43	0,02	0,94	0,05	5,54	1,14	78,64	5,54	28,54	6,89	1.324,68	1.331,57
Abutilon	31	0,002%	928	0,001%	69,52	0,002%	0,42	0,09	1,15	0,24	6,78	1,40	94,30	6,78	33,34	0,00	0,00	0,00
Acacia	236	0,014%	25.698	0,016%	6.211,00	0,029%	19,45	1,45	32,79	3,86	192,27	39,55	2.740,22	192,20	1.012,55	398,46	73.816,18	74.214,64
Acacia cyclops	166	0,010%	15.266	0,009%	3.689,76	0,019%	8,85	0,79	20,15	2,10	117,92	24,22	1.690,03	117,83	644,33	250,30	46.096,45	46.346,75
Acacia dealbata	1.010	0,058%	85.431	0,052%	20.648,00	0,110%	60,54	4,87	109,27	13,00	641,33	131,91	9.119,54	640,99	3.368,33	1.353,76	255.159,05	256.512,81
Acacia longifolia	4	0,000%	632	0,000%	152,71	0,001%	0,65	0,04	0,81	0,10	4,73	0,97	67,40	4,73	24,85	10,04	1.897,79	1.907,83
Acacia retinodes	19	0,001%	2.894	0,002%	699,44	0,003%	2,32	0,15	3,67	0,40	21,51	4,42	306,94	21,50	112,93	44,85	8.353,88	8.398,73
Acer	1.550	0,089%	67.379	0,041%	3.792,25	0,130%	15,38	3,05	86,34	8,13	506,12	104,26	7.234,39	505,86	2.686,79	237,30	22.796,80	23.034,00
Acer buergerianum	168	0,010%	6.905	0,004%	852,43	0,014%	1,27	0,32	8,86	0,84	51,71	10,62	752,01	51,70	283,54	54,10	5.124,34	5.178,43
Acer campestre	7.069	0,405%	450.790	0,275%	25.371,44	0,680%	178,57	25,16	564,90	67,10	3.324,73	684,41	46.809,72	3.323,29	16.897,06	1.542,85	152.520,43	154.063,28
Acer forrestii	9	0,001%	264	0,000%	14,88	0,001%	0,04	0,01	0,35	0,04	2,05	0,42	28,93	2,04	10,88	0,94	89,42	90,37
Acer ginnala	3	0,000%	121	0,000%	6,79	0,000%	0,01	0,00	0,15	0,01	0,89	0,18	12,76	0,89	4,68	0,42	40,82	41,24
Acer macrophyllum	1	0,000%	252	0,000%	14,18	0,000%	0,13	0,01	0,32	0,02	1,87	0,39	26,81	1,87	9,88	0,88	85,26	86,14
Acer monspessulanum	1.023	0,059%	43.104	0,026%	2.425,94	0,085%	10,95	2,23	54,60	5,95	320,55	65,90	4.554,89	320,41	1.670,27	149,78	14.583,74	14.733,52
Acer negundo	29.368	1,683%	3.533.240	2,158%	323.219,80	3,841%	2.266,37	176,75	4.476,31	471,35	26.282,67	5.405,62	373.464,83	26.270,86	136.865,65	19.959,38	1.943.024,24	1.962.983,72
Acer opalus	5	0,000%	258	0,000%	14,51	0,000%	0,06	0,01	0,33	0,03	1,93	0,40	27,37	1,93	10,05	0,90	87,23	88,13
Acer palmatum	50	0,003%	1.699	0,001%	95,65	0,004%	0,62	0,10	2,17	0,26	12,75	2,62	179,69	12,74	65,64	5,90	574,97	580,86
Acer platanoides	3.881	0,222%	357.607	0,218%	19.301,06	0,441%	128,33	14,40	452,28	38,40	2.652,85	545,61	37.841,24	2.651,95	13.892,34	1.193,53	116.028,21	117.221,74
Acer platanoides 'Crimson King'	124	0,007%	4.100	0,003%	230,76	0,010%	0,61	0,19	5,36	0,50	31,27	6,43	452,25	31,27	172,50	14,80	1.387,19	1.401,99
Acer pseudoplatanus	5.662	0,324%	526.580	0,322%	36.823,61	0,646%	192,66	20,96	663,22	55,88	3.889,60	799,93	55.515,24	3.888,64	20.330,19	2.270,35	221.364,88	223.635,23
Acer rubrum	17	0,001%	805	0,000%	54,21	0,001%	0,20	0,04	1,02	0,10	5,98	1,23	84,77	5,97	30,92	3,34	325,90	329,23
Acer saccharinum	1.143	0,065%	78.814	0,048%	4.148,06	0,114%	38,67	3,03	100,32	8,07	588,67	121,09	8.380,18	588,39	3.087,68	257,46	24.936,17	25.193,52
Acer tataricum	45	0,003%	1.737	0,001%	97,76	0,004%	0,32	0,08	2,21	0,21	12,92	2,65	187,92	12,92	70,43	6,17	587,67	593,84

Especie	Cantidad	Porcentaje Población	Area Foliar (M2)	Porcentaje Área Foliar	Biomasa Foliar (Kg)	Dominancia	Almacén De Carbono (Tn)	Secuestro Carbono (Tn/Año)	Captación Contaminación (Kg/Año)	Producción Oxígeno (Tn/Año)	Agua Interceptada (M3/Año)	Escorrentía Evitada (M3/Año)	Evaporación Potencial (M3)	Evaporación (M3)	Transpiración (M3)	Isoprenos (G/Año)	Monoterpenos (G/Año)	Voc (G/Año)
Calocedrus decurrens	1.449	0,083%	60.372	0,037%	9.454,55	0,120%	45,04	3,54	76,56	9,43	449,64	92,47	6.385,11	449,42	2.338,82	619,47	23.632,49	24.251,95
Camellia japonica	4	0,000%	62	0,000%	4,62	0,000%	0,01	0,00	0,08	0,01	0,48	0,10	6,75	0,48	2,54	0,00	0,00	0,00
Carpinus betulus	2.389	0,137%	168.764	0,103%	10.166,55	0,240%	43,61	5,87	214,57	15,65	1.259,59	259,04	17.912,95	1.258,95	6.587,95	629,79	61.115,64	61.745,43
Carya illinoensis	6	0,000%	306	0,000%	21,30	0,001%	0,17	0,02	0,39	0,07	2,32	0,48	32,85	2,31	12,19	1,33	128,03	129,36
Casimiroa edulis	3	0,000%	268	0,000%	20,05	0,000%	0,20	0,02	0,33	0,05	1,95	0,40	27,41	1,95	9,77	1,28	121,13	122,41
Castanea sativa	182	0,010%	6.856	0,004%	480,67	0,015%	2,29	0,40	8,57	1,07	50,47	10,39	707,58	50,44	253,85	0,00	0,00	0,00
Casuarina	1	0,000%	315	0,000%	23,57	0,000%	0,26	0,01	0,41	0,04	2,37	0,49	35,23	2,37	13,63	1.142,96	9,82	1.152,77
Casuarina cunninghamiana	8	0,000%	820	0,001%	61,39	0,001%	0,45	0,05	1,01	0,14	5,99	1,23	83,27	5,99	29,44	2.719,90	25,57	2.745,48
Casuarina equisetifolia	19	0,001%	1.952	0,001%	149,09	0,002%	0,30	0,03	2,45	0,09	14,31	2,94	208,36	14,31	77,16	6.950,72	62,11	7.012,83
Catalpa bignonioides	15.423	0,884%	1.030.714	0,629%	54.971,49	1,513%	692,34	70,76	1.310,94	188,69	7.691,85	1.581,74	109.551,34	7.688,41	40.346,93	34.113,22	41.307,47	75.420,69
Catalpa bungei	281	0,016%	18.234	0,011%	1.110,14	0,027%	12,64	1,29	23,38	3,43	137,11	28,20	1.956,13	137,03	725,56	694,20	834,20	1.528,40
Ceanothus	13	0,001%	234	0,000%	17,52	0,001%	0,08	0,02	0,30	0,06	1,74	0,36	24,87	1,74	9,15	0,00	153,28	153,28
Cedrus	458	0,026%	28.125	0,017%	4.404,51	0,043%	29,44	1,39	35,62	3,72	208,87	42,95	2.981,78	208,81	1.096,78	289,83	29.358,66	29.648,49
Cedrus atlantica	7.870	0,451%	809.762	0,495%	126.812,07	0,945%	1.134,80	43,99	1.022,19	117,29	6.012,51	1.236,97	84.905,33	6.009,22	30.869,41	8.243,36	845.275,25	853.518,61
Cedrus atlantica glauca	2	0,000%	663	0,000%	103,84	0,001%	1,11	0,03	0,82	0,09	4,84	1,00	67,34	4,84	23,81	6,57	692,13	698,71
Cedrus deodara	12.184	0,698%	1.254.630	0,766%	196.480,26	1,464%	1.730,19	64,38	1.591,61	171,68	9.355,52	1.924,52	132.418,91	9.350,19	48.410,16	12.839,80	1.309.652,66	1.322.492,46
Cedrus libani	278	0,016%	39.669	0,024%	6.212,37	0,040%	60,95	1,93	49,52	5,14	291,41	59,94	4.112,10	291,29	1.480,90	400,58	41.408,91	41.809,49
Celtis	154	0,009%	14.217	0,009%	838,09	0,018%	3,76	0,51	18,09	1,35	106,09	21,82	1.513,29	106,06	558,06	52,11	629,77	681,88
Celtis australis	33.757	1,934%	3.733.273	2,280%	220.069,80	4,214%	1.281,09	124,92	4.759,89	333,11	27.912,15	5.740,79	398.196,89	27.900,34	147.151,46	13.699,86	165.367,61	179.067,57
Celtis laevigata	114	0,007%	18.152	0,011%	1.234,12	0,018%	7,02	0,63	23,05	1,67	135,13	27,79	1.930,13	135,09	711,06	76,64	927,36	1.004,00
Celtis occidentalis	1.650	0,095%	237.803	0,145%	12.372,70	0,240%	141,20	10,47	301,63	27,93	1.771,26	364,34	25.157,05	1.770,43	9.224,40	764,40	9.297,22	10.061,63
Celtis sinensis	1	0,000%	79	0,000%	4,67	0,000%	0,02	0,00	0,10	0,01	0,58	0,12	8,46	0,58	3,13	0,29	3,51	3,80
Cephalotaxus harringtonia	4	0,000%	173	0,000%	12,92	0,000%	0,19	0,02	0,22	0,05	1,30	0,27	18,02	1,30	6,47	0,71	91,52	92,23
Ceratonia siliqua	59	0,003%	3.386	0,002%	253,52	0,005%	1,45	0,18	4,41	0,47	25,76	5,30	370,51	25,75	140,20	1.591,95	345,15	1.937,10
Cercis canadensis	7	0,000%	194	0,000%	12,43	0,001%	0,03	0,01	0,25	0,02	1,46	0,30	21,25	1,46	8,05	0,79	4,67	5,46
Cercis siliquastrum	7.107	0,407%	482.457	0,295%	30.895,36	0,702%	526,22	31,86	616,08	84,97	3.615,66	743,61	51.437,21	3.613,73	18.993,70	1.921,70	11.607,90	13.529,60
Chaenomeles japonica	1	0,000%	17	0,000%	1,30	0,000%	0,00	0,00	0,02	0,00	0,13	0,03	1,89	0,13	0,72	0,00	0,00	0,00
Chaenomeles speciosa	1	0,000%	90	0,000%	6,75	0,000%	0,16	0,01	0,12	0,03	0,70	0,14	9,86	0,70	3,71	0,00	0,00	0,00
Chamaecyparis	86	0,005%	2.681	0,002%	670,20	0,007%	1,88	0,17	3,41	0,45	20,06	4,13	282,73	20,04	103,05	43,69	558,40	602,09
Chamaecyparis lawsoniana	750	0,043%	35.512	0,022%	8.878,02	0,065%	28,17	2,04	45,23	5,44	265,48	54,62	3.770,32	265,37	1.386,72	583,92	7.397,13	7.981,05
Chamaecyparis nootkatensis	8	0,000%	1.018	0,001%	254,46	0,001%	1,31	0,05	1,33	0,14	7,74	1,59	111,64	7,74	42,38	17,21	212,02	229,23
Chamaecyparis obtusa	6	0,000%	31	0,000%	7,68	0,000%	0,01	0,00	0,04	0,01	0,23	0,05	3,28	0,23	1,21	0,51	6,40	6,90
Chamaecyparis thyoides	1	0,000%	44	0,000%	11,06	0,000%	0,03	0,00	0,06	0,01	0,33	0,07	4,72	0,33	1,75	0,73	9,22	9,95
Chamaerops	126	0,007%	3.942	0,002%	661,14	0,010%	0,49	0,01	5,05	0,03	29,63	6,09	421,52	29,61	155,81	7.940,94	220,34	8.161,28
Chamaerops humilis	739	0,042%	19.014	0,012%	3.188,91	0,054%	2,05	0,03	24,25	0,08	142,02	29,20	2.038,88	141,97	757,14	38.508,30	1.062,80	39.571,10



ANEJO 03

NOTAS ACERCA DE LA METODOLOGÍA

El Modelo i-Tree Eco está diseñado para el uso de datos estandarizados de arbolado, polución horaria y datos meteorológicos para cuantificar la estructura del bosque urbano de las ciudades y sus beneficios ecosistémicos.

La versión utilizada en este estudio ha sido la **V6 de 2017**. La metodología utilizada es la desarrollada por el Servicio Forestal de Estados Unidos (Nowak et al, 2010) y se fundamenta en los siguientes procesos:

CARACTERÍSTICAS DE LOS ÁRBOLES

El área foliar de los árboles utilizados en este estudio se ha calculado usando las mediciones de las dimensiones de copa y

transparencia de cada ejemplar, dado que se parte de la información árbol a árbol de los pies de conservación municipal del Ayuntamiento de Madrid. En caso de no contar con esta información de partida, el modelo ha estimado este valor.

ELIMINACIÓN DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

La remoción de la contaminación atmosférica se ha obtenido a partir de los cálculos de eliminación horaria por parte de las copas de los árboles (por especie) calculadas para el O_3 y los dióxidos de azufre (SO_2) y nitrógeno (NO_2). Estos cálculos se basan en modelos híbridos de deposición en hojas grandes y multicapas de las coberturas vegetales (Balducchi et al, 1987). Como la eliminación del monóxido de carbono (CO) y de la materia en pequeñas partículas (PM) por la vegetación no está directamente relacionada con la transpiración, las tasas de remoción (velocidades de deposición) para estos

contaminantes se fundamentan en valores medios medidos y recogidos en diversos artículos científicos (Bidwell y Fraser, 1972; Lovett, 1994) que se basan en la fenología y área foliar de cada especie. La eliminación de partículas incorporó una tasa de resuspensión del 50 por ciento de las partículas de vuelta a la atmósfera (Zinke 1967).

Las actualizaciones recientes del software i-Tree Eco (2011 en adelante) para el modelado de la calidad del aire se basan en simulaciones mejoradas del índice de área foliar, procesamiento e interpolación de los datos meteorológicos y de la contaminación y valores monetarios actualizados de los contaminantes (Hirabayashi et al 2012; Hirabayashi 2011).

Los árboles eliminan $PM_{2.5}$ cuando estas partículas se depositan sobre las superficies de las hojas (Nowak et al 2013). Este $PM_{2.5}$ depositado puede ser resuspendido a la atmósfera, eliminado durante eventos de lluvia y disuelto o transferido al suelo. Esta combinación de eventos puede conducir a la eliminación de la contaminación positiva o negativa y el valor dependiendo de diversos factores atmosféricos. Generalmente, la eliminación de $PM_{2.5}$ es positiva con beneficios positivos. Sin embargo, hay algunos casos en que la eliminación neta es negativa o las partículas resuspendidas conducen a un aumento de las concentraciones de contaminación y valores negativos. Durante algunos meses (por ejemplo, sin lluvia), los árboles resuspenden más partículas de las que eliminan.

La resuspensión también puede conducir a un aumento de las concentraciones totales de $PM_{2.5}$ si las circunstancias de la capa límite son menores durante los períodos netos de resuspensión que durante los períodos netos de remoción. Dado que el valor de la eliminación de la contaminación se basa en el cambio en la concentración de contaminación, es posible tener situaciones en las que los árboles eliminan las $PM_{2.5}$, pero aumentan las concentraciones y, por tanto, tienen valores negativos durante los períodos de eliminación global positiva. Estos eventos no son comunes, pero pueden ocurrir.

En los informes emitidos por i-Tree Eco, el valor por defecto de la eliminación de la contaminación del aire se calcula sobre la base de la incidencia





local de efectos adversos sobre la salud y los costos medios nacionales de Estados Unidos. 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 (Murray et al 1994) se utilizan los costos medios nacionales en Estados Unidos.

En el caso de la ciudad de Madrid, el valor de eliminación de la contaminación se ha calculado sobre la base de los precios de 1,334 € por tonelada (monóxido de carbono CO), 9,391 € por tonelada (ozono O₃), 9,391 € por tonelada dióxido de nitrógeno NO₂), 2,299 euros por tonelada (dióxido de azufre NO₂) y 6,270 € por tonelada (partículas inferiores a 2,5 micras PM_{2,5}).

ALMACENAMIENTO Y SECUESTRO DE CARBONO

El **almacenamiento de carbono** es la cantidad de carbono que forma parte de la estructura de las plantas leñosas, tanto en su partes aérea como radicular. Para calcular el almacenamiento de carbono, se obtuvo la biomasa de cada uno de los árboles utilizando fórmulas recogidas en la literatura científica y

a partir de los datos dendrométricos tomados del inventario de cada árbol de mantenimiento municipal del Ayuntamiento de Madrid. 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).

Para ajustar esta diferencia, los resultados de biomasa para árboles urbanos se multiplicaron por 0,8. No se realizaron por tanto ajustes para los árboles que se encuentran en condiciones naturales dentro de la propia ciudad (entornos o tipologías de parques forestales). La biomasa seca de los árboles se convirtió en carbono almacenado multiplicando por 0,5.

El **secuestro de carbono** es la captación del dióxido de carbono (CO₂) del aire por las plantas. Para estimar la cantidad bruta de carbono secuestrada anualmente, se utilizó el diámetro medio de crecimiento por cada especie o género y clase diamétrica. A partir del diámetro existente de cada árbol en el año x, se estimó el diámetro y almacenamiento de carbono en el año (x + 1).

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).

No obstante, para el Estudio que se presenta de la Ciudad de Madrid, se ha utilizado el valor del Certificado de Emisiones Reducidas del mercado de carbono conforme al . Los valores de almacenamiento de carbono y secuestro de carbono se han obtenido sobre la base de 5,82 €/tn, conforme a la cotización del bono de 18 de agosto de 2017.

En este caso, es importante destacar la gran variación que experimenta el mercado de carbono, que hace unos años superaba los 28 €/tn, principalmente a la hora de comparar con los valores obtenidos en otras

ciudades o actualizar el valor de la ciudad de Madrid.

Así, ciudades con un valor económico de almacenamiento y secuestro de carbono muy elevado con respecto a los beneficios calculados para la ciudad de Madrid, se deben principalmente a la cotización del bono de carbono en el momento de ejecución del estudio, que ha llegado a ser 5 veces superior al considerado para el presente análisis. .

PRODUCCIÓN DE OXÍGENO

La cantidad de oxígeno producido se calcula a partir del secuestro de carbono en base a sus pesos atómicos: liberación neta de O₂ (kg/año) = Secuestro neto de carbono (kg/año) × 32/12. Para estimar la tasa neta de secuestro de carbono, la cantidad de carbono secuestrado como resultado del crecimiento de los árboles se reduce

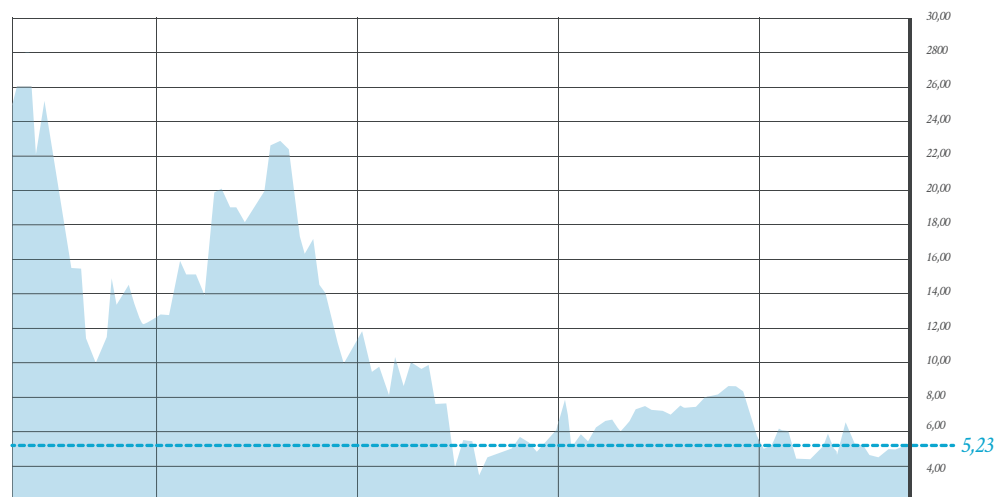
por la cantidad perdida resultante de su mortalidad. El secuestro neto de carbono y la producción anual neta de oxígeno del bosque urbano tienen en cuenta la descomposición de los árboles (Nowak et al 2007).

Sin embargo, cuando se parte de proyectos que cuentan con inventario pie a pie completos, como el de la ciudad de Madrid, la producción de oxígeno se calcula a partir del secuestro bruto de carbono y por tanto no se ha tenido en cuenta en este caso la mortalidad de los árboles.

ESCORRENTÍA EVITADA

La escorrentía superficial anual evitada se calcula sobre la base de la intercepción del agua de lluvia por la vegetación. Aunque las hojas de los árboles, las ramas y la corteza pueden captar la precipitación y, de este modo, mitigar el escurrimiento superficial, sólo se toma en cuenta en este análisis la precipitación interceptada por las hojas.

El valor de la escorrentía evitada se ha basado en valores promedio de la Serie de Guías Comunitarias de Árboles del Servicio Forestal de los Estados Unidos (McPherson et al., 1999; 2000; 2001; 2002; 2003; 2004; 2006a; 2006b; 2006c; 2007; 2010; Peper et al 2009); Para este análisis, el valor de escorrentía evitado se calcula sobre la base del precio de 2,072 € por m³.



Variación del precio del carbono en los últimos siete años

CONSUMO ENERGÉTICO EN EDIFICIOS

Los efectos estacionales de los árboles en el uso de energía por los edificios fueron calculados basándose en los procedimientos descritos en la bibliografía (McPherson y Simpson 1999) utilizando la distancia y la dirección de los árboles a los edificios, la altura de los árboles y los datos dendrométricos del árbol. Para calcular el valor monetario del ahorro de energía, se han utilizado los precios de Madrid para kWh y MBTU.

El valor de ahorro de energía se ha calculado sobre la base de los precios locales de 0,13 € por kWh y 0,01465 € por MBTU.

VALORES ESTRUCTURALES

El valor estructural es el valor de un árbol basado en el propio recurso físico (por ejemplo, el coste de tener que reemplazar un árbol con un árbol similar). Los valores estructurales se basaron en los procedimientos de valoración del Consejo de Tasadores de Árboles y Paisajes, que utiliza las especies de árboles, el diámetro, la condición y la información de localización (Nowak et al 2002a, 2002b). El valor estructural no se puede incluir para proyectos internacionales si no hay suficientes datos locales para completar los procedimientos de valoración.

EFECTOS EQUIVALENTES DEL ARBOLADO

El efecto o valor relativo de los beneficios de los árboles se calcula para mostrar qué cantidad de almacenamiento, secuestro de carbono y remoción de contaminantes equivalen, en emisiones de carbono, a los de vehículos o viviendas.

Las emisiones municipales de carbono se basan en las emisiones de carbono per cápita de los Estados Unidos en 2010 (Centro de Análisis de Información sobre Dióxido de Carbono, 2010). Las emisiones per cápita se multiplicaron por la población de la ciudad para estimar las emisiones totales de carbono de Madrid.

Las tasas de emisión de vehículos de servicio ligero (g/ml) para CO, NOx, COV, PM₁₀ y SO₂ para 2010 (*Bureau of Transportation Statistics* 2010, Heirigs et al 2004) PM_{2.5} para 2011-2015 (*California Air Resources Board* 2013) y CO₂ para 2011 (U.S. *Environmental Protection Agency*, 2010) se multiplicaron por millas promedio por vehículo en 2011 (*Federal Highway Administration*, 2013) para determinar las emisiones promedio por vehículo.

Las emisiones se basan en el consumo medio de electricidad kWh, el uso de Btu en el gas natural, combustible, queroseno, GLP y el consumo de Btu

por hogar en 2009 (*Energy Information Administration*, 2013 y 2014).

- La emisión de CO₂, SO₂ y NOx por kWh son de *Leonardo Academy* 2011. La emisión de CO por kWh supone que 1/3 de un uno por ciento de las emisiones de C son CO, basándose en la *Energy Information Administration* 1994. Emisión de PM₁₀ por kWh de Layton 2004
- Las emisiones de CO₂, NOx, SO₂ y CO por Btu para gas natural, propano y butano (promedio utilizado para representar GLP), Combustible n°4 y n°6 (promedio utilizado para representar el fuel oil y el queroseno) son de *Leonardo Academy* 2011
- Las emisiones de CO₂ por Btu de madera de *Energy Information Administration* 2014
- Las emisiones de CO, NOx y SOx por Btu sobre la base de emisiones totales de la combustión de madera (toneladas) se han obtenido de *British Columbia Ministry* 2005 y Comisión Forestal de Georgia 2009.

BIBLIOGRAFÍA

Abdollahi, K.K.; Ning, Z.H.; Appeaning, A., eds. 2000. Global climate change and the urban forest. Baton Rouge, LA: GCRCC and Franklin Press. 77 p.

Animal and Plant Health Inspection Service. 2010. Plant Health – Asian longhorned beetle. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service.

Baldocchi, D. 1988. A multi-layer model for estimating sulfur dioxide deposition to a deciduous oak forest canopy. *Atmospheric Environment*. 22: 869-884.

Baldocchi, D.D.; Hicks, B.B.; Camara, P. 1987. A canopy stomatal resistance model for gaseous deposition to vegetated surfaces. *Atmospheric Environment*. 21: 91-101.

Ballester, F. 2005. Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Rev. Esp. Salud Pública* 79, 159-175.

Ballester Díez, F., Tenías, J.M. y Pérez-Hoyos, S. 1999. Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud: Una introducción. *Rev.Esp. Salud Pública*, 73, 109-121.

Ballester Díez, F., Boldo Pascua, E., Díaz Jiménez, J., Linares Gil, C., y Querol Carceller, X. 2010. Observatorio DKV de Salud y Medio Ambiente en España. *Contaminación Atmosférica y Salud*. DKV Seguros.

Bidwell, R.G.S.; Fraser, D.E. 1972. Carbon monoxide uptake and metabolism by leaves. *Canadian Journal of Botany*. 50: 1435-1439.

British Columbia Ministry of Water, Land, and Air Protection. 2005. Residential wood burning emissions in British Columbia. British Columbia.

Broecker, W.S. 1970. Man's oxygen reserve. *Science* 168(3939): 1537-1538.

Bureau of Transportation Statistics. 2010. Estimated National Average Vehicle Emissions Rates per Vehicle by Vehicle Type using Gasoline and Diesel. Washington, DC: Bureau of Transportation Statistics, U.S. Department of Transportation. Table 4-43.

Burnside, R.E.; Holsten, E. H.; Fettig, C.J.; Kruse, J. J.; Schultz, M.E.; Hayes, C.J.; Graves, A.D.; Seybold, S.J. 2011. Northern Spruce Engraver. *Forest Insect & Disease Leaflet* 180. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 12 p.

California Air Resources Board. 2013. Methods to Find the Cost-Effectiveness of Funding Air Quality Projects. Table 3 Average Auto Emission Factors. CA: California Environmental Protection Agency, Air Resources Board.

Carbon Dioxide Information Analysis Center. 2010. CO2 Emissions (metric tons per capita). Washington, DC: The World Bank.

Cardelino, C.A.; Chameides, W.L. 1990. Natural hydrocarbons, urbanization, and urban ozone. *Journal of Geophysical Research*. 95(D9): 13,971-13,979.

Childs, R. 2011. Winter Moth Identification and Management. Amherst, MA: University of Massachusetts Amherst, Landscape, Nursery & Urban Forestry Program.

Ciesla, W. M. 2001. *Tomicus piniperda*. North American Forest Commission. Exotic Forest Pest Information System for North America (EXFOR).

Ciesla, W. M.; Kruse, J. J. 2009. Large Aspen Tortrix. *Forest Insect & Disease Leaflet* 139. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 8 p.

Clarke, S. R.; Nowak, J.T. 2009. Southern Pine Beetle. *Forest Insect & Disease Leaflet* 49. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 8 p.

Cranshaw, W.; Tisserat, N. 2009. Walnut twig beetle and the thousand cankers disease of black walnut. *Pest Alert*. Ft. Collins, CO: Colorado State University.

DeMars, C. J., Jr.; Roettgering, B. H. 1982. Western Pine Beetle. *Forest Insect & Disease Leaflet* 1. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 8 p.

Diller, J. D. 1965. Chestnut Blight. *Forest Pest Leaflet* 94. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 7 p.

Donovan, G.H., Butry, D.T., Michael, Y.L., Prestemon, J.P., Liebhold, A.M., Gatzliolis, D. and Mao M.Y. 2013. The Relationship between trees and Human Health: Evidence from the spread of the emerald ash borer. *Journal of Preventive Medicine* 44(2): 139-145.

Eastern Forest Environmental Threat Assessment Center. Dutch Elm Disease. <http://threatsummary.forestthreats.org/threats/threatSummaryViewer.cfm?threatID=43>

Energy Information Administration. 1994. Energy Use and Carbon Emissions: Non-OECD Countries. Washington, DC: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy.

Energy Information Administration. 2013. CE2.1 Fuel consumption totals and averages, U.S. homes. Washington, DC: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy.

Energy Information Administration. 2014. CE5.2 Household wood consumption. Washington, DC: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy.

FAO. 2016. Directrices para la silvicultura urbana y periurbana, por Salbitano, F., Borelli, S., Conigliaro, M. y Chen, Y. 2017. Directrices para la silvicultura urbana y periurbana, Estudio FAO: Montes No 178, Roma, FAO.

Federal Highway Administration. 2013. Highway Statistics 2011. Washington, DC: Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation. Table VM-1.

Fellin, D. G.; Dewey, J. E. 1986. Western Spruce Budworm. *Forest Insect & Disease Leaflet* 53. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 10 p.

Ferrell, G. T. 1986. Fir Engraver. *Forest Insect & Disease Leaflet* 13. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 8 p.

Georgia Forestry Commission. 2009. Biomass Energy Conversion for Electricity and Pellets Worksheet. Dry Branch, GA: Georgia Forestry Commission.

Gibson, K.; Kegley, S.; Bentz, B. 2009. Mountain Pine Beetle. *Forest Insect & Disease Leaflet* 2. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 12 p.

Haugen, D. A.; Hoebeke, R. E. 2005. Sirex woodwasp - Sirex noctilio F. (Hymenoptera: Siricidae). *Pest Alert*. NA- PR-07-05. Newtown Square, PA: Department of Agriculture, Forest Service, Northern Area State and Private Forestry.

Heirigs, P.L.; Delaney, S.S.; Dulla, R.G. 2004. Evaluation of MOBILE Models: MOBILE6.1 (PM), MOBILE6.2 (Toxics), and MOBILE6/CNG. Sacramento, CA: National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board.

Heisler, G.M. 1986. Energy savings with trees. *Journal of Arboriculture* 12, N°5, 113-125.

Hessburg, P. F.; Goheen, D. J.; Bega, R.V. 1995. Black Stain Root Disease of Conifers. *Forest Insect & Disease Leaflet* 145. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service.

Hessburg, P. F.; Goheen, D. J.; Bega, R.V. 1995. Black Stain Root Disease of Conifers. *Forest Insect & Disease Leaflet* 145. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service.

Hirabayashi, S. 2011. Urban Forest Effects-Dry Deposition (UFORE-D) Model Enhancements, <http://www.itreetools.org/eco/resources/UFORE-D-enhancements.pdf>

- Hirabayashi, S. 2012. i-Tree Eco Precipitation Interception Model Descriptions, http://www.itreetools.org/eco/resources/iTree_Eco_Precipitation_Interception_Model_Descriptions_V1_2.pdf
- Hirabayashi, S.; Kroll, C.; Nowak, D. 2011. Component-based development and sensitivity analyses of an air pollutant dry deposition model. *Environmental Modeling and Software*. 26(6): 804-816.
- Hirabayashi, S.; Kroll, C.; Nowak, D. 2012. i-Tree Eco Dry Deposition Model Descriptions V 1.0
- Holsten, E.H.; Thier, R.W.; Munson, A.S.; Gibson, K.E. 1999. The Spruce Beetle. Forest Insect & Disease Leaflet 127. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 12 p.
- Houston, D. R.; O'Brien, J. T. 1983. Beech Bark Disease. Forest Insect & Disease Leaflet 75. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 8 p.
- Interagency Working Group on Social Cost of Carbon, United States Government. 2015. Technical Support Document: Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis Under Executive Order 12866. <http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/omb/inforeg/scc-tds-final-july-2015.pdf>
- Kliejunas, J. 2005. Phytophthora ramorum. North American Forest Commission. Exotic Forest Pest Information System for North America (EXFOR).
- Korhnan, L.V. and S.W. Vince. 2005. Managing hydrological impacts of urbanization. In *Forests at the Wildland-Urban Interface: Conservation and Management*, eds. Susan W. Vince, Mary L. Duryea, Edward A. Macie, and L. Annie Hermansen, 175–200. New York: CRC Press.
- Kruse, J.; Ambourn, A.; Zogas, K. 2007. Aspen Leaf Miner. Forest Health Protection Leaflet. R10-PR-14. Juneau, AK: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Alaska Region.
- Kucera, D. R.; Orr, P. W. 1981. Spruce Budworm in the Eastern United States. Forest Pest Leaflet 160. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 8 p.
- Layton, M. 2004. 2005 Electricity Environmental Performance Report: Electricity Generation and Air Emissions. CA: California Energy Commission.
- Leonardo Academy. 2011. Leonardo Academy's Guide to Calculating Emissions Including Emission Factors and Energy Prices. Madison, WI: Leonardo Academy Inc.
- Liebhold, A. 2010 draft. Personal communication on the geographic distribution of forest pest species.
- Livesley, S.J., McPherson, E.G. and Calfapietra, C. 2015. The Urban Forest and Ecosystem Services: Impacts on Urban Water, Heat, and Pollution Cycles at the Tree, Street, and City Scale. *Journal of Environmental Quality* 45, 119-124.
- Lovasi, G.G., Quinn, J.W., Neckerman, K.M, Perzanowski, M.S. and Rundle, A. 2008. Children living in areas with more street trees have lower prevalence of asthma. *Journal of Epidemiology and Community Health* 62, 647-649.
- Lovett, G.M. 1994. Atmospheric deposition of nutrients and pollutants in North America: an ecological perspective. *Ecological Applications*. 4: 629-650.
- McPherson, E.G.; Maco, S.E.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Xiao, Q.; VanDerZanden, A.M.; Bell, N. 2002. Western Washington and Oregon Community Tree Guide: Benefits, Costs, and Strategic Planting. International Society of Arboriculture, Pacific Northwest, Silverton, OR.
- McPherson, E.G.; Simpson, J.R. 1999. Carbon dioxide reduction through urban forestry: guidelines for professional and volunteer tree planters. Gen. Tech. Rep. PSW-171. Albany, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. 237 p.
- McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Crowell, A.M.N.; Xiao, Q. 2010. Northern California coast community tree guide: benefits, costs, and strategic planting. PSW-GTR-228. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-228. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.
- McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Gardner, S.L.; Vargas, K.E.; Maco, S.E.; Xiao, Q. 2006a. Coastal Plain Community Tree Guide: Benefits, Costs, and Strategic Planting PSW-GTR-201. USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.
- McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Gardner, S.L.; Vargas, K.E.; Xiao, Q. 2007. Northeast community tree guide: benefits, costs, and strategic planting.
- McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Maco, S.E.; Gardner, S.L.; Cozad, S.K.; Xiao, Q. 2006b. Midwest Community Tree Guide: Benefits, Costs and Strategic Planting PSW-GTR-199. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.
- McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Maco, S.E.; Gardner, S.L.; Vargas, K.E.; Xiao, Q. 2006c. Piedmont Community Tree Guide: Benefits, Costs, and Strategic Planting PSW-GTR 200. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.
- McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Maco, S.E.; Xiao Q.; Mulrean, E. 2004. Desert Southwest Community Tree Guide: Benefits, Costs and Strategic Planting. Phoenix, AZ: Arizona Community Tree Council, Inc. 81 :81.
- McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Scott, K.I.; Xiao, Q. 2000. Tree Guidelines for Coastal Southern California Communities. Local Government Commission, Sacramento, CA.
- McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Xiao, Q. 1999. Tree Guidelines for San Joaquin Valley Communities. Local Government Commission, Sacramento, CA.
- McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Xiao, Q.; Maco, S.E.; Hoefler, P.J. 2003. Northern Mountain and Prairie Community Tree Guide: Benefits, Costs and Strategic Planting. Center for Urban Forest Research, USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.
- McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Xiao, Q.; Pittenger, D.R.; Hodel, D.R. 2001. Tree Guidelines for Inland Empire Communities. Local Government Commission, Sacramento, CA.
- Michigan State University. 2010. Emerald ash borer. East Lansing, MI: Michigan State University [and others].
- Mielke, M. E.; Daughtrey, M. L. How to Identify and Control Dogwood Anthracnose. NA-GR-18. Broomall, PA: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Area and Private Forestry.
- 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.
- Nicholls, T. H.; Anderson, R. L. 1977. How to Identify White Pine Blister Rust and Remove Cankers. St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Area State and Private Forestry
- Northeastern Area State and Private Forestry. 1998. How to identify and manage Dutch Elm Disease. NA- PR-07-98. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Area State and Private Forestry.
- Northeastern Area State and Private Forestry. 2005. Gypsy moth digest. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Area State and Private Forestry.
- 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. 1995. Trees pollute? A "TREE" explains it all. In: Proceedings of the 7th National Urban Forestry Conference. Washington, DC: American Forests: 28-30.
- Nowak, D.J. 2000. The interactions between urban forests and global climate change. In: Abdollahi, K.K.; Ning, Z.H.; Appeaning, A., eds. Global Climate Change and the Urban Forest. Baton Rouge, LA: GCRCC and Franklin Press: 31-44.
- Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Bodine, A., Greenfield, E. 2014. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*. 193:119-129.
- Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Bodine, A., Hoehn, R. 2013. Modeled PM2.5 removal by trees in ten U.S. cities and associated health effects. *Environmental Pollution*. 178: 395-402.
- Nowak, D.J.; Civerolo, K.L.; Rao, S.T.; Sistla, S.; Luley, C.J.; Crane, D.E. 2000. A modeling study of the impact of urban trees on ozone. *Atmospheric Environment*. 34: 1601-1613.
- Nowak, D.J.; Crane, D.E. 2000. The Urban Forest Effects (UFORE) Model: quantifying urban forest structure and functions. In: Hansen, M.; Burk, T., eds. Integrated tools for natural resources inventories in the 21st century. Proceedings of IUFRO conference. Gen. Tech. Rep. NC-212. St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Research Station: 714-720.
- Nowak, D.J.; Crane, D.E.; Dwyer, J.F. 2002a. Compensatory value of urban trees in the United States. *Journal of Arboriculture*. 28(4): 194 - 199.

- Nowak, D.J.; Crane, D.E.; Stevens, J.C.; Hoehn, R.E.** 2005. The urban forest effects (UFORE) model: field data collection manual. V1b. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station, 34 p. http://www.fs.fed.us/ne/syracuse/Tools/downloads/UFORE_Manual.pdf
- Nowak, D.J.; Crane, D.E.; Stevens, J.C.; Ibarra, M.** 2002b. Brooklyn's urban forest. Gen. Tech. Rep. NE-290. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station. 107 p.
- Nowak, D.J.; Dwyer, J.F.** 2000. Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems. In: Kuser, John, ed. Handbook of urban and community forestry in the northeast. New York, NY: Kluwer Academics/Plenum: 11-22.
- Nowak, D.J.; Hoehn, R.; Crane, D.** 2007. Oxygen production by urban trees in the United States. *Arboriculture & Urban Forestry*. 33(3):220-226.
- Nowak, D.J.; Hoehn, R.E.; Crane, D.E.; Stevens, J.C.; Walton, J.T.; Bond, J.** 2008. A ground-based method of assessing urban forest structure and ecosystem services. *Arboriculture and Urban Forestry*. 34(6): 347-358.
- Nowak, D.J.; Stevens, J.C.; Sisinni, S.M.; Luley, C.J.** 2002c. Effects of urban tree management and species selection on atmospheric carbon dioxide. *Journal of Arboriculture*. 28(3): 113-122.
- Observatorio de la Sostenibilidad en España.** 2007. Calidad del aire en las ciudades: Clave de sostenibilidad urbana. 382 pp.
- Ostry, M.E.; Mielke, M.E.; Anderson, R.L.** 1996. How to Identify Butternut Canker and Manage Butternut Trees. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station.
- Peper, P.J.; McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Albers, S.N.; Xiao, Q.** 2010. Central Florida community tree guide: benefits, costs, and strategic planting. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-230. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.
- Peper, P.J.; McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Vargas, K.E.; Xiao Q.** 2009. Lower Midwest community tree guide: benefits, costs, and strategic planting. PSW-GTR-219. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-219. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.
- Phelps, W.R.; Czabator, F.L.** 1978. Fusiform Rust of Southern Pines. Forest Insect & Disease Leaflet 26. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 7 p.
- Rexrode, C. O.; Brown, H. D.** 1983. Oak Wilt. Forest Insect & Disease Leaflet 29. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 6 p.
- Schmitz, R. F.; Gibson, K. E.** 1996. Douglas-fir Beetle. Forest Insect & Disease Leaflet 5. R1-96-87. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 8 p.
- Seitz, J. and Escobedo, F.** 2008. Urban Forests in Florida: Trees Control Stormwater runoff and Improve Water Quality. School of Forest Resources and Conservation Department, UF/IFAS Extension.
- Seybold, S.; Haugen, D.; Graves, A.** 2010. Thousand Cankers Disease. Pest Alert. NA-PR-02-10. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Area State and Private Forestry.
- Smith, S. L.; Borys, R. R.; Shea, P. J.** 2009. Jeffrey Pine Beetle. Forest Insect & Disease Leaflet 11. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 8 p.
- Society of American Foresters.** 2011. Gold Spotted Oak Borer Hitches Ride in Firewood, Kills California Oaks. *Forestry Source* 16(10): 20.
- U.S. Environmental Protection Agency.** 2010. Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Average Fuel Economy Standards. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency. EPA-420-R-10-012a
- U.S. Environmental Protection Agency.** 2015. The social cost of carbon. <http://www.epa.gov/climatechange/EPAactivities/economics/scc.html>
- U.S. Forest Service.** 2005. Hemlock Woolly Adelgid. Pest Alert. NA-PR-09-05. Newtown Square, PA: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Area State and Private Forestry.
- U.S. Forest Service.** 2011. Laurel Wilt. Atlanta, GA: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Health Protection, Southern Region.
- University of California.** 2014. Polphagous Shot Hole Borer. Sacramento, CA: University of California, Division of Agriculture and Natural Resources.
- van Essen, H.; Schroten, A.; Otten, M.; Sutter, D.; Schreyer, C.; Zandonella, R.; Maibach, M.; Doll, C.** 2011. External Costs of Transport in Europe. Netherlands: CE Delft. 161 p.
- Vargas, K.E.; McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Gardner, S.L.; Xiao, Q.** 2007a. Interior West Tree Guide.
- Vargas, K.E.; McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Gardner, S.L.; Xiao, Q.** 2007b. Temperate Interior West Community Tree Guide: Benefits, Costs, and Strategic Planting.
- Vargas, K.E.; McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Gardner, S.L.; Xiao, Q.** 2008. Tropical community tree guide: benefits, costs, and strategic planting. PSW-GTR-216. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-216. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.
- Worrall, J.J.** 2007. Chestnut Blight. Forest and Shade Tree Pathology. http://www.forestpathology.org/dis_chestnut.html
- Zinke, P.J.** 1967. Forest interception studies in the United States. In: Sopper, W.E.; Lull, H.W., eds. Forest Hydrology. Oxford, UK: Pergamon Press: 137-161.

