UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID

tecnigral

VALOR DEL BOSQUE URBANO COMPLUTENSE



DIRECCIÓN DEL PROYECTO

Jorge Jesús Gómez Sanz
Vicerrector de Tecnología y Sostenibilidad

Alejandro Rescia Perazzo
Asesor del Vicerrectorado de Tecnología
y Sostenibilidad para biodiversidad
y medio ambiente

REDACCIÓN

Cristina Herrero de Jáuregui
Investigadora del Departamento
de Biodiversidad, Ecología y Evolución,
Facultad de Ciencias Biológicas

Alexandra Múgica Corrales
Laura Mendiburu-Eliçabe y Ure
TECNIGRAL Consultoría medioambiental

Foto de portada:
Facultad de Ciencias Biológicas vista desde
el Real Jardin Botánico Alfonso XIII

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID

tecnigral



Álamo blanco *(Populus alba)*

SUMARIO

”

Los beneficios que el Bosque Urbano Complutense aporta a la comunidad universitaria y al conjunto de la ciudadanía son múltiples y de gran valor.

Rectorado de la UCM, Campus de Moncloa



Los campus de la Universidad Complutense de Madrid (Moncloa y Somosaguas) resaltan por su interés patrimonial, cultural y natural. El campus de Moncloa está considerado Bien de Interés Cultural y el de Somosaguas alberga un yacimiento paleontológico del periodo Aragoniense. En ellos crece y se desarrolla un bosque formado por miles de árboles, arbustos y herbáceas que junto al arbolado viario forma parte de la infraestructura verde de la Universidad Complutense. Es el Bosque Urbano Complutense.

Está demostrado que la infraestructura verde mejora la calidad del aire, actúa como sumidero de carbono y partículas contaminantes, capta y retiene el agua de lluvia, regula el clima local, mitiga el efecto isla de calor y reduce el consumo de energía de la ciudad, por lo que reduce las emisiones asociadas. La infraestructura verde también mejora la salud de los habitantes y su percepción de bienestar. Por tanto, los beneficios que el Bosque Urbano Complutense aporta a la comunidad universitaria y al conjunto de la ciudadanía son múltiples y de gran valor.

Este estudio, que permite la comprensión de la estructura, función y valor de los bosques urbanos en la Complutense, está diseñado para facilitar decisiones de gestión que mejoren la salud humana y la calidad ambiental, así como reducir los esfuerzos económicos en el consumo de energía o infraestructura de saneamiento de aguas pluviales. Las políticas, acciones y decisiones ambientales estratégicas en grandes ciudades como Madrid deben tener en cuenta el papel de los bosques urbanos en los objetivos de reducción de emisiones contaminantes y estándares de calidad del aire, así como los beneficios económicos asociados.

En el marco del desarrollo del Plan Estratégico Complutense de Infraestructura Verde de los Campus de Moncloa y Somosaguas (PECIV), el Vicerrectorado de Tecnología y Sostenibilidad de la UCM promueve el presente análisis para avanzar en el conocimiento del Bosque Urbano Complutense, su composición y valoración tanto cuantitativa como económica de los beneficios o servicios ecosistémicos que ofrece a la comunidad universitaria y a la ciudad de Madrid en su conjunto.

Este estudio parte de un inventario realizado por la consultora especialista en arbolado TECNIGRAL. Para la realización de este trabajo se ha contado con un equipo de 6 inventariadores y un coordinador, todos ellos con experiencia en arbolado y procedentes de diversas titulaciones, ingenieros agrónomos, ingenieros de montes y biólogos.

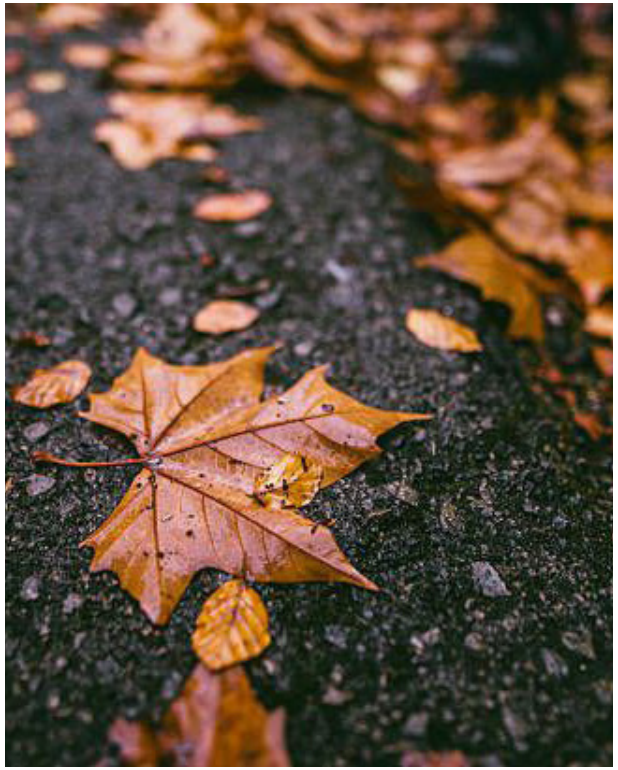
TABLA 1

Principales características del Bosque Urbano Complutense

El inventario se ha realizado a partir de un análisis georreferenciado del arbolado en los dos Campus de la Universidad Complutense sobre una superficie total de 136 hectáreas, correspondiente a zonas forestales (47,4%), parques y jardines (39,1%), zonas deportivas (6,8%), huertos y plantaciones (5,1%) y descampado (1,5%). A modo de resumen, éstas son sus principales características (Tabla 1).

PARÁMETRO	CATEGORÍA	UNIDADES	%
N.º total de árboles		18.138	
Cobertura arbórea		31,39 ha	23%
Especies más comunes	Pinus pinea	4.907	27,1%
	Pinus halepensis	1.570	8,7%
	Cupressus arizonica	1.127	6,2%
	Platanus x hybrida	1.098	6,1%
	Ailanthus altissima	855	4,7%
N.º de especies de árboles distintas		152	
Clases diamétricas más abundantes	15,2-30,5 cm		38%
	0-7,6 cm		21%
Altura más abundante	5-10 m		42%

A partir de este inventario se ha aplicado el modelo i-Tree Eco desarrollado por el Servicio Forestal de Estados Unidos (USDA Forest Service), que está siendo ampliamente utilizado en las principales ciudades de todo el mundo, incluida Madrid. El uso de esta herramienta permite una aproximación sobre los beneficios ambientales y económicos del Bosque Urbano Complutense. Asimismo,



Hojas de plátano de sombra
(Platanus x hybrida)

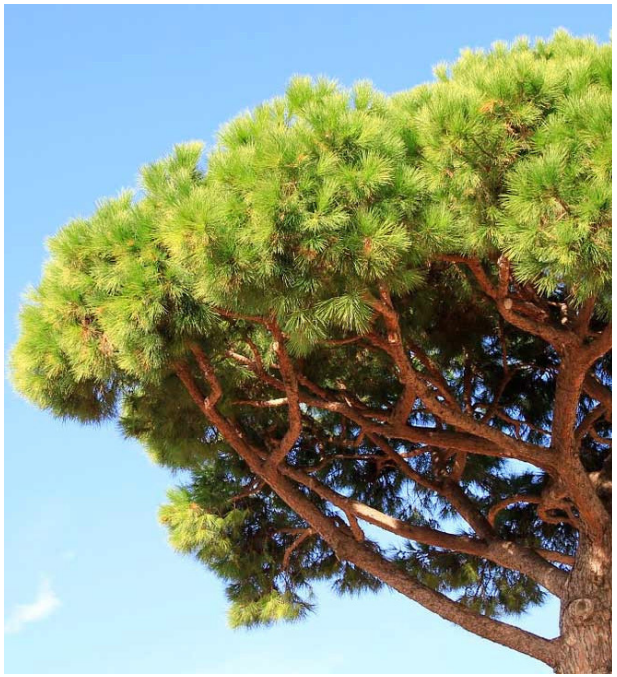
permite establecer nuevos criterios a la hora de fijar indicadores y acciones estratégicas para la gestión de la infraestructura verde, orientados hacia la mejora de la calidad del aire, inversión en infraestructuras, diseño y gestión del bosque urbano y su biodiversidad, salud ciudadana y mejora de la calidad de vida de la comunidad universitaria y la ciudadanía en su conjunto.

En la siguiente tabla se resumen los servicios ecosistémicos cuantificados en este estudio y su valor económico (Tabla 2). Concretamente, una aproximación de la cantidad de contaminación captada por los árboles del Bosque Urbano Complutense, su efecto como sumidero de carbono, el ahorro en infraestructuras que supone la interceptación del agua de lluvia por la vegetación y el ahorro energético en edificios. La compensación del carbono de las emisiones de la Universidad Complutense puede calcularse mediante el sumatorio de los valores del carbono almacenado, secuestrado y evitado.

TABLA 2

Servicios ecosistémicos del Bosque Urbano Complutense y su valor económico

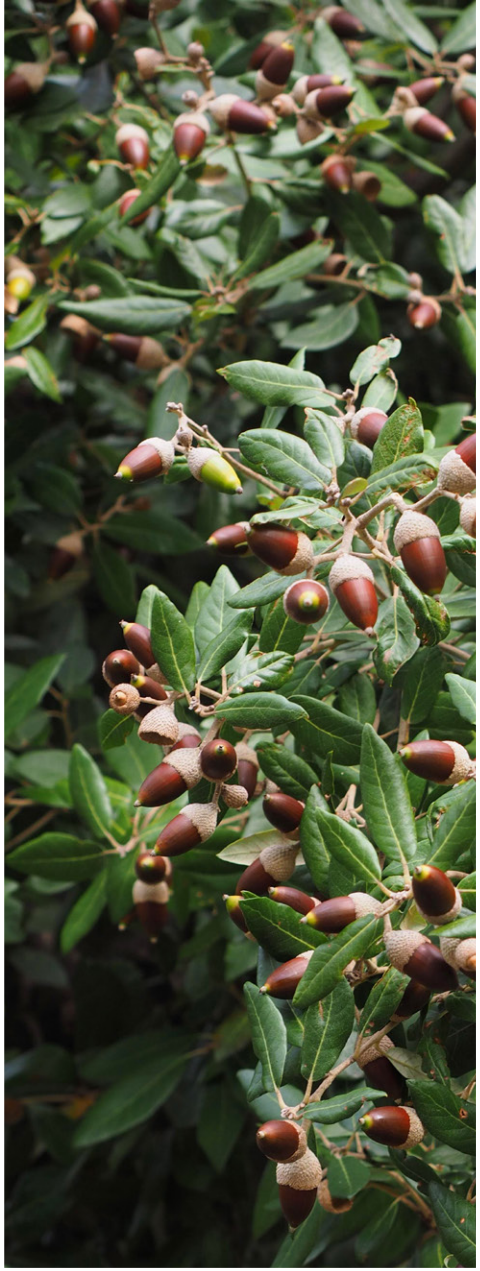
PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR ECONÓMICO
Captación de contaminantes	2,69 t/año	32.100 €
Secuestro de carbono	269,2 t/año	17.100 €
Escorrentía evitada	844,9 m³/año	1.610 €
Ahorro energético en edificios		24.200 €
Carbono evitado	10,59 t/año	674 €
Total beneficios anuales		**75.684 €**
Almacenamiento de carbono	5.522 t	351.000 €
Total beneficios		**426.684 €**



Copa del pino piñonero
(Pinus pinea)



Vista aérea del Campus de Moncloa





Fruto de la encina *(Quercus ilex)*

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN **11**

EL BOSQUE URBANO COMPLUTENSE **13**

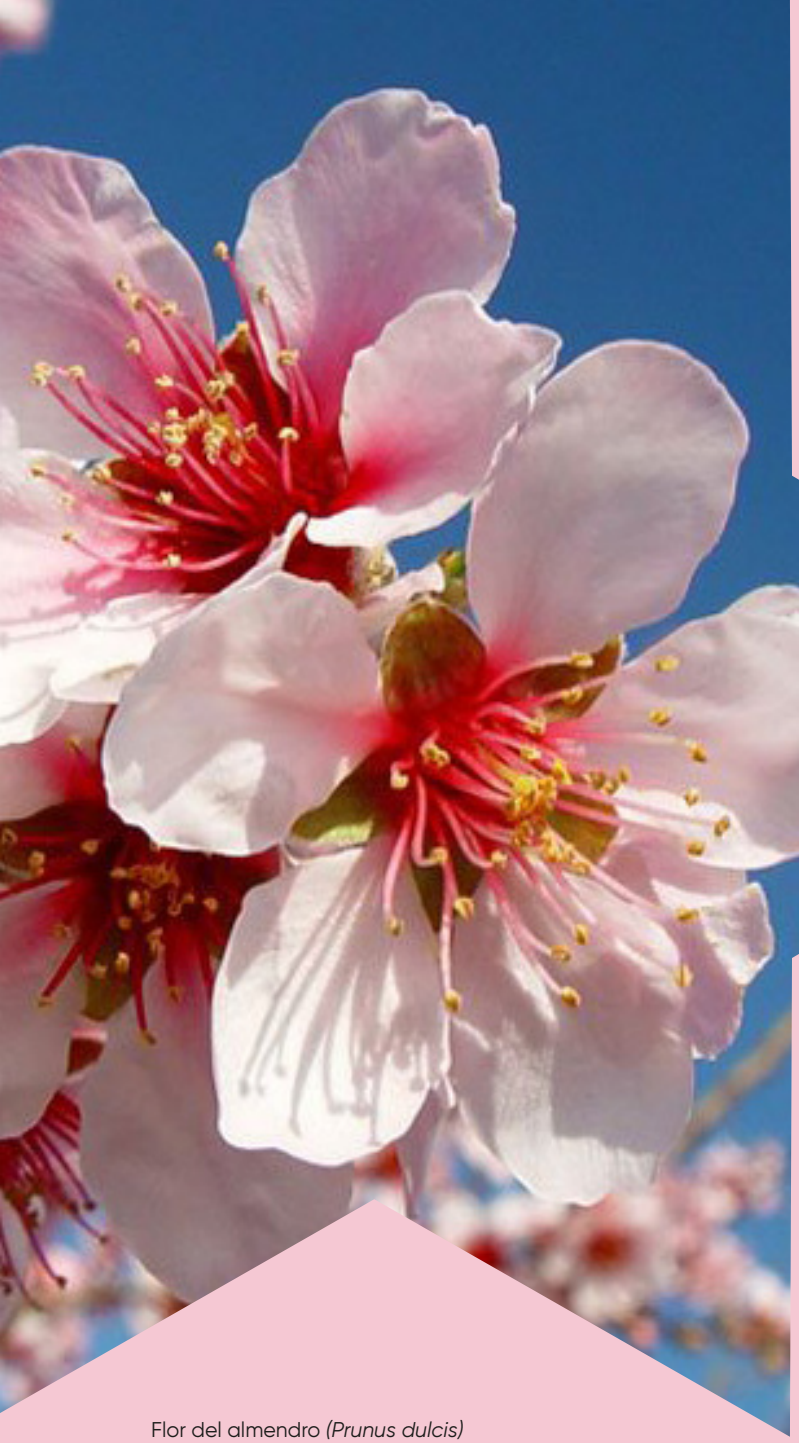
CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS **16**

RESULTADOS **20**
ESTRUCTURA DEL BOSQUE URBANO 21
SERVICIOS ECOSITÉMICOS 24
1. Reducción de la contaminación 24
2. Secuestro y almacenamiento de carbono 28
3. Ahorro energético 29
4. Intercepción de agua de lluvia 31
5. Valor de sustitución 33
EFECTOS EQUIVALENTES 34

ANEXO 1 **35**
LISTADO DE ESPECIES

ANEXO 2 **40**
NOTAS ACERCA DEL MÉTODO

BIBLIOGRAFÍA **48**



Flor del almendro *(Prunus dulcis)*

INTRODUCCIÓN

”

La gente que vive en ambientes con mayor densidad de espacios verdes tiene una mejor percepción de su salud general, disfruta de una mayor longevidad, de una mejor salud física, salud social y salud mental.



Escuela de Gobierno,
Campus de Somosaguas

Conseguir ciudades y comunidades sostenibles es el objetivo n.º 11 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030. Esto implica, entre otras cosas, potenciar los servicios ecosistémicos que provee la infraestructura verde urbana. Esta infraestructura juega un papel fundamental en la mejora de la calidad de vida. Numerosos estudios han demostrado que su presencia proporciona diversos efectos beneficiosos al mejorar la calidad del aire, disminuir el efecto isla de calor, reducir el consumo energético de los edificios, disminuir la contaminación acústica, mejorar la retención del agua y controlar la erosión. Además, se ha comprobado que la gente que vive en ambientes con mayor densidad de espacios verdes tiene una mejor percepción de su salud general, disfruta de una mayor longevidad, de una mejor salud física, salud social y salud mental.

Por todo ello, la adecuada gestión de la infraestructura verde es una estrategia muy rentable para la mejora de la calidad de vida de la población urbana. Un paso previo para poder gestionarla adecuadamente es hacer un análisis previo de la estructura del bosque urbano, las funciones que cumple y su valor económico, de cara al mejor conocimiento de los efectos del Bosque Urbano sobre la ciudad y sus servicios ecosistémicos.

También es muy importante modificar la percepción que la población urbana ha tenido históricamente de la infraestructura verde en los entornos urbanos, según la cual se apreciaba exclusivamente el valor estético y ornamental del arbolado. En líneas generales, el resto de servicios proporcionados por el bosque, tales como la mejora de la calidad del aire, la regulación de la temperatura y la disminución de la escorrentía, pasaban desapercibidos o eran infravalorados al no ser evaluados en términos económicos y por no ser conocidos por la gente. Mediante el modelo i-Tree, se pueden cuantificar los beneficios del bosque urbano y traducirlos en términos económicos, lo que facilita la tarea de concienciar a la opinión pública y a los diferentes organismos administrativos de la importancia de la gestión adecuada de este patrimonio natural y cultural en la mejora de la calidad de vida de los habitantes y visitantes de la ciudad.



Acacia de tres espinas *(Gleditsia triacanthos)*

EL BOSQUE URBANO COMPLUTENSE

”

La ubicación de los campus es estratégica ya que forman parte del área metropolitana de Madrid y están conectados con el centro de la ciudad y con grandes espacios verdes.



Piscina de verano de la UCM, Campus de Moncloa

La UCM cuenta con dos campus universitarios, Moncloa y Somosaguas. Los dos están a su vez conectados con grandes espacios verdes, como la Dehesa de la Villa y el Monte de El Pardo al norte, y el Parque del Oeste y la Casa de Campo al oeste, por lo que estas áreas verdes juegan un papel fundamental en la conectividad ecológica regional. La ubicación de estos campus es estratégica, ya que forman parte del área metropolitana de la ciudad de Madrid y están conectados con el centro de la ciudad y con grandes espacios verdes naturales y seminaturales.

El campus de Moncloa conforma un paisaje urbano de edificaciones e infraestructura verde, declarado Bien de Interés Cultural por la Comunidad de Madrid. Este reconocimiento se debe a su rico patrimonio arquitectónico, paisajístico y natural, para el que se establece un alto nivel de conservación y estrictas restricciones para nuevas edificaciones. El campus cubre aproximadamente 430 hectáreas, la mitad de las cuales son espacios verdes y alberga varias instituciones dedicadas a la educación superior, el aprendizaje y la investigación.

Por su parte, el campus de Somosaguas se ubica en una zona residencial de la periferia oeste de Madrid, y sus edificios docentes y administrativos (infraestructura gris) también se intercalan con diferentes tipos de espacios verdes. El campus tiene una superficie de casi 40 hectáreas, con más del 50% de espacio verde, y alberga distintas facultades y otros edificios universitarios. Cabe destacar que cuenta con un yacimiento paleontológico del periodo Aragoniense.

El campus de Moncloa cuenta con una superficie de 530.000 m² de parques, jardines y zonas deportivas y 640.000 m² de zona forestal. En el campus de Somosaguas se registra una extensión de 130.000 m² de parques y jardines y 60.000 m² de zona forestal. En este estudio no se han incluido datos de la vegetación espontánea, ni de los muros verdes, por lo que el valor económico de la infraestructura verde de la Universidad Complutense es superior al calculado en este estudio para el bosque urbano.

Tipologías del bosque urbano complutense

1. Parques botánicos
2. Huertas
3. Instalaciones deportivas
4. Zonas verdes ligadas a edificios e instalaciones institucionales
5. Vegetación espontánea
6. Muros verdes
7. Zonas forestales



1. Real Jardín Botánico Alfonso XIII



2. Huerto urbano de Cantarranas



3. Complejo deportivo Zona Sur



4. Jardín del Rectorado



5. Descampado en Somosaguas



6. Facultad de Ciencias de la Información



7. Pinar del Arroyo de Cantarranas

Flor del pino piñonero *(Pinus pinea)*



CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

”

El presente estudio parte de la recogida de datos georreferenciados de todos los árboles de los campus de Moncloa y Somosaguas sobre una superficie total de 1.360.000 m².

Real Jardín Botánico Alfonso XIII
Foto: Hampton SC



Para cuantificar los beneficios derivados de los procesos ecosistémicos, como el mantenimiento de la calidad del aire, la regulación de la temperatura o la escorrentía (servicios de regulación, MEA 2005), que prestan los árboles del Bosque Urbano Complutense y poder asignarles un valor monetario, se utilizó el modelo i-Tree diseñado por el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA Forest Service). El modelo se basa en datos relacionados con la composición y estructura de la vegetación urbana, la contaminación del aire y los datos meteorológicos. En este estudio no se han cuantificado y valorado los servicios culturales que presta el Bosque Urbano Complutense, ni los beneficios demostrados que el uso recreativo de estos espacios ejerce sobre la salud de las personas. La cuantificación de estos servicios es objeto de otro estudio.

La información analizada relativa al arbolado parte de la recogida de datos georreferenciados de todos los árboles de los campus de Moncloa y Somosaguas sobre una superficie total de 1.360.000 m². El número de árboles evaluado, de los que se tienen datos completos, es de 18.171 (ver Anexo 1). Cada uno de los árboles inventariado cuenta con información acerca de su especie, diámetro de copa, altura, perímetro de tronco y cobertura. También se cuenta con información georreferenciada de la tipología de zona verde en la que habita. Para el arbolado situado a una distancia menor o igual a 18,9 m respecto a los edificios también se tienen datos relativos a la inclinación y orientación de la copa.

Los datos meteorológicos usados fueron obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional (AEMET) en varios puntos de la ciudad de Madrid. Para cuantificar la contaminación se han utilizado los datos recogidos en una estación de medida automática de las Escuelas Aguirre, que forma parte de la red de vigilancia de la calidad del aire del Ayuntamiento de Madrid. Se eligió por su céntrica ubicación, cercanía al Parque del Retiro, y por ofrecer las series más completas de todas las estaciones distribuidas por la ciudad y medidas horarias de un gran número de contaminantes. Los datos utilizados en el modelo son del año 2015.

El modelo i-Tree Eco calcula la clase de edad y la estructura de las especies presentes en los bosques urbanos, así como otros parámetros como la biomasa y los índices de área foliar. Una vez calculados estos parámetros, el modelo utiliza diferentes algoritmos matemáticos para combinar esta información con datos meteorológicos y de contaminación. De esta manera se estiman los servicios ecosistémicos de regulación proporcionados por la vegetación y se evalúa su valor económico. El valor otorgado por este modelo es igual al costo total de eliminar la contaminación utilizando otra tecnología. De esta forma, se estimaron en los campus los siguientes parámetros:

Campus de Moncloa



ESTRUCTURA DEL BOSQUE URBANO COMPLUTENSE

Se analizó la composición de especies del arbolado de la Universidad Complutense, el número de árboles, la densidad y la distribución diamétrica y el área foliar de los árboles. El modelo calculó el área foliar utilizando las mediciones de las dimensiones de la copa y el porcentaje de copa faltante.

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. La mejora en la calidad del aire se evaluó por el porcentaje de cada contaminante capturado por el bosque urbano a lo largo del año. Se han calculado las eliminaciones de contaminantes del aire para ozono (O_3), dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), monóxido de carbono (CO), partículas de menos de 10 micras (PM10) y partículas de menos de 2,5 micras (PM2,5).

Los árboles también pueden emitir compuestos orgánicos volátiles que a su vez contribuyen a la formación de ozono. Sin embargo, los estudios integrados han dado a conocer que el aumento en la cobertura de los árboles conduce a una menor formación de ozono (Nowak y Dwyer 2000). El modelo i-Tree hace un cálculo estimativo de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles por parte de la las distintas especies arbóreas y su contribución en la formación de ozono.

Complejo Deportivo Zona Sur, Campus de Moncloa



EFECTOS SOBRE LAS EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO

Se analizó la cantidad y valor del almacenamiento de dióxido de carbono (CO_2), así como el secuestro neto anual. El almacenamiento de carbono es la cantidad de carbono que forma parte de la estructura de las plantas leñosas, incluidas la parte aérea y la raíz. El secuestro de carbono es la captura de dióxido de carbono del aire por parte de las plantas durante la fotosíntesis.

EFECTOS SOBRE EL USO ENERGÉTICO DE EDIFICIOS

Se ha cuantificado el ahorro de energía por calefacción o refrigeración asociado a la presencia de vegetación urbana próxima a los edificios de la Universidad Complutense y su valor económico.

INTERCEPCIÓN DEL AGUA DE LLUVIA

Se analiza la captación de agua de lluvia por parte del bosque urbano complutense y el volumen de escorrentía evitado.



Fruto del plátano de sombra *(Platanus x hybrida)*

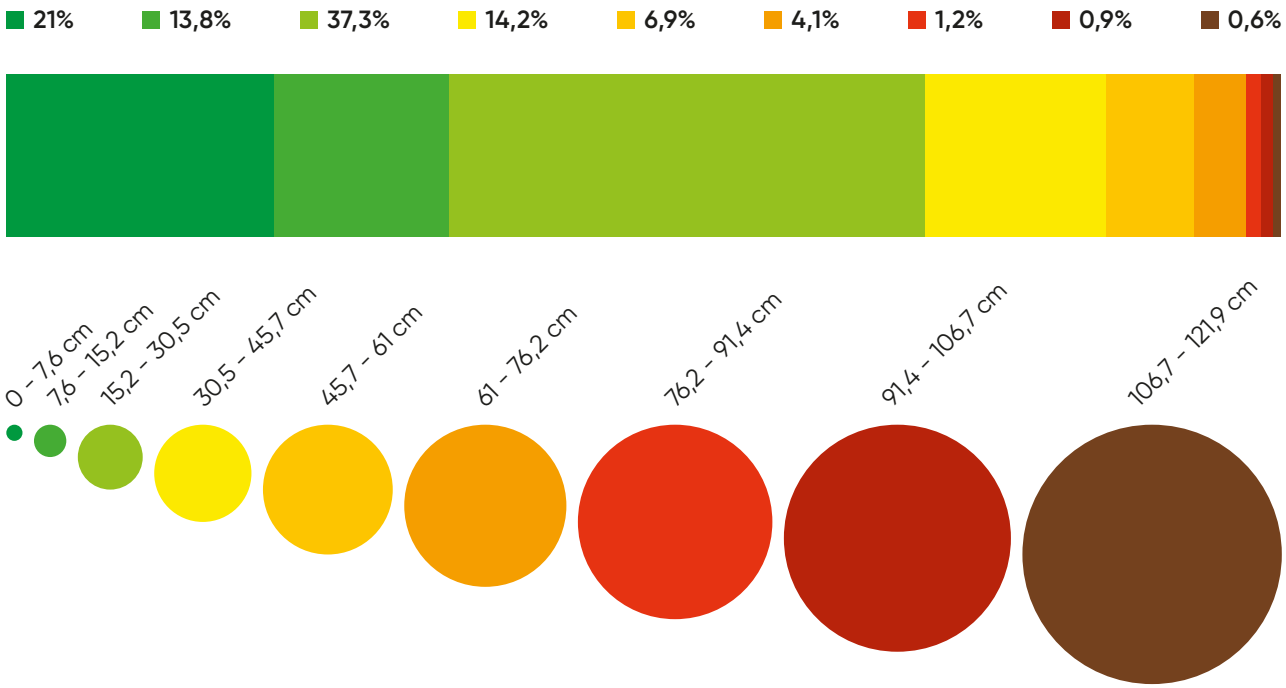
RESULTADOS

”

Se ha estimado el carbono almacenado por el bosque complutense en 5.522 t/año (equivalente a 351.000 €). El secuestro de CO_2 se ha estimado en 269,2 t/año (equivalente a 17.100 €).

FIGURA 1

Porcentaje de la población de árboles por clase de diámetro (DAP - diámetro del tronco a 1,3 m)



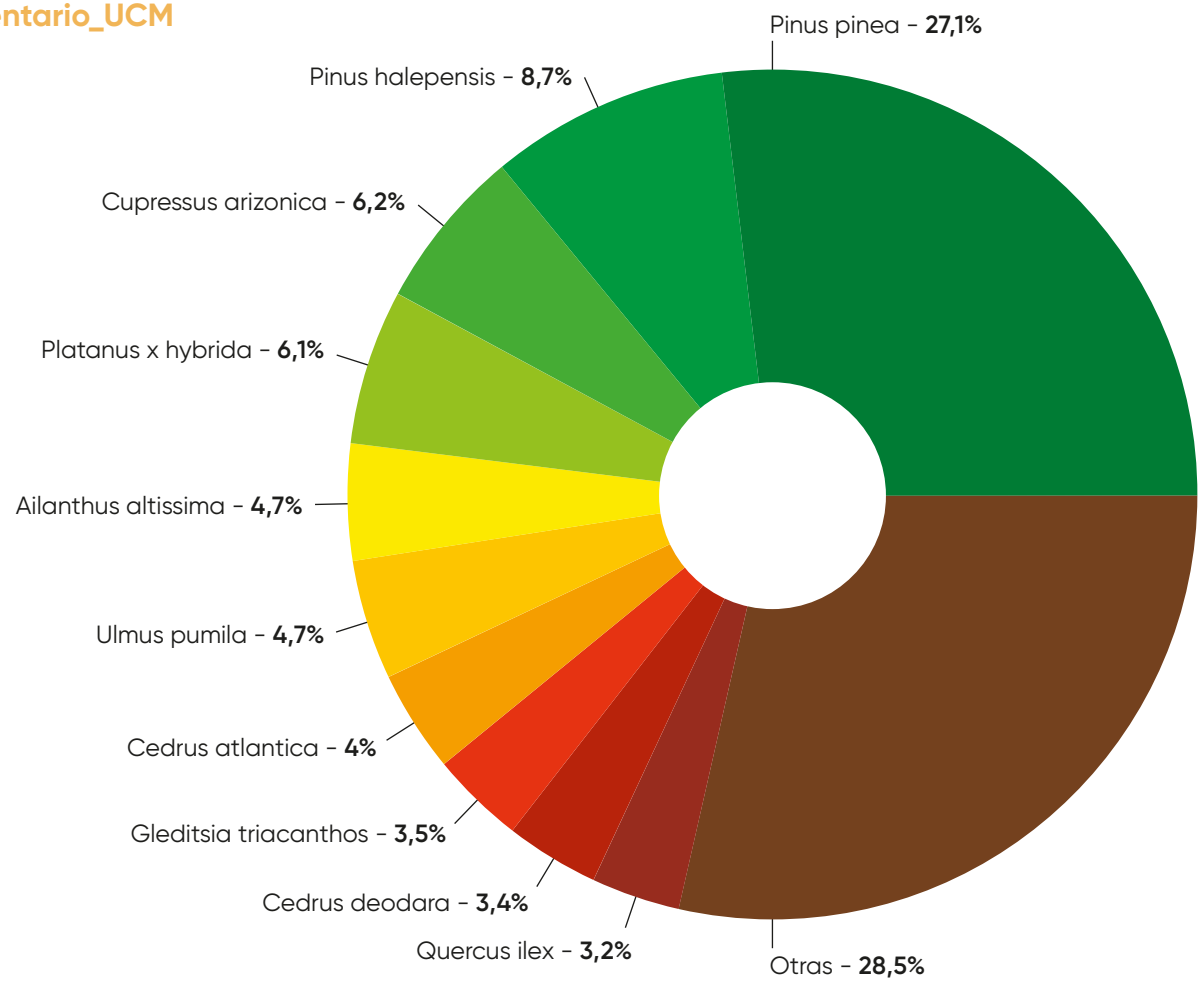
ESTRUCTURA DEL BOSQUE URBANO

El bosque urbano Complutense está formado por 18.138 árboles. La distribución de clases diamétricas de la población se muestra en el histograma, donde se observa que la mayoría de los árboles complutenses (73%) tienen menos de 30 cm de diámetro y el 35% tienen un diámetro menor o igual a 15,1 cm. Según aumenta el diámetro, su densidad disminuye, con menos del 7% del arbolado superando los 60 cm de diámetro. La distribución de las clases de diámetro es importante para determinar la capacidad de los bosques urbanos de sobreponerse a las perturbaciones, es decir, su resiliencia. Las clases diamétricas inferiores son necesarias para garantizar la regeneración del arbolado, aunque los servicios ecosistémicos proporcionados por las clases superiores son mayores, debido a su copa de mayor envergadura y mayor área foliar.

Concretamente, de las 10 especies más abundantes, *Cedrus deodara*, *Platanus x hybrida* y *Pinus halepensis* son las que tienen una mayor proporción de individuos de gran envergadura, mientras que el 97.5% de los individuos de *Quercus ilex subsp rotundifolia* y el 85% de los individuos de *Pinus pinea* tienen un diámetro a la altura del pecho menor a 30 cm.

FIGURA 2

Composición de la especies de árboles, Inventario_UCM



En cuanto a la composición del bosque complutense, se han identificado 152 especies distintas de árboles. La especie más abundante en todo el Bosque Urbano Complutense es el pino piñonero (*Pinus pinea*, 27,1%), seguido del pino carrasco (*Pinus halepensis*, 8,7%) y el ciprés de Arizona (*Cupressus arizonica*, 6,2%). Las dos primeras son especies autóctonas del ecosistema forestal mediterráneo español, y suponen el 35,8% del total. No obstante, cada tipo de zona verde tiene una especie predominante, siendo el pino piñonero la especie dominante en las zonas forestales (4.107 individuos), el plátano de sombra en los parques y jardines (1.098 individuos), el ciprés de Arizona en las zonas deportivas (1.127 individuos), la acacia de tres espinas (*Gleditsia triacanthos*) en los huertos y plantaciones (642 individuos) y el olmo de siberia (*Ulmus pumila*) en los descampados (853 individuos).

El número de árboles y su estructura diamétrica es un dato importante para comprender la estructura del bosque urbano. No obstante, la cobertura, riqueza de especies y área foliar son más relevantes para determinar los servicios ecosistémicos que brindan. Por tanto, los beneficios calculados en los apartados siguientes están relacionados con el tamaño del árbol, la especie y el follaje en buen estado. Se otorgó un mayor potencial de generar beneficio a los individuos de dimensiones mayores (diámetro, altura y tamaño de la copa), mayor cobertura y, por lo tanto, mayor área foliar. Se estima que un árbol con un diámetro de 75 cm puede interceptar hasta 10 veces más contaminación del aire, almacenar 90 veces más carbono y aportar más de 100 veces área foliar que un árbol con un diámetro de 15 cm. Los árboles del Bosque Urbano Complutense cubren casi 31,39 hectáreas. El total de área foliar calculada es de 188,9 ha (ver Anexo 2).

TABLA 3

Especies más importantes en el bosque urbano complutense

ESPECIE	POBLACIÓN	ÁREA FOLIAR	VALOR DE IMPORTANCIA
Pinus pinea	27,1%	12,3%	39,3%
Platanus x hybrida	6,1%	17,4%	23,4%
Pinus halepensis	8,7%	10,4%	19%
Cedrus deodara	3,4%	11,1%	14,5%
Cedrus atlantica	4%	7,9%	11,9%
Cupressus arizonica	6,2%	5,2%	11,4%
Ulmus pumila	4,7%	6,4%	11,1%
Ailanthus altissima	4,7%	2,8%	7,6%
Populus alba ssp. pyramidalis	2,2%	5%	7,2%
Gleditsia triacanthos	3,5%	1,3%	4,9%

A partir de los datos obtenidos de abundancia y área foliar por especie, se determinó el valor de importancia para cada especie, que marca la importancia relativa de cada una frente a los servicios ecosistémicos que aportan a los campus. Los mayores beneficios los aportan el pino piñonero (*Pinus pinea*) y el plátano de sombra (*Platanus x hybrida*), dado que representan entre las dos el 33,2% de la población del bosque complutense y el 29,7% del área foliar. En la siguiente tabla se representa la dominancia de las 10 especies más abundantes del Bosque Urbano Complutense. Tras las dos primeras especies, cobran especial relevancia por su importancia en cuanto a los beneficios aportados el pino carrasco (*Pinus halepensis*), y las dos especies de cedro (*Cedrus deodara* y *Cedrus atlantica*). Dado que los árboles con mayor tamaño y área foliar proporcionan los mayores beneficios, los tratamientos de manejo de los árboles deben estar orientados a lograr un mayor tamaño por ejemplar y aumentar el volumen de su copa.

Facultad de Medicina, Campus de Moncloa



SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

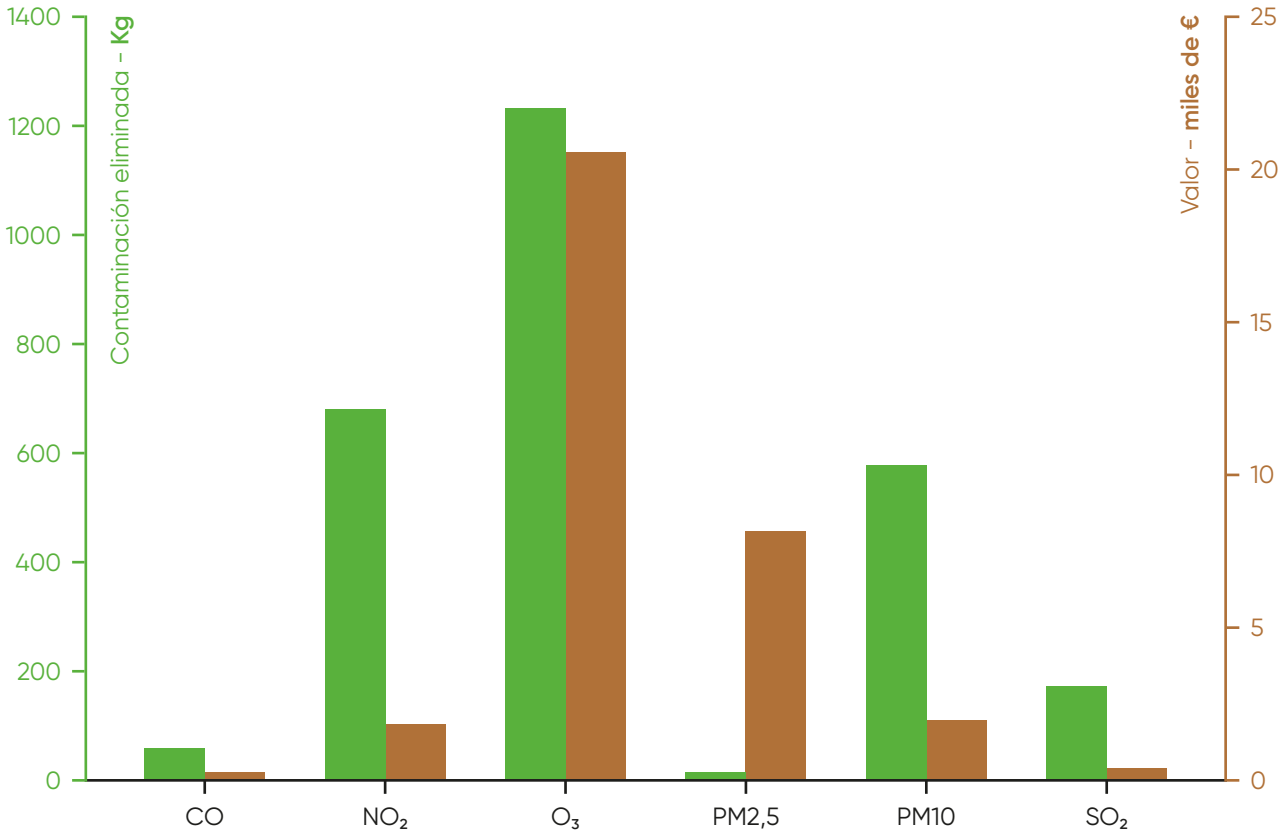
1 REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

La mala calidad del aire es un problema común en muchas áreas urbanas. Conduce a un empeoramiento de la salud humana, deterioro de los materiales y reducción de la visibilidad, a la vez que se incrementan considerablemente los costes derivados de su mitigación y subsanación. En los últimos años en la ciudad Madrid se han superado los niveles máximos de dióxido de nitrógeno recomendados por la Organización Mundial de la Salud y la legislación europea, y los campus de la Universidad Complutense no son ajenos a esto.

La influencia directa que la vegetación tiene sobre la calidad del aire se debe a la reducción de la temperatura, lo que se traduce en una disminución de los niveles de ozono, a la disminución de la contaminación del aire por la absorción de gases contaminantes a través de los estomas de las hojas y la adsorción 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, la distribución eficiente de la vegetación en torno a los edificios da como resultado una menor necesidad de consumo energético y,

FIGURA 3

Eliminación anual de la contaminación y valor económico de los árboles urbanos, Inventario_UCM



por lo tanto, un descenso en la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero destinados a producir energía. El aumento del área foliar está positivamente relacionado con el 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 eliminación de la contaminación por árboles del bosque urbano complutense se calculó utilizando datos de campo, meteorológicos y de contaminación disponibles. Los árboles eliminan material particulado menor de 2,5 micras (PM2,5) y material particulado mayor de 2,5 micras y menor de 10 micras (PM10) cuando el material particulado se deposita en la superficie de las hojas. Este PM2,5 y PM10 depositado puede volver a suspenderse en la atmósfera o eliminarse durante las lluvias y disolverse o transferirse al suelo. La combinación de eventos puede derivar en un aumento o disminución de la contaminación del aire, según los diferentes factores atmosféricos.

Se estima que los árboles complutenses eliminan anualmente 2,69 toneladas métricas de ozono (O_3), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO_2), PM2,5, PM10, y dióxido de sulfuro (SO_2). Este servicio de regulación se asocia a un valor de 32.100 € (para más detalles ver el Anexo 1).



Facultad de Farmacia, Campus de Moncloa

En cuanto a las especies, aquellas que más contaminación captan en Madrid son *Platanus x hybrida* (0,47 t/año), seguida de *Pinus pinea* (0,33 t/año), *Cedrus deodara* (0,3 t/año), *Pinus halepensis* (0,28 t/año) y *Cedrus atlantica* (0,21 t/año), lo que coincide con las especies con mayor valor de importancia. Cabe destacar que, salvo el *Platanus x hybrida*, todas estas especies son de hoja perenne, lo que les permite ejercer esta función reguladora a lo largo de todo el año.

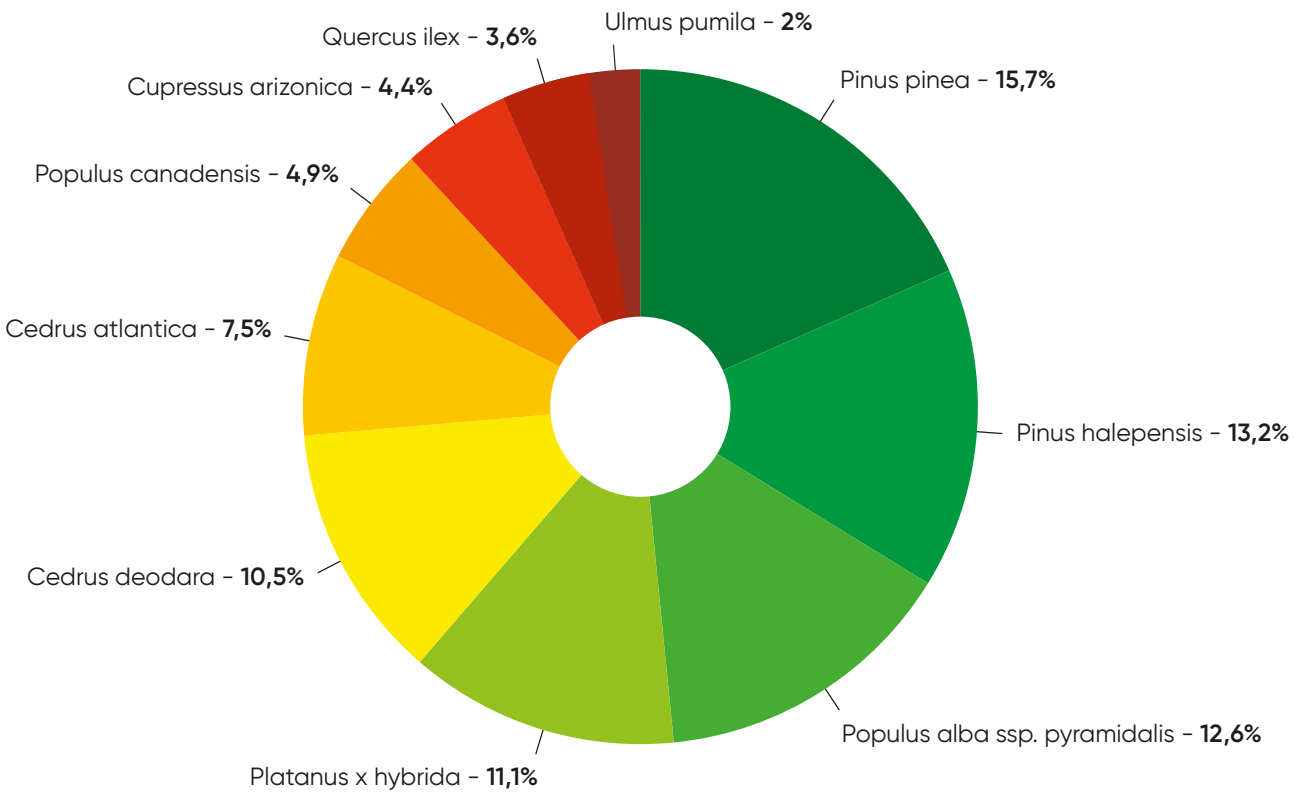
A este respecto, es destacable que la contaminación captada en los campus de Moncloa y Somosaguas es mayor en verano que en invierno. Presenta un máximo en julio, cuando las temperaturas y presión atmosférica son más elevadas, hay más horas de luz y los árboles han desarrollado al máximo su follaje, con lo que su actividad estomática es mayor.

Asimismo, son los meses de mayor contaminación atmosférica, particularmente de ozono, el contaminante mayormente capturado por la vegetación, con una eliminación media anual de 1,2 t (83,73% del total). A este le siguen el NO_2 (45,79% de los contaminantes absorbidos), el PM10 (39,26%), el SO_2 (10,86%), el CO (3,12%) y en último lugar el PM2,5 (0,93%).

Por otro lado, algunas especies emiten compuestos orgánicos volátiles biogénicos (VOCs), como isoprenos y monoterpenos, que al reaccionar con óxidos de nitrógeno (NO_x) generan ozono (O_3) y monóxido de carbono (CO) (Nowak et al., 2000; Nowak et al., 2002; Nowak et al., 2007), lo que debe considerarse en el balance global de captación de contaminantes. La emisión de VOCs depende de la especie y la temperatura, por lo que el aumento de

FIGURA 4

Emisión anual de VOCs por especies



la cobertura arbórea que genera una disminución de la temperatura y la selección de especies no emisoras de VOCs contribuirá a disminuir localmente la producción de ozono (Nowak et al., 2000; Nowak et al. 2002; Nowak et al., 2007). El modelo del i-Tree cuantifica la emisión de VOCs mediante un algoritmo en el que contempla el tipo de especie, estructura, grado de cobertura, etc.

Se ha calculado un total anual de 1,96 t de VOCs emitidos por el arbolado del Bosque Urbano Complutense (0,66 t de isoprenos y 1,3 t de monoterpenos). Las especies que mayor cantidad de VOCs emitieron fueron el pino piñonero (*Pinus pinea*) y el pino carrasco (*Pinus halepensis*), que fueron responsables del 28,87% de las emisiones. Las 10 especies que más VOCs emiten, representadas en el siguiente gráfico, suponen el 85,68% de las emisiones anuales.

En este estudio no se incluye el cálculo de los costos económicos de las emisiones de los VOCs, ya que para eso sería necesario calcular los efectos de los VOCs en la formación del ozono (p. ej., a través de modelos fotoquímicos) y compararlos de manera directa con la eliminación de ozono por los árboles. Es decir, no es correcto calcular los costos de las emisiones y restárselos a los beneficios de la eliminación del ozono, sino que los efectos del ozono deben compararse directamente.

2 SECUESTRO Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO



Parada de metro Ciudad Universitaria, Campus de Moncloa

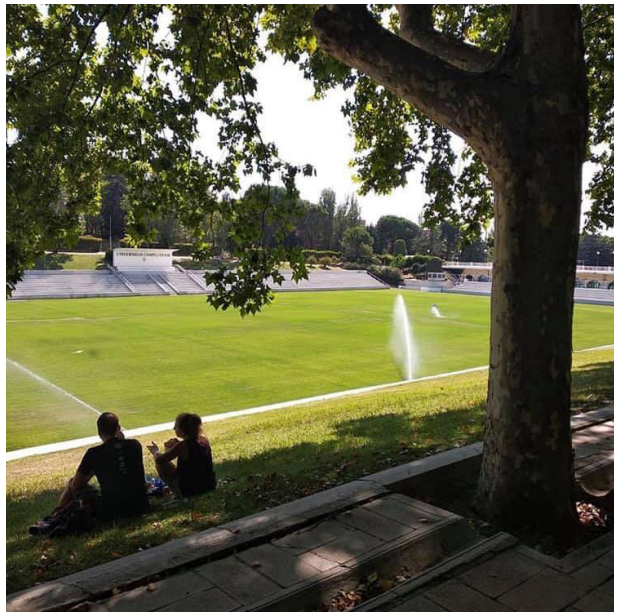
Las grandes ciudades como Madrid son fuentes de CO_2, el principal gas de efecto invernadero responsable del cambio climático de la Tierra. El bosque urbano ayuda en gran medida a su reducción, a través de distintos mecanismos. Por una parte, es un sumidero de carbono. Las plantas, a través de la fotosíntesis, absorben este elemento en forma de CO_2 incorporando el carbono a sus tejidos. Se puede diferenciar el carbono almacenado en los tejidos de los árboles del que se secuestra a partir del CO_2 atmosférico durante su crecimiento anual. Esta capacidad de absorción varía según las especies, y se incrementa con el tamaño y vitalidad de los individuos (Nowak et al., 2002; Nowak, 2006; Nowak et al., 2013). Por otra parte, los árboles cercanos a los edificios pueden favorecer una reducción en el uso de la energía y por consiguiente reducir las emisiones de dióxido de carbono al menos de la energía procedente de la quema de combustibles fósiles (Abdollahi et al., 2000). Finalmente, la infraestructura verde urbana puede favorecer cambios en los hábitos de movilidad de la población, lo que redunda en un menor uso del automóvil, disminuyendo las emisiones de CO_2.

Se ha estimado el carbono almacenado por el arbolado complutense en 5.522 t/año. El secuestro de CO_2 se ha estimado en 269,2 t/año. En términos económicos, esto supone un valor de 351.000 €/año de almacenamiento y 17.100 €/año de secuestro.

De las especies muestreadas, *Populus alba ssp pyramidalis* es la que mayor cantidad de carbono almacena (aproximadamente 837 t, equivalente al 15,2% del total de carbono almacenado), seguida de *Cupressus arizonica* (613 t), *Pinus pinea* (549 t), *Cedrus deodara* (472 t) y *Platanus x hybrida* (389 t). Las cinco especies mencionadas secuestran el 53,37% del carbono del Bosque Urbano Complutense.

Según los árboles crecen, almacenan más carbono en sus tejidos. Cuando los árboles mueren y se descomponen, nuevamente liberan la mayoría del carbono almacenado a la atmósfera. Por lo tanto, el almacenamiento de carbono es una indicación de la cantidad de carbono que se puede liberar si se permite que los árboles mueran y se descompongan. Mantener árboles saludables contribuirá a retener el carbono almacenado en los tejidos. A su vez, utilizar la madera de los árboles muertos en productos madereros a largo plazo, para calentar edificios o para producir energía ayudará a reducir las emisiones de carbono de la descomposición de la madera o de centrales eléctricas de combustibles fósiles o madereros.

3 AHORRO ENERGÉTICO



Complejo Deportivo Zona Sur,
Campus de Moncloa

La presencia de arbolado tiene un efecto directo sobre el consumo energético de los edificios de la Universidad Complutense. En verano, los árboles cercanos a los edificios pueden disminuir el consumo de energía para refrigeración a través del efecto sombra (disminuyen la incidencia de la radiación solar) y el conocido como efecto oasis (la evapotranspiración de las plantas genera un descenso de la temperatura del aire, ya que es necesario invertir energía para el cambio de estado del agua, de líquido a gaseoso). A su vez en invierno los árboles pueden reducir el consumo de energía en calefacción al actuar de barrera de protección frente a los vientos fríos disminuyendo así la pérdida de calor. Según cómo estén ubicados y si son caducifolios o perennifolios, pueden también provocar el efecto contrario y aumentar el consumo de energía de los edificios cercanos, al disminuir la temperatura en invierno o entorpecer las brisas frescas de verano. A pesar de esto, se han registrado ahorros energéticos de un 20-25% en edificios con arbolado cercano bien emplazado, en comparación con otros edificios sin arbolado cercano. Por eso es importante diseñar adecuadamente la localización del arbolado urbano para optimizar este servicio (Heisler, G. M., 1986, Nowak, 2002; Nowak et al, 2007).

La cuantificación de los efectos del arbolado sobre el uso de la energía se basa en mediciones de campo de la ubicación, distancia y la dirección del arbolado respecto a los edificios de la Universidad Complutense (McPherson y Simpson, 1999). Es importante resaltar que el modelo utilizado fue diseñado para el clima, los tipos de construcción y la eficiencia energética de los Estados Unidos. Aunque el programa también puede estimar el impacto de la vegetación sobre el consumo energético en otras áreas, existen limitaciones debido a los diferentes estilos de construcción.

Para este análisis del bosque urbano complutense, se han determinado y seleccionado los árboles que se encuentran a menos de 18,29 m de distancia a cualquier edificio, que comprenden un total de 3.278 árboles. 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 Universidad Complutense. Las estimaciones obtenidas por el modelo i-Tree Eco se basan en analizar los incrementos o disminuciones de la energía necesaria para calentar o enfriar los edificios con influencia directa de la vegetación (MBTU y MWh), y en estimar el aumento o disminución en las emisiones de carbono de las fuentes de energía como resultado de los cambios en su consumo.

Respecto a la energía eléctrica, el total de MWh reducidos debido a la presencia de los árboles es de 135 MWh. Este dato resulta de la suma de los



Real Jardín Botánico Alfonso XIII

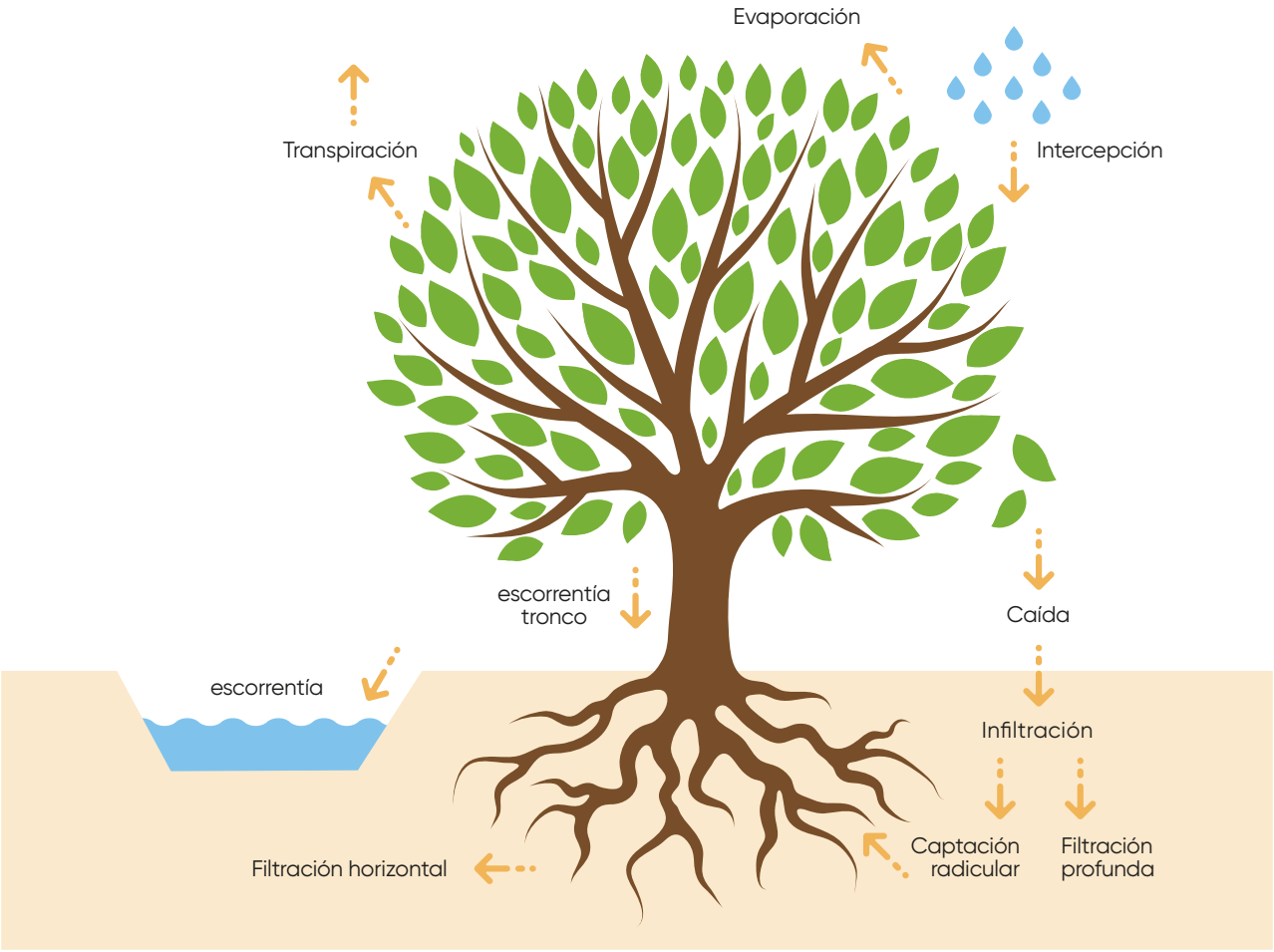
MWh reducidos en los meses de calor debidos a la sombra y evapotranspiración, los MWh reducidos en los meses de frío debidos a la protección frente al viento y la deducción del efecto negativo que provoca la sombra en los meses más fríos. En cuanto a la influencia en la variación de MBTU (Mil unidades térmicas británicas), equivalentes al gas natural en Madrid (1 kW = 3,413 BTU/h), los resultados obtenidos arrojan un valor total de 3 BTU, por la energía ahorrada en la calefacción de los edificios debido a la protección frente al viento en los meses más fríos. En cuanto al aumento o disminución en las emisiones de carbono de las fuentes de energía como resultado de los cambios en el consumo de energía, se estima en la Universidad Complutense una cantidad total de 10,6 t de carbono evitado.

Considerando unos precios de energía de 180 €/MWh y 36,61 €/MBTU, se calcula que los árboles del Bosque Urbano Complutense reducen los costos relacionados con la energía de los edificios residenciales en 24.200 €/año. Los árboles también brindan un valor adicional de 674 €, al reducir la cantidad de carbono liberado por las centrales eléctricas basadas en combustibles fósiles (una reducción de 10,7 t de las emisiones de carbono). La liberación de este carbono se evita al disminuir el consumo de energía en refrigeración o calefacción. Este importe se calculó en función de los valores unitarios utilizados en el resto de capítulos del presente estudio.

Aunque se han utilizado precios locales y árboles y distancias a edificios en la Universidad Complutense, hay que tener en cuenta que este componente del modelo i-Tree Eco fue desarrollado para los tipos climáticos de Estados Unidos, su tipo de construcción y sus condiciones de consumo energético, por lo que los resultados obtenidos en este estudio deben ser considerados como estimaciones. Además, hay que destacar la enorme variación que han experimentado los precios de la energía en los últimos meses, con una clara tendencia al ascenso, por lo que los beneficios económicos cuantificados en este estudio pueden ser una infrarrepresentación de los beneficios reales.

FIGURA 5

Ciclo de intercepción del agua de lluvia



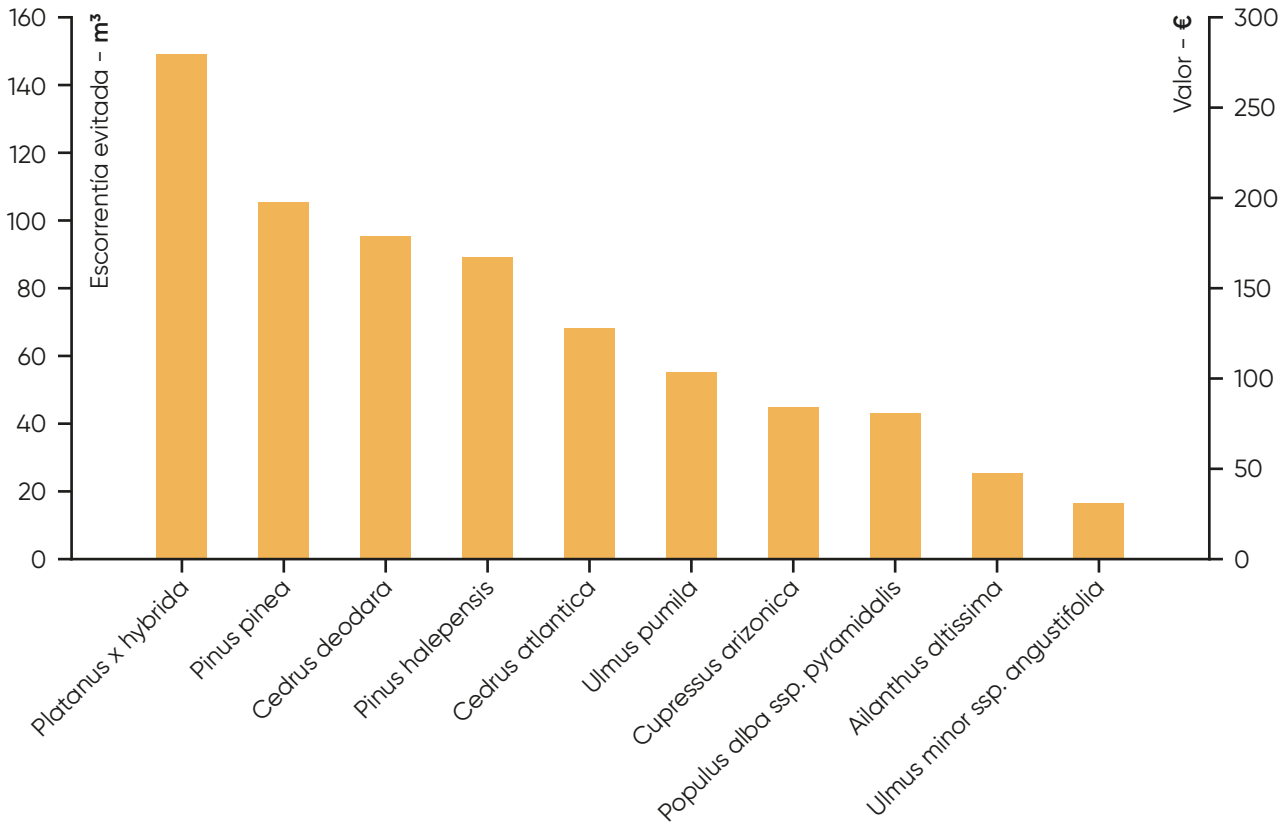
4 INTERCEPCIÓN DE AGUA DE LLUVIA

El continuo desarrollo de las grandes ciudades va acompañado de un aumento de superficies impermeables, lo que dificulta que el agua de lluvia se filtre en el suelo, promueve la escorrentía superficial y puede colapsar la infraestructura de saneamiento y drenaje de aguas pluviales (Hirabayashi, 2012). A su vez, el flujo de agua resultante lava rápidamente las calles, arrastrando grandes cantidades de partículas contaminantes hacia las aguas subterráneas y cuerpos de agua (Xiao et al. 1998; Seitz el al., 2008; Livesley et al., 2015). La infraestructura verde urbana tiene un gran potencial para regular los flujos de agua.

El arbolado urbano intercepta y almacena agua de lluvia en la superficie de sus hojas, ramas y tronco de forma temporal, que luego se incorpora al suelo gradualmente o pasa directamente a la atmósfera por evaporación (Korhnak, 2000; Seitz et al., 2008). Las hojas, al recibir el impacto de la gota de lluvia, reducen su velocidad e inercia al caer al suelo, disminuyendo la erosión. Al mismo tiempo, las raíces y la descomposición de los restos de materia orgánica mejoran la estructura del suelo, por lo que se incrementa la capacidad de infiltración, la capacidad de retención de agua del suelo, reduciendo la escorrentía. Además, praderas, suelo desnudo no pavimentado y otros elementos de la infraestructura verde favorecen la infiltración. Estos mecanismos hacen que se reduzca la escorrentía,

FIGURA 6

Escorrentía evitada y valor económico de las especies con mayor impacto general, Inventario_UCM

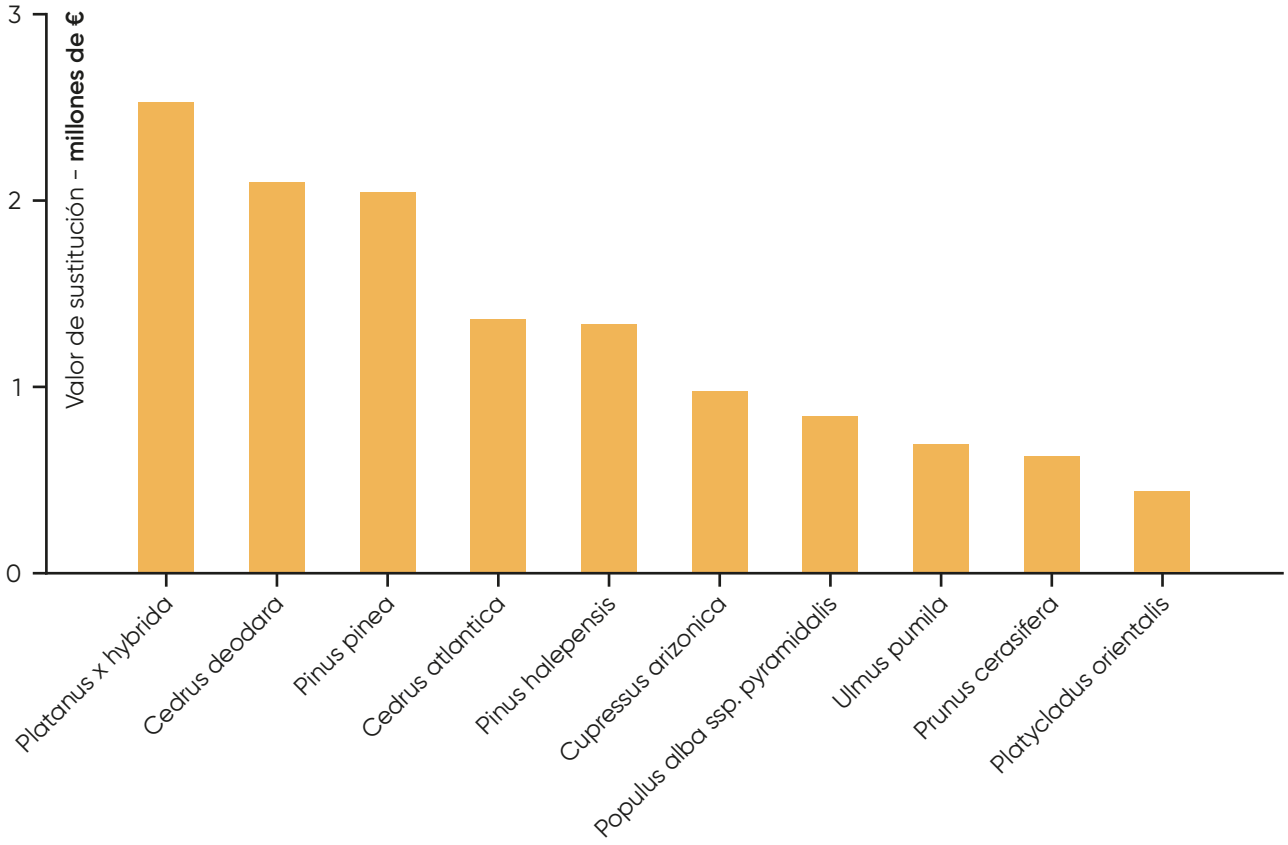


mejore la calidad del agua evacuada y se reduzcan los costes asociados a las infraestructuras necesarias para controlar las avenidas y evacuación del agua de lluvia.

La capacidad de intercepción del agua depende de la especie, el área foliar, la densidad, época del año y tipo de precipitación. El modelo i-Tree Eco permite estimar el volumen anual interceptado por la vegetación complutense y el volumen anual de escorrentía evitada en base al estado del tiempo de la localidad de la estación meteorológica designada. En este estudio, la precipitación anual total en 2015 fue de 5,6 cm. El total de área foliar calculada para los árboles del bosque urbano complutense es de 188,9 ha. La escorrentía evitada por esta superficie asciende a 844,87 m³/año, lo que supone un beneficio económico de 1606,98 €/año. El volumen de agua interceptado por la vegetación se calcula en 5.160,65 m³/año para los árboles incluidos en los campus de Moncloa y Somosaguas. La especie que más contribuye a interceptar el agua de lluvia es el *Platanus x hybrida* (17,38%), aunque cabe mencionar que al ser una especie de hoja caduca este servicio no lo realiza con tanta eficacia a finales de otoño, durante el invierno y a principios de primavera. Las siguientes cuatro especies en importancia, *Pinus pinea, Cedrus deodara, Pinus halepensis* y *Cedrus atlantica,* son perennifolias y juntas contribuyen al 41,68% de volumen de agua interceptada. En total, las 10 especies que interceptan más agua representan el 80,35% del volumen interceptado por los árboles del Bosque Urbano Complutense.

FIGURA 7

Especies de árboles con el mayor valor de sustitución, Inventario_UCM



5 VALOR DE SUSTITUCIÓN

Los bosques urbanos tienen un valor de sustitución basado en los mismos árboles (p. ej., el costo de tener que reemplazar un árbol con otro similar); también tienen valores funcionales (ya sean positivos o negativos) basados en las funciones que desempeñan los árboles. El valor de sustitución del bosque urbano y los valores funcionales anuales aumentan con el número y tamaño de los árboles saludables (Nowak et al., 2002). A través de un manejo adecuado, los valores del bosque urbano pueden aumentarse; sin embargo, los valores y los beneficios también pueden disminuir conforme la cantidad de cobertura de árboles saludables se reduce.

Los árboles del bosque urbano complutense tienen un valor de sustitución de 18.100.000 € y los siguientes valores funcionales anuales:

- **Almacenamiento de carbono:** 351.000 €
- **Secuestro de carbono:** 17.100 €
- **Escorrentía evitada:** 1.610 €
- **Eliminación de la contaminación:** 32.100 €
- **Costos de la energía y valores de la emisión de carbono:** 24.900 €

En el gráfico puede observarse el valor de sustitución de las 10 especies más importantes del bosque urbano complutense.

El almacenamiento de carbono (C) equivale a



Emisiones anuales de C de
1.760
casas unifamiliares



Emisiones anuales de C de
4.310
automóviles

La eliminación de monóxido de carbono (CO) equivale a



Emisiones anuales de CO de
1
casa unifamiliar



Emisiones anuales de CO de
0
automóviles

La eliminación de dióxido de nitrógeno (NO_2) equivale a



Emisiones anuales de NO_2 de
48
casas unifamiliares



Emisiones anuales de NO_2 de
106
automóviles

La eliminación de dióxido de sulfuro (SO_2) equivale a



Emisiones anuales de SO_2 de
5
casas unifamiliares



Emisiones anuales de SO_2 de
1.890
automóviles

El secuestro anual de carbono (C) equivale a



Emisiones anuales de C de
100
casas unifamiliares



Emisiones anuales de C de
200
automóviles

EFECTOS EQUIVALENTES

El Bosque Urbano Complutense brinda beneficios que incluyen el almacenamiento y secuestro de carbono y la eliminación de la contaminación del aire. El cálculo del valor relativo de dichos beneficios se llevó a cabo mediante la comparación de los beneficios de los árboles con los cálculos de las emisiones promedio de carbono de viviendas unifamiliares y de automóviles.

RECOMENDACIONES

- Gestionar adecuadamente el bosque urbano potencia los servicios ecosistémicos deseados y aumenta el valor económico equivalente.
- Mejorar la estructura y volumen de las copas de los árboles y seleccionar especies con una mayor área foliar está positivamente relacionado con la absorción de contaminación.
- Diseñar adecuadamente la localización del arbolado para optimizar el ahorro energético derivado de refrigerar y calentar edificios.
- Mantener árboles sanos alarga el almacenamiento de carbono, y utilizar la madera de los árboles muertos en productos duraderos o para producir energía ayudará a reducir las emisiones de carbono procedentes de la descomposición de la madera o de la quema de combustibles fósiles.



ANEXO 1

Listado de especies

”

En el bosque complutense se han identificado 152 especies distintas de árboles.

Ciprés de Arizona *(Cupressus arizonica)*

	Conteo de árboles		Cubierta del dosel		Área foliar		Biomasa foliar		Área basal		Almacenamiento de carbono		Equivalente CO_2	Secuestro bruto de Ccarbono		Equivalente CO_2	Escorrentía evitada		Eliminación de la contaminación		Valor de sustitución	Monoterpenos	Isoprenos	Voc totales
Especie	n.º	%	m²	%	m²	%	Kg	%	m²	%	t	€	t	t/año	€/año	t/año	m³/año	€/año	t/año	€/año	€	Kg/año	Kg/año	Kg/año
Abies alba	14	0,1	303,1	0,1	4.282,5	0,2	603,2	0,3	3,1	0,2	6,29	400,32	23,1	0,2	12,82	0,74	1,91	3,64	0,01	72,75	46.450,96	7,6	0,7	8,3
Abies nordmanniana	8	0	136,3	0	1.618,5	0,1	228	0,1	0,7	0	4,02	255,82	14,7	0,17	10,78	0,62	0,72	1,38	0	27,5	11.630,25	2,9	0,3	3,1
Abies pinsapo	16	0,1	221,9	0,1	1.738,5	0,1	244,9	0,1	0,9	0,1	2,13	135,81	7,8	0,12	7,56	0,44	0,78	1,48	0	29,53	17.847,3	3,1	0,3	3,4
Abies x masjoannis	42	0,2	299	0,1	1.030,1	0,1	145,1	0,1	0,4	0	2,18	138,71	8	0,55	35,3	2,03	0,46	0,88	0	17,5	6.015,98	1,8	0,2	2
Acer campestre	10	0,1	52,8	0	124,1	0	7	0	0,1	0	0,33	21,29	1,2	0,04	2,24	0,13	0,06	0,11	0	2,11	3.943,34	0	0	0
Acer monspessulanum	8	0	59	0	219,6	0	12,4	0	0,2	0	0,98	62,38	3,6	0,15	9,75	0,56	0,1	0,19	0	3,73	5.295,03	0,1	0	0,1
Acer negundo	47	0,3	808,4	0,3	4.500,8	0,2	411,7	0,2	4,5	0,3	12,77	812,56	46,8	0,96	60,92	3,51	2,01	3,83	0,01	76,46	48.523,64	2,1	0	2,1
Acer palmatum	3	0	5,4	0	11,1	0	0,6	0	0	0	0,03	1,77	0,1	0	0,27	0,02	0	0,01	0	0,19	579,76	0	0	0
Acer platanoides	23	0,1	159,7	0,1	531,1	0	28,7	0	0,4	0	1	63,73	3,7	0,24	15,13	0,87	0,24	0,45	0	9,02	10.687,49	0,1	0	0,1
Acer pseudoplatanus	14	0,1	66,6	0	192,1	0	13,4	0	0,2	0	0,54	34,65	2	0,1	6,47	0,37	0,09	0,16	0	3,26	6.720	0,1	0	0,1
Aesculus hippocastanum	53	0,3	1.516,9	0,5	13.094,1	0,7	915,7	0,4	6,9	0,5	26,65	1.696,2	97,7	1,58	100,69	5,8	5,86	11,14	0,02	222,44	114.230,64	0,7	0,2	0,8
Ailanthus altissima	855	4,7	10.896,7	3,5	53.718,7	2,8	3.816,1	1,7	37,2	2,5	149,3	9.501,53	547,5	9,03	574,68	33,11	24,02	45,69	0,08	912,58	345.048,09	0	0	0
Albizia	61	0,3	1.041,8	0,3	4.712,5	0,2	204,9	0,1	2,2	0,1	4,45	283,5	16,3	0,4	25,18	1,45	2,11	4,01	0,01	80,06	12.553,79	0,2	4,2	4,3
Alnus	37	0,2	185,4	0,1	844,1	0	46,6	0	0,8	0,1	1,63	103,94	6	0,21	13,25	0,76	0,38	0,72	0	14,34	20.206,93	0,9	0	0,9
Amelanchier ovalis	4	0	10,4	0	11,3	0	0,9	0	0	0	0,02	1,49	0,1	0,01	0,68	0,04	0,01	0,01	0	0,19	278,69	0	0	0
Araucaria araucana	3	0	29,8	0	76,7	0	9,4	0	0,1	0	0,18	11,62	0,7	0,02	1,43	0,08	0,03	0,07	0	1,3	1.835,49	0,1	0	0,1
Arbutus unedo	55	0,3	435,5	0,1	1.143,7	0,1	85	0	1,9	0,1	8,19	521,35	30	0,41	26,39	1,52	0,51	0,97	0	19,43	27.175,41	0	0	0
Betula pendula	16	0,1	319,9	0,1	2.239,9	0,1	133	0,1	0,8	0,1	2,27	144,69	8,3	0,4	25,46	1,47	1	1,91	0	38,05	16.039,6	0,7	0	0,7
Brachychiton acerifolius	3	0	15,1	0	62	0	5,4	0	0,4	0	0,81	51,55	3	0,07	4,48	0,26	0,03	0,05	0	1,05	7.109,71	0	0	0
Broussonetia papyrifera	1	0	9,6	0	17,2	0	1	0	0,1	0	0,06	3,61	0,2	0,01	0,6	0,03	0,01	0,01	0	0,29	1.224,69	0	0	0
Calocedrus decurrens	92	0,5	1.868,2	0,6	20.897	1,1	4.898,5	2,1	10	0,7	26,82	1.706,82	98,3	0,78	49,56	2,86	9,34	17,77	0,03	355	171.562,34	12,3	0	12,3
Carpinus betulus	78	0,4	678	0,2	4.257,1	0,2	256,5	0,1	4,1	0,3	15,2	967,31	55,7	1	63,68	3,67	1,9	3,62	0,01	72,32	73.841,91	0	0	0
Carya illinoinensis	1	0	28,3	0	101,8	0	7,1	0	0	0	0,07	4,59	0,3	0,01	0,49	0,03	0,05	0,09	0	1,73	906,75	0	0	0
Castanea sativa	12	0,1	50,5	0	111,2	0	7,8	0	0,2	0	0,25	15,7	0,9	0,06	4,08	0,24	0,05	0,09	0	1,89	5.419,8	0,2	0	0,2
Casuarina	3	0	25,6	0	78,9	0	5,9	0	0,3	0	1,49	94,52	5,4	0,11	7,24	0,42	0,04	0,07	0	1,34	4.962	0	0,2	0,2
Catalpa bignonioides	50	0,3	616,7	0,2	1.589,2	0,1	84,8	0	1,9	0,1	2,87	182,71	10,5	0,28	17,94	1,03	0,71	1,35	0	27	28.475,28	0,1	0	0,1
Cedrus atlantica	726	4	17.320,5	5,5	150.119	7,9	35.189,7	15,4	87,3	5,8	293,1	18.653,12	1.074,8	10,54	670,73	38,65	67,13	127,68	0,21	2.550,23	1.362.235,61	147,1	0	147,1
Cedrus atlantica v. glauca	15	0,1	571,5	0,2	7.993,2	0,4	1.873,7	0,8	4,1	0,3	32,23	2.050,85	118,2	0,9	57,02	3,29	3,57	6,8	0,01	135,79	71.692,06	7,8	0	7,8
Cedrus deodara	618	3,4	23.064,5	7,3	209.707,4	11,1	49.157,9	21,5	150,3	9,9	472,77	30.087,33	1.733,7	20,28	1.290,44	74,36	93,77	178,36	0,3	3.562,52	2.120.087,49	205,5	0	205,5
Cedrus libani	33	0,2	1.364,4	0,4	12.221,6	0,6	2.864,9	1,3	10	0,7	65,64	4177,04	240,7	1,36	86,68	4,99	5,47	10,39	0,02	207,62	166.668,4	12	0	12
Celtis australis	292	1,6	3.369,5	1,1	14.012,1	0,7	826	0,4	9,3	0,6	6,84	435,33	25,1	0,86	54,52	3,14	6,27	11,92	0,02	238,04	213.552,61	0,6	0	0,6
Ceratonia siliqua	1	0	1,8	0	1,3	0	0,1	0	0,2	0	0,52	33,37	1,9	0	0,03	0	0	0	0	0,02	2.278,65	0	0	0
Cercis siliquastrum	42	0,2	287,9	0,1	564,9	0	36,2	0	1,3	0,1	3,08	196,13	11,3	0,31	19,42	1,12	0,25	0,48	0	9,6	27.092,85	0	0	0
Chamaecyparis lawsoniana	18	0,1	295,5	0,1	3.251,4	0,2	812,9	0,4	1,5	0,1	4,5	286,36	16,5	0,2	12,68	0,73	1,45	2,77	0	55,24	28.210,45	0,7	0	0,7
Chamaecyparis obtusa	2	0	22,2	0	93,3	0	23,3	0	0,8	0,1	2,85	181,35	10,4	0,03	2,16	0,12	0,04	0,08	0	1,58	10.004,42	0	0	0
Chamaerops humilis	5	0	4,9	0	5,6	0	0,9	0	0,2	0	0,17	10,66	0,6	0,04	2,75	0,16	0	0	0	0,09	1.059,44	0	0	0
Crataegus monogyna	5	0	15,7	0	32,9	0	4,1	0	0,1	0	0,39	25,13	1,4	0,03	1,89	0,11	0,01	0,03	0	0,56	2.520,82	0,1	0	0,1
Cryptomeria japonica	4	0	130,6	0	1.351	0,1	76,3	0	2,6	0,2	5,55	353,46	20,4	0,01	0,89	0,05	0,6	1,15	0	22,95	35.105,43	1	0	1
Cupressus arizonica	1127	6,2	11.799,1	3,8	97.892,5	5,2	22.947,1	10	72,8	4,8	613,45	39.040,2	2.249,5	31,92	2.031,43	117,05	43,77	83,26	0,14	1663	970.552,37	86,3	0	86,3

	Conteo de árboles		Cubierta del dosel		Área foliar		Biomasa foliar		Área basal		Almacenamiento de carbono		Equivalente CO_2	Secuestro bruto de Ccarbono		Equivalente CO_2	Escorrentía evitada		Eliminación de la contaminación		Valor de sustitución	Monoterpenos	Isoprenos	Voc totales
Especie	n.º	%	m²	%	m²	%	Kg	%	m²	%	t	€	t	t/año	€/año	t/año	m³/año	€/año	t/año	€/año	€	Kg/año	Kg/año	Kg/año
Cupressus cashmeriana	2	0	54,4	0	384,9	0	90,2	0	0,2	0	1,7	108,18	6,2	0,11	7,09	0,41	0,17	0,33	0	6,54	3.591,78	0,3	0	0,3
Cupressus lusitanica	2	0	33,4	0	122,4	0	28,7	0	0,1	0	0,41	25,85	1,5	0,04	2,25	0,13	0,05	0,1	0	2,08	2.147,17	0,1	0	0,1
Cupressus macrocarpa	35	0,2	493,4	0,2	4.244,5	0,2	995	0,4	2,5	0,2	8,67	552,01	31,8	0,37	23,37	1,35	1,9	3,61	0,01	72,11	45.365,87	3,7	0	3,7
Cupressus sempervirens	264	1,5	2.160,8	0,7	22.352,5	1,2	5.239,7	2,3	23,8	1,6	86,64	5.513,96	317,7	2,71	172,17	9,92	10	19,01	0,03	379,73	376.597,78	19,7	0	19,7
Cydonia oblonga	4	0	45,4	0	187,8	0	14,1	0	0,2	0	0,95	60,76	3,5	0,06	4,05	0,23	0,08	0,16	0	3,19	3.461,22	0	0	0
Diospyros kaki	1	0	19,6	0	57,1	0	3,8	0	0	0	0,07	4,59	0,3	0,01	0,78	0,04	0,03	0,05	0	0,97	919,17	0	0	0
Elaeagnus angustifolia	6	0	41	0	100,3	0	5,2	0	0,6	0	1,89	120,33	6,9	0,06	3,55	0,2	0,04	0,09	0	1,7	8.685,08	0	0	0
Eriobotrya japonica	11	0,1	38,7	0	52,3	0	3,9	0	0,2	0	0,71	45,12	2,6	0,07	4,25	0,24	0,02	0,04	0	0,89	3.959,58	0	0	0
Eucalyptus	4	0	206,8	0,1	812,9	0	105,2	0	0,9	0,1	1,14	72,33	4,2	0,01	0,46	0,03	0,36	0,69	0	13,81	5.804,65	1,7	2,1	3,8
Fagus sylvatica	9	0	34,2	0	133,4	0	6,7	0	0,3	0	1,18	75,06	4,3	0,11	6,86	0,4	0,06	0,11	0	2,27	9.115,9	0	0	0
Ficus carica	15	0,1	295,4	0,1	860,2	0	67,4	0	0,9	0,1	3,16	201,41	11,6	0,21	13,47	0,78	0,38	0,73	0	14,61	15.876,96	0,2	0,2	0,5
Firmiana simplex	1	0	2,4	0	4,2	0	0,4	0	0	0	0,07	4,6	0,3	0,01	0,93	0,05	0	0	0	0,07	919,17	0	0	0
Fraxinus americana	23	0,1	176,3	0,1	1.308,9	0,1	74,4	0	0,3	0	0,84	53,59	3,1	0,13	8,17	0,47	0,59	1,11	0	22,24	6.253,85	0	0	0
Fraxinus angustifolia	338	1,9	2.619,9	0,8	11.035,5	0,6	785,7	0,3	4,2	0,3	9,07	577,13	33,3	1,16	73,8	4,25	4,93	9,39	0,02	187,47	60.334,85	0	0	0
Fraxinus excelsior	36	0,2	373,1	0,1	1.906,6	0,1	202,8	0,1	1,3	0,1	3,12	198,51	11,4	0,47	29,71	1,71	0,85	1,62	0	32,39	25.612,21	0	0	0
Fraxinus ornus	6	0	69,2	0	245,6	0	17,5	0	0,2	0	0,79	50,37	2,9	0,08	5,25	0,3	0,11	0,21	0	4,17	5.107,69	0	0	0
Ginkgo biloba	17	0,1	54,5	0	347,1	0	33,3	0	0,2	0	0,27	17,48	1	0,02	1,47	0,08	0,16	0,3	0	5,9	7.197,23	0,4	0	0,4
Gleditsia triacanthos	642	3,5	9.335	3	24.935,2	1,3	2.611,3	1,1	14,7	1	35,46	2.256,56	130	4,28	272,37	15,69	11,15	21,21	0,04	423,6	253.135,78	0	0	0
Hibiscus syriacus	17	0,1	38,3	0	101,4	0	4,9	0	0,2	0	0,51	32,18	1,9	0,19	12,28	0,71	0,05	0,09	0	1,72	5.426,16	0	0	0
Ilex aquifolium	1	0	1,8	0	3,6	0	0,5	0	0	0	0,02	1,17	0,1	0	0,23	0,01	0	0	0	0,06	454,12	0	0	0
Juglans nigra	3	0	83,4	0	422,4	0	33,9	0	0,3	0	0,55	34,98	2	0,06	3,53	0,2	0,19	0,36	0	7,18	4.667,79	0,5	0	0,5
Juglans regia	3	0	71,7	0	311,4	0	13,1	0	0,1	0	0,26	16,53	1	0,04	2,49	0,14	0,14	0,26	0	5,29	2.702,09	0,2	0	0,2
Juniperus communis	1	0	2,4	0	10,8	0	3	0	0	0	0,06	4,07	0,2	0	0,21	0,01	0	0,01	0	0,18	503,35	0	0	0
Juniperus oxycedrus	4	0	53,3	0	215,7	0	59,9	0	0,3	0	1,81	114,92	6,6	0,12	7,7	0,44	0,1	0,18	0	3,66	5.075,48	0,2	0	0,2
Juniperus thurifera	7	0	166,1	0,1	943,2	0	262,1	0,1	0,3	0	1,83	116,74	6,7	0,19	11,82	0,68	0,42	0,8	0	16,02	6.364,81	0,8	0	0,8
Juniperus virginiana	4	0	80,9	0	1.079,4	0,1	299,9	0,1	0,3	0	0,85	54,15	3,1	0,04	2,7	0,16	0,48	0,92	0	18,34	5.242,99	0,9	0	0,9
Koelreuteria paniculata	21	0,1	139,3	0	571	0	46,1	0	0,3	0	0,98	62,1	3,6	0,1	6,21	0,36	0,26	0,49	0	9,7	7.071,96	0	0	0
Lagerstroemia indica	5	0	18,1	0	28	0	3,6	0	0	0	0,05	3,46	0,2	0,02	1,28	0,07	0,01	0,02	0	0,47	1.051,97	0	0	0
Larix	4	0	19	0	61,4	0	4	0	0,1	0	0,39	24,52	1,4	0,06	3,54	0,2	0,03	0,05	0	1,04	2.915,02	0,1	0	0,1
Laurus nobilis	21	0,1	126,1	0	216,3	0	12,3	0	0,3	0	2,74	174,28	10	0,14	9,05	0,52	0,1	0,18	0	3,67	4.299,89	0	0	0
Ligustrum japonicum	84	0,5	1.041,6	0,3	4.944,9	0,3	449,6	0,2	8,1	0,5	42,39	2.698,01	155,5	1,11	70,72	4,07	2,21	4,21	0,01	84	132.106	0	16,8	16,8
Ligustrum lucidum	55	0,3	478,6	0,2	1.651,1	0,1	150,1	0,1	3,4	0,2	11,12	707,69	40,8	0,57	36,4	2,1	0,74	1,4	0	28,05	55.668,24	0	5,6	5,6
Liquidambar styraciflua	13	0,1	85,2	0	662,4	0	30,4	0	0,6	0	0,97	61,67	3,6	0,14	9,2	0,53	0,3	0,56	0	11,25	14.389,75	0,3	0,8	1,1
Liriodendron tulipifera	3	0	10,1	0	65,4	0	3,9	0	0,1	0	0,18	11,75	0,7	0,04	2,62	0,15	0,03	0,06	0	1,11	2.496,23	0	0	0
Maclura pomifera	3	0	54,4	0	248,3	0	25	0	0,1	0	0,21	13,53	0,8	0,03	2,03	0,12	0,11	0,21	0	4,22	2.039,38	0	0	0
Magnolia grandiflora	28	0,2	387,2	0,1	1.784,9	0,1	241,1	0,1	1,1	0,1	2,8	178,48	10,3	0,32	20,11	1,16	0,8	1,52	0	30,32	24.521,52	6	0	6,1
Malus	8	0	102,8	0	295,9	0	25,5	0	0,3	0	0,87	55,11	3,2	0,09	5,41	0,31	0,13	0,25	0	5,03	5.309,91	0,7	0	0,7
Metasequoia glyptostroboides	5	0	118,3	0	688	0	38,9	0	0,4	0	0,47	30,15	1,7	0,06	3,54	0,2	0,31	0,59	0	11,69	8.431,36	0,4	0	0,4
Morus alba	219	1,2	4.790,5	1,5	22.571,8	1,2	1.651,2	0,7	13,6	0,9	32,25	2.052,32	118,3	1,68	106,84	6,16	10,09	19,2	0,03	383,45	248.862,87	9,9	0	9,9

	Conteo de árboles		Cubierta del dosel		Área foliar		Biomasa foliar		Área basal		Almacenamiento de carbono		Equivalente CO_2	Secuestro bruto de Ccarbono		Equivalente CO_2	Escorrentía evitada		Eliminación de la contaminación		Valor de sustitución	Monoterpenos	Isoprenos	Voc totales
Especie	n.º	%	m²	%	m²	%	Kg	%	m²	%	t	€	t	t/año	€/año	t/año	m³/año	€/año	t/año	€/año	€	Kg/año	Kg/año	Kg/año
Morus nigra	4	0	71,9	0	308,5	0	26	0	0,3	0	0,57	36,57	2,1	0,04	2,84	0,16	0,14	0,26	0	5,24	5.570,23	0,2	0	0,2
Olea europaea	48	0,3	1.055,8	0,3	2.884,1	0,2	223,8	0,1	13,5	0,9	49,69	3.162,03	182,2	1,36	86,73	5	1,29	2,45	0	49	207.168,03	0,2	0	0,2
Ostrya carpinifolia	2	0	31,4	0	152,9	0	10	0	0,1	0	0,16	10,36	0,6	0,03	1,88	0,11	0,07	0,13	0	2,6	1.390,41	0	0	0
Phillyrea	1	0	7,1	0	13,9	0	1,1	0	0	0	0,02	1,28	0,1	0,01	0,46	0,03	0,01	0,01	0	0,24	221,82	0	0	0
Phoenix canariensis	6	0	122,7	0	315,6	0	48,7	0	2,3	0,1	0,76	48,58	2,8	0,05	2,9	0,17	0,14	0,27	0	5,36	9.686,34	0	0,2	0,2
Photinia	1	0	9,6	0	10,4	0	1,1	0	0	0	0,13	8,41	0,5	0,02	1,48	0,09	0	0,01	0	0,18	739,48	0	0	0
Picea abies	12	0,1	103,1	0	456	0	76	0	0,3	0	0,8	50,98	2,9	0,06	3,59	0,21	0,2	0,39	0	7,75	5.876,57	0,9	0,3	1,1
Picea pungens	4	0	45,8	0	442,1	0	73,6	0	0,3	0	0,65	41,37	2,4	0,04	2,57	0,15	0,2	0,38	0	7,51	5.814,72	0,8	0,3	1,1
Pinus halepensis	1570	8,7	39.765,8	12,7	195.742,3	10,4	18.866,7	8,2	173,7	11,4	348,06	22.150,69	1.276,3	18,45	1.173,85	67,64	87,53	166,48	0,28	3.325,28	1.326.229,21	258,3	0	258,3
Pinus nigra	12	0,1	247,3	0,1	2.547,3	0,1	245,5	0,1	1,3	0,1	2,4	152,84	8,8	0,15	9,38	0,54	1,14	2,17	0	43,27	23.448,3	3,4	0	3,4
Pinus pinaster	2	0	3,1	0	8,8	0	0,8	0	0	0	0,05	3,16	0,2	0,01	0,67	0,04	0	0,01	0	0,15	907,45	0	0	0
Pinus pinea	4907	27,1	64.262,3	20,5	232.037,1	12,3	22.365	9,8	261,5	17,2	549,44	34.966,32	2.014,8	31,71	2.018,04	116,28	103,76	197,35	0,33	3.941,86	2.033.491,85	306,2	0	306,2
Pinus radiata	4	0	46,3	0	430,9	0	41,5	0	0,4	0	0,66	41,78	2,4	0,06	3,6	0,21	0,19	0,37	0	7,32	5.909,33	0,6	0	0,6
Pinus strobus	1	0	28,3	0	112,6	0	7,2	0	0	0	0,05	3,2	0,2	0,01	0,62	0,04	0,05	0,1	0	1,91	961,24	0,1	0	0,1
Pinus sylvestris	28	0,2	729	0,2	6.116,9	0,3	589,6	0,3	2,2	0,1	4,79	305,1	17,6	0,39	25	1,44	2,74	5,2	0,01	103,91	40.214,02	8,1	0	8,1
Pinus uncinata	2	0	26,7	0	75,6	0	7,3	0	0,1	0	0,1	6,19	0,4	0,01	0,52	0,03	0,03	0,06	0	1,29	1.457,26	0,1	0	0,1
Pittosporum tobira	18	0,1	249,9	0,1	588,4	0	44,3	0	1,2	0,1	7,24	460,53	26,5	0,41	26,29	1,52	0,26	0,5	0	10	21.216,57	0	0	0
Platanus x hybrida	1098	6,1	36.636,2	11,7	328.431,9	17,4	14.342	6,3	153	10,1	389,8	24.807,19	1.429,4	19,37	1.232,74	71,03	146,86	279,34	0,47	5.579,42	2.523.111,83	1,4	215,7	217,2
Platycladus orientalis	381	2,1	3.522,6	1,1	19.881,3	1,1	4.660,4	2	27,9	1,8	95,84	6.098,95	351,4	3,03	192,67	11,1	8,89	16,91	0,03	337,74	442.191,8	13,9	0,2	14,1
Populus alba	52	0,3	1.133,3	0,4	11.343,7	0,6	986,4	0,4	10,3	0,7	34,48	2.194,57	126,5	2,02	128,81	7,42	5,07	9,65	0,02	192,71	93.611,93	3,8	31,9	35,7
Populus alba ssp. pyramidalis	400	2,2	10.151	3,2	94.615,5	5	6.827	3	91,8	6	837,33	53.287,48	3.070,5	40,39	2.570,25	148,1	42,31	80,47	0,13	1.607,33	845.172,22	26,1	220,9	247
Populus deltoides	1	0	38,5	0	642,9	0	46,4	0	0,8	0,1	3,59	228,45	13,2	0,14	9,15	0,53	0,29	0,55	0	10,92	8.083,52	0,2	1,5	1,7
Populus nigra	15	0,1	644,2	0,2	2.808,2	0,1	202,5	0,1	4,7	0,3	16,45	1.046,76	60,3	0,65	41,55	2,39	1,26	2,39	0	47,71	27.352,5	0,8	6,6	7,3
Populus tremula	15	0,1	224,9	0,1	987,6	0,1	71,3	0	0,8	0,1	1,83	116,5	6,7	0,28	18,11	1,04	0,44	0,84	0	16,78	12.223,21	0,3	2,3	2,6
Populus x canadensis	254	1,4	4.121,1	1,3	29.112,5	1,5	2.690,6	1,2	34,6	2,3	108,73	6.919,78	398,7	5,95	378,93	21,83	13,02	24,76	0,04	494,56	271.639,47	10,3	87,1	97,3
Prunus armeniaca	45	0,2	169,1	0,1	369,7	0	28,6	0	0,2	0	0,68	43,28	2,5	0,21	13,54	0,78	0,17	0,31	0	6,28	5573,17	0	0	0
Prunus avium	15	0,1	165,3	0,1	623	0	48,2	0	0,6	0	2,59	165,11	9,5	0,1	6,49	0,37	0,28	0,53	0	10,58	9.648,68	0	0	0
Prunus cerasifera	249	1,4	3.815,5	1,2	15.067,3	0,8	915,4	0,4	53,5	3,5	290,11	18.462,43	1.063,8	2,34	149,1	8,59	6,74	12,81	0,02	255,96	615.474,69	0,8	0	0,8
Prunus dulcis	139	0,8	1.322,3	0,4	3.524,2	0,2	356,9	0,2	2,6	0,2	11,11	707,2	40,7	1,14	72,84	4,2	1,58	3	0,01	59,87	42.271,48	0,3	0	0,3
Prunus laurocerasus	8	0	548,2	0,2	1.937,5	0,1	149,9	0,1	1,7	0,1	12,33	784,98	45,2	0,03	1,67	0,1	0,87	1,65	0	32,91	21.179,41	0,1	0	0,1
Prunus lusitanica	3	0	8,1	0	18	0	1,4	0	0	0	0,15	9,8	0,6	0,02	1,12	0,06	0,01	0,02	0	0,31	767,97	0	0	0
Prunus mahaleb	1	0	38,5	0	193,6	0	15	0	0,2	0	1,02	64,83	3,7	0	0,1	0,01	0,09	0,16	0	3,29	2.595,48	0	0	0
Prunus padus	1	0	9,6	0	29,3	0	2,3	0	0,1	0	0,47	30,2	1,7	0,02	1,23	0,07	0,01	0,02	0	0,5	1.753,6	0	0	0
Prunus persica	26	0,1	169,6	0,1	245,8	0	19	0	0,2	0	0,54	34,14	2	0,23	14,42	0,83	0,11	0,21	0	4,18	6.341,58	0	0	0
Prunus serrulata	13	0,1	93,4	0	146,4	0	11,3	0	0,4	0	1,48	93,93	5,4	0,25	15,81	0,91	0,07	0,12	0	2,49	7.590,05	0	0	0
Prunus spinosa	2	0	19	0	48,7	0	3,8	0	0	0	0,11	6,75	0,4	0,02	1,57	0,09	0,02	0,04	0	0,83	884,08	0	0	0
Pseudotsuga menziesii	2	0	76,4	0	704,5	0	84,9	0	0,3	0	0,25	16,09	0,9	0,01	0,93	0,05	0,32	0,6	0	11,97	4.474,94	0,3	0	0,3
Pterocarya	1	0	4,9	0	5,2	0	0,4	0	0	0	0,03	1,77	0,1	0	0,22	0,01	0	0	0	0,09	326,96	0	0	0
Punica granatum	1	0	4	0	9	0	1,2	0	0,1	0	0,21	13,26	0,8	0,03	1,61	0,09	0	0,01	0	0,15	1227,4	0	0	0

	Conteo de árboles		Cubierta del dosel		Área foliar		Biomasa foliar		Área basal		Almacenamiento de carbono		Equivalente CO_2	Secuestro bruto de Ccarbono		Equivalente CO_2	Escorrentía evitada		Eliminación de la contaminación		Valor de sustitución	Monoterpenos	Isoprenos	Voc totales
Especie	n.º	%	m²	%	m²	%	Kg	%	m²	%	t	€	t	t/año	€/año	t/año	m³/año	€/año	t/año	€/año	€	Kg/año	Kg/año	Kg/año
Pyrus calleryana	5	0	108,7	0	409,8	0	30,8	0	1	0,1	5,81	369,47	21,3	0,07	4,33	0,25	0,18	0,35	0	6,96	3.906,68	0,1	0	0,1
Pyrus communis	2	0	4,2	0	8,3	0	0,6	0	0	0	0,12	7,67	0,4	0,03	1,71	0,1	0	0,01	0	0,14	966,09	0	0	0
Quercus coccifera	3	0	11,4	0	49,6	0	4,9	0	0,2	0	0,6	38,49	2,2	0,04	2,58	0,15	0,02	0,04	0	0,84	3.769,7	0,2	0,1	0,3
Quercus faginea	7	0	82,1	0	298,7	0	29,7	0	0,3	0	1,13	72,15	4,2	0,09	5,81	0,33	0,13	0,25	0	5,07	7.167,88	1,1	0,7	1,8
Quercus ilex	580	3,2	3.035,8	1	11.652,9	0,6	1.157,1	0,5	8,7	0,6	33,44	2.127,84	122,6	4,56	290,51	16,74	5,21	9,91	0,02	197,96	169.708,57	42,9	27,9	70,8
Quercus pyrenaica	20	0,1	158,8	0,1	561,2	0	55,7	0	0,4	0	2,09	132,75	7,6	0,28	18,1	1,04	0,25	0,48	0	9,53	11.945,67	2,1	1,3	3,4
Quercus robur	14	0,1	85,8	0	248,1	0	16,5	0	0,5	0	1,5	95,71	5,5	0,23	14,66	0,84	0,11	0,21	0	4,21	11.915,29	0,6	0,4	1
Quercus suber	24	0,1	117,6	0	355,1	0	52,7	0	1,4	0,1	6,12	389,18	22,4	0,3	18,95	1,09	0,16	0,3	0	6,03	33.379,95	2	1,3	3,2
Robinia pseudoacacia	189	1	3.403,5	1,1	14.427,2	0,8	776,7	0,3	23,5	1,5	77,45	4.928,92	284	4,11	261,43	15,06	6,45	12,27	0,02	245,09	243.759,43	13,6	13,8	27,4
Salix babylonica	29	0,2	1326,5	0,4	6.849,8	0,4	433,9	0,2	7	0,5	61,12	3.889,96	224,1	2,43	154,83	8,92	3,06	5,83	0,01	116,36	69.397,98	0,5	12,8	13,3
Sambucus nigra	1	0	7,1	0	32	0	1,7	0	0,1	0	0,27	17,2	1	0	0,75	0,04	0,01	0,03	0	0,54	1.187,95	0	0	0
Sequoia sempervirens	9	0	254,1	0,1	3.170,6	0,2	179,1	0,1	2,8	0,2	6,13	389,95	22,5	0,27	17,03	0,98	1,42	2,7	0	53,86	40.733,67	2,2	0	2,2
Sequoiadendron giganteum	11	0,1	256,3	0,1	3.142,2	0,2	177,5	0,1	3,7	0,2	21,09	1.342,14	77,3	0,33	20,71	1,19	1,41	2,67	0	53,38	42.283,63	2,2	0	2,2
Sorbus aria	13	0,1	69,7	0	160,9	0	12,8	0	0,3	0	0,81	51,45	3	0,14	8,82	0,51	0,07	0,14	0	2,73	7.315,42	0,1	0	0,1
Spiraea cantoniensis	1	0	1,8	0	3,9	0	0,3	0	0	0	0	0,15	0	0	0,17	0,01	0	0	0	0,07	46,92	0	0	0
Styphnolobium japonicum	26	0,1	795,8	0,3	2.453,4	0,1	207,9	0,1	2,9	0,2	14,17	901,86	52	0,64	40,99	2,36	1,1	2,09	0	41,68	48.357,08	0,3	0,5	0,9
Symplocos lanata	1	0	4,9	0	13,4	0	0,9	0	0,1	0	0,44	28,27	1,6	0,02	1,55	0,09	0,01	0,01	0	0,23	2.021,42	0	0	0
Tamarix africana	2	0	40,8	0	174	0	14,9	0	0,1	0	0,26	16,24	0,9	0,06	3,72	0,21	0,08	0,15	0	2,96	1.512,17	0	0	0
Tamarix gallica	41	0,2	282,9	0,1	751,9	0	64,3	0	0,6	0	2,57	163,73	9,4	0,42	26,58	1,53	0,34	0,64	0	12,77	14.540,06	0	0	0
Taxodium distichum	1	0	14,2	0	34,1	0	1,9	0	0	0	0,07	4,19	0,2	0,01	0,77	0,04	0,02	0,03	0	0,58	1.007,68	0	0	0
Taxus baccata	5	0	88,4	0	264,7	0	32,3	0	0,1	0	0,3	19,38	1,1	0,02	1,5	0,09	0,12	0,23	0	4,5	2.539,48	0,2	0	0,2
Thuja plicata	5	0	57,7	0	175,9	0	33,8	0	0,1	0	0,05	3	0,2	0	0,2	0,01	0,08	0,15	0	2,99	1.996,72	0	0	0
Tilia cordata	147	0,8	1.990,8	0,6	8.880,9	0,5	665,3	0,3	7,6	0,5	17,59	1.119,39	64,5	1,97	125,49	7,23	3,97	7,55	0,01	150,87	181.630,69	0	0	0
Tilia platyphyllos	50	0,3	561,2	0,2	2.899,2	0,2	171,6	0,1	2,1	0,1	4,85	308,94	17,8	0,54	34,44	1,98	1,3	2,47	0	49,25	49.977,15	0	0	0
Trachycarpus fortunei	8	0	31,1	0	41,3	0	6,4	0	0,3	0	0,32	20,43	1,2	0,06	3,56	0,2	0,02	0,04	0	0,7	3.096,08	0	0	0,1
Ulmus glabra	38	0,2	627,3	0,2	2.534,6	0,1	172,6	0,1	1,2	0,1	3,43	218,57	12,6	0,47	29,78	1,72	1,13	2,16	0	43,06	26.124,2	0,8	0	0,8
Ulmus minor ssp. angustifolia	353	1,9	7.043,6	2,2	35.529,4	1,9	2.419,9	1,1	25,9	1,7	148,07	9.422,92	543	5,4	343,42	19,79	15,89	30,22	0,05	603,58	405.128,37	11,7	0	11,7
Ulmus pumila	853	4,7	21.535	6,9	120.526,1	6,4	8.209,1	3,6	87,1	5,7	305,22	19.423,95	1119,2	19,14	1.218,27	70,2	53,89	102,51	0,17	2.047,5	662.566,47	39,7	0	39,7
Viburnum tinus	5	0	18,3	0	34	0	1,8	0	0	0	0,07	4,28	0,2	0,01	0,93	0,05	0,02	0,03	0	0,58	727,06	0	0	0
Vitex agnus-castus	3	0	21	0	49,1	0	6,6	0	0,6	0	1,87	118,98	6,9	0,01	0,41	0,02	0,02	0,04	0	0,83	9.991,07	0	0	0
Vitis vinifera	3	0	26,3	0	31,9	0	2,1	0	0	0	0,08	4,99	0,3	0,03	1,67	0,1	0,01	0,03	0	0,54	900,3	0	0	0
x Cuprocyapris leylandii	1	0	12,6	0	158,4	0	37,1	0	0	0	0,32	20,24	1,2	0,03	1,78	0,1	0,07	0,13	0	2,69	297,19	0,1	0	0,1
Yucca aloifolia	20	0,1	35,3	0	27,5	0	4,2	0	0,1	0	0,13	8,26	0,5	0,05	3,02	0,17	0,01	0,02	0	0,47	4.332,08	0	0	0
Zelkova carpinifolia	1	0	15,9	0	42,7	0	2,8	0	0	0	0,11	7,25	0,4	0,02	1,03	0,06	0,02	0,04	0	0,72	962,33	0	0	0
Ziziphus jujuba	1	0	4,9	0	12,6	0	0,6	0	0	0	0,14	8,76	0,5	0,02	1,35	0,08	0,01	0,01	0	0,21	919,17	0	0	0
Total	**18.138**	**100**	**313.864,1**	**100**	**1.889.413,7**	**100**	**228.710,1**	**100**	**1.518,7**	**100**	**5.521,59**	**351.393,67**	**20.247,7**	**269,17**	**17.129,78**	**987,04**	**844,87**	**1.606,98**	**2,69**	**32.097,46**	**18.073.222,68**	**1.297,7**	**657,5**	**1.955,2**



Flor del olmo de Siberia *(Ulmus pumila)*
Foto: Felipe Castilla

ANEXO 2

Notas acerca del método

”

Los datos recopilados incluyeron el tipo de uso del suelo, georreferenciación, identificación de cada individuo y distintas características estructurales.

Facultad de Psicología, Campus de Somosaguas



El Modelo i-Tree Eco está diseñado para utilizar datos de campo estandarizados y datos locales de contaminación y meteorológicos para cuantificar la estructura del bosque urbano de las ciudades y sus servicios ecosistémicos. La versión utilizada en este estudio ha sido la V6 de 2022.

Los datos de campo se han recopilado durante los meses de febrero y marzo, lo que ha dificultado la identificación de los individuos que carecían de hojas. Los datos recopilados incluyeron el tipo de uso del suelo (zonas forestales, zonas deportivas, parques y jardines, huertos y plantaciones, descampado), georreferenciación e identificación de cada individuo a nivel de especie, y distintas características estructurales como el diámetro del tronco a la altura del pecho, altura, ancho de la copa, copa faltante y muerte regresiva. También se tomaron medidas de la distancia y dirección a edificios para los individuos ubicados a 18,29 metros de los edificios (Nowak et al., 2005; Nowak et al., 2008).

Facultad de Ciencias Biológicas,
Campus de Moncloa



CARACTERÍSTICAS DE LOS ÁRBOLES

El área foliar de los árboles se ha calculado utilizando las mediciones de las dimensiones de copa y el porcentaje de copa faltante en cada ejemplar. En concreto, se ha utilizado la siguiente ecuación de regresión (Nowak, 1996): ln Y = -4,3309 + 0,2942H + 0,7312D + 5,7217 S + -0,0148 C, donde H es la altura de la copa (m), D es el diámetro promedio de la copa (m), S es el factor de sombra promedio para las cada especie (porcentaje de intensidad de luz interceptada por las copas de los árboles) y C se basa en el área de la superficie exterior de la copa del árbol (πD(H+D)/2).

ELIMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

La eliminación de la contaminación se calcula para ozono, dióxido de sulfuro, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, material particulado menor a 2,5 micras, y material particulado menor a 10 micras y mayor a 2,5 micras.

Los cálculos de la eliminación de la contaminación del aire se derivan de los cálculos de la resistencia del dosel de los árboles al ozono, sulfuro y dióxido de nitrógeno por hora con base en un híbrido de los modelos de deposición de doseles de hojas grandes y de multicapas (Baldocchi, 1988; Baldocchi et al., 1987). Como la eliminación de monóxido de carbono y material particulado por la vegetación no está directamente relacionada con la transpiración, las velocidades de deposición para dichos contaminantes se basan en los valores promedio medidos de la literatura (Bidwell y Fraser, 1972; Lovett, 1994) que se modificaron según la fenología y área de las hojas. La eliminación del material particulado incorporó un índice de suspensión del 50% de partículas de regreso a la atmósfera (Zinke, 1967). Las actualizaciones recientes del 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 contaminación y valores monetarios actualizados de los contaminantes (Hirabayashi et al., 2011; Hirabayashi et al., 2012; Hirabayashi, 2011).



Campo de rugby de la Facultad de Ciencias de la Información, Campus de Moncloa
Foto: Pepe Añón

Los árboles eliminan PM2,5 y PM10 cuando estas partículas se depositan en la superficie de las hojas (Nowak et al 2013). Este material particulado depositado puede volverse a suspender en la atmósfera o eliminarse durante la lluvia y disolverse o transferirse al suelo. La combinación de eventos puede conducir a una eliminación de la contaminación positiva o negativa y el valor dependiendo de varios factores atmosféricos. Por lo general, la eliminación de PM2,5 y PM10 es positiva con beneficios positivos. Sin embargo, existen casos donde la eliminación neta es negativa o las partículas resuspendidas conducen a mayores concentraciones de contaminación y valores negativos. Durante algunos meses (p. ej., sin lluvia), se resuspenden más partículas de las que los árboles eliminan. Como los valores de eliminación de la contaminación están basados en el cambio en la concentración de la contaminación, pueden darse situaciones poco comunes en las que los árboles eliminan PM2,5 y PM10 pero aumentan las concentraciones por lo que tienen valores negativos durante períodos positivos de eliminación general.

Los cálculos del valor económico se basan en los valores europeos de externalidades promedio (Van Essen et al., 2011) o en las ecuaciones de regresión del Programa de Análisis y Mapeo de Beneficios Ambientales de la Agencia de Protección Ambiental BenMAP (Nowak et al., 2014) que incorporan cálculos de población previamente definidos. Para este análisis, el valor de la eliminación de la contaminación se calcula con base en los precios de 1.095 € por tonelada métrica (monóxido de carbono), 16.714 € por tonelada métrica (ozono), 2.496 € por tonelada métrica (dióxido de nitrógeno), 909 € por tonelada métrica (dióxido de sulfuro), 580.190 € por tonelada métrica (material particulado menor a 2,5 micras), 2.975 € por tonelada métrica (material particulado menor a 10 micras y mayor a 2,5 micras).

Real Jardín Botánico Alfonso XIII
Foto: Hampton SC



ALMACENAMIENTO Y SECUESTRO DE CARBONO

El almacenamiento de carbono es la cantidad de carbono capturada en la biomasa aérea y subterránea. Para calcular el almacenamiento actual de carbono, se calcula la biomasa de cada árbol utilizando ecuaciones de la literatura y los datos de los árboles medidos. Los árboles maduros con mantenimiento tienden a tener menos biomasa de la predicha por las ecuaciones de biomasa derivadas del bosque (Nowak, 1994). Para ajustar la diferencia, los resultados de la biomasa para árboles urbanos maduros se multiplicaron por 0,8. No se hizo ninguna modificación para los árboles en condiciones naturales (zonas forestales). La biomasa del peso seco de los árboles se convirtió a carbono almacenado multiplicándola por 0,5.

El secuestro de carbono es la eliminación del dióxido de carbono del aire por la vegetación. Para calcular la cantidad bruta de carbono secuestrado anualmente, se añadió el crecimiento promedio del diámetro del género correspondiente y la clase de diámetro y condición del árbol al diámetro existente del mismo (año x) para calcular el diámetro del árbol y el almacenamiento de carbono en el año x+1.

Los valores de almacenamiento y secuestro de carbono calculados con el modelo i-Tree se han obtenido sobre la base de 64 € por tonelada métrica, conforme a la cotización del carbono de 2 de marzo de 2021. Se ha utilizado el valor EUA, acrónimo de European Union Allowance. Cada EUA equivale al derecho a emitir una tonelada de CO_2 y tiene el mismo precio de mercado independientemente de su emisor (país de la Unión Europea). Respecto a esto es necesario destacar la importante variación que sufre el mercado de carbono, con una tendencia al aumento de su cotización. Esto es importante de cara a comparar los resultados de este estudio con otros obtenidos en el pasado, cuando la cotización del bono de carbono era más baja y también de cara a considerar una infravaloración del valor económico del bosque urbano complutense si se confirman las tendencias al alza de este mercado.

Facultad de Ciencias de la Información,
Campus de Moncloa



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. El valor monetario de ahorro de energía se ha calculado sobre la base de los precios locales de 180 € por MWh y 36,61 € por MBTU.

ESCORRENTÍA EVITADA

La escorrentía superficial anual evitada se calcula como la diferencia entre la escorrentía anual con y sin precipitación, considerando solamente 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 1,9 € por m^3.



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Campus de Somosaguas

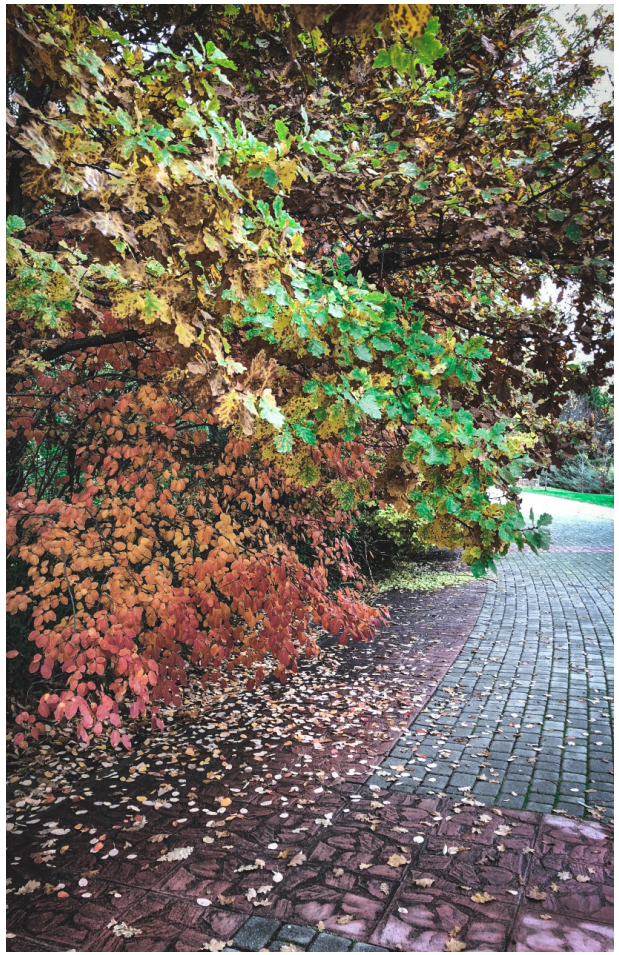
VALOR DE SUSTITUCIÓN

El valor de sustitución es el valor de un árbol con base en el mismo recurso físico (p. ej., el costo de tener que reemplazar un árbol con otro similar). Los valores de sustitución se basan en los procedimientos de valoración del Consejo de Tasadores de Árboles y el Paisaje, que usa la información de especie, diámetro, condición y lugar del árbol (Nowak et al., 2002a; 2002b).

EFECTOS EQUIVALENTES DEL ARBOLADO

El 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

Real Jardín Botánico Alfonso XIII
Foto: Hampton SC



sobre Dióxido de Carbono, 2010). Las emisiones per cápita se multiplicaron por la población de los Municipios de Madrid y Pozuelo de Alarcón (donde se ubican los dos campus de Moncloa y Somosaguas, respectivamente), para estimar las emisiones totales de carbono. Las tasas de emisión de vehículos de servicio ligero (g/ml) para CO, NOx, COV, PM10 y SO_2 para 2010 (Bureau of Transportation Statistics, 2010; Heirigs et al., 2004) PM2,5 para 2011-2015 (California Air Resources Board 2013) y CO_2 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).

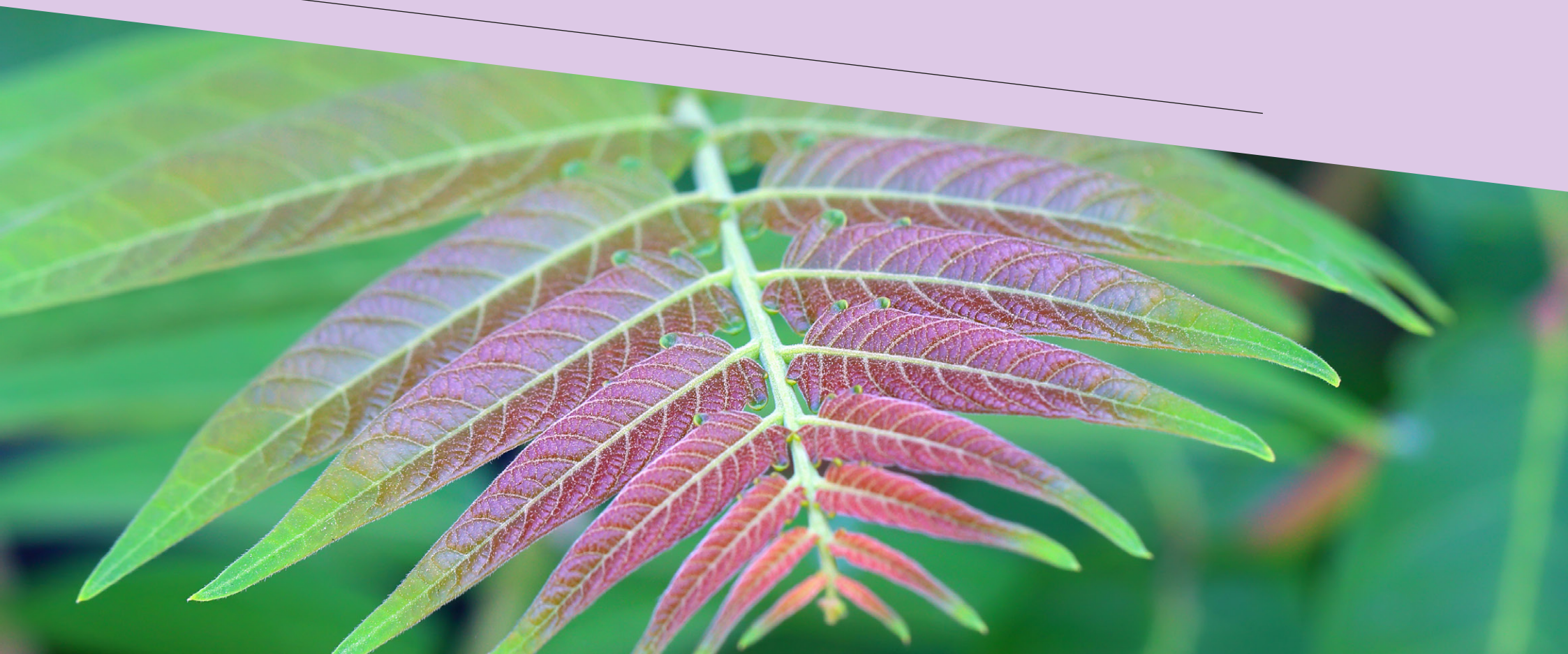
- La emisión de CO_2, SO_2 y NO_x por kWh son de Leonardo Academy, 2011. La emisión de CO por kWh supone que 1/3 de un uno por ciento de las emisiones de C son CO, basándose en la Energy Information Administration 1994. Emisión de PM10 por kWh de Layton, 2004.

- Las emisiones de CO_2, NO_x, SO_2 y CO por BTU para gas natural, propano y butano (promedio utilizado para representar GLP), combustibles n.º 4 y n.º 6 (promedio utilizado para representar el fuel oil y el queroseno) son de Leonardo Academy, 2011.

- Las emisiones de CO_2 por BTU de madera de Energy Information Administration, 2014.

- Las emisiones de CO, NO_x y SO_x por BTU sobre la base de emisiones totales de la combustión de madera (toneladas) se han obtenido del British Columbia Ministry, 2005, y de la Comisión Forestal de Georgia, 2009.

BIBLIOGRAFÍA



Ailanto *(Ailanthus altissima)*

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.

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.

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

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

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.

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

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.

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

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.

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.

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.

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.; Van der Zanden, 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.; Hoefer, 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.

Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-being: Our Human Planet-Summary for Decision-makers.

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. 1996. Estimating leaf area and leaf biomass of open-grown urban deciduous trees. Forest Science. 42(4): 504–507.

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 & 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.

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.

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

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.

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.



Vista aérea del Real Jardín Botánico Alfonso XIII



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

tecnigral