



Evaluación de los servicios ecosistémicos generados por la infraestructura verde de la Universidad Rey Juan Carlos

Informe de resultados

Asociación Ecología y Educación para una Ciudad
Sostenible -Transitando

transitando.org
transitando@transitando.org

16/12/2020

Encarga:



Universidad
Rey Juan Carlos

Ejecuta:

transitando
ecología y educación para una ciudad sostenible



Este estudio ha sido realizado por la *Asociación Ecología y Educación para una Ciudad Sostenible – Transitando* como encargo de la *Oficina Verde de la Universidad Rey Juan Carlos* con el objetivo de profundizar en el conocimiento del arbolado del conjunto de los campus que conforman la universidad, dándole continuidad a los trabajos iniciados en 2019 en el campus de Fuenlabrada.

Agradecimientos: agradecemos a la Oficina Verde de la Universidad Rey Juan Carlos su apoyo y disposición durante la ejecución del trabajo de campo.

Índice de contenidos

0. Introducción	1
1. Metodología	4
2. Resultados	7
3. Conclusiones	18
4. Recomendaciones.....	21
5. Nota aclaratoria	23
6. Bibliografía.....	25

0. Introducción

Los servicios de los ecosistemas se consideran contribuciones directas e indirectas de los ecosistemas al bienestar humano. Este marco teórico permite abordar el análisis de los ecosistemas desde un punto de vista integral ya que vincula el funcionamiento biofísico de los sistemas naturales a la calidad de vida de las poblaciones humanas.

Los sistemas urbanos son grandes consumidores de servicios de los ecosistemas que proceden, normalmente, de territorios ubicados más allá de los límites de la ciudad, lo que genera grandes impactos socio-ecológicos. Sin embargo, en las últimas décadas las ciudades han sido objeto de análisis de aquellos servicios de los ecosistemas que se generan localmente dentro de los propios espacios urbanos. A pesar de las dificultades de los sistemas naturales para desarrollarse en las urbes, se ha visto que las ciudades pueden generar un diverso abanico de servicios de los ecosistemas tanto de abastecimiento (ej.: alimentos, materias primas), de regulación (ej.: depuración del agua, regulación térmica) y culturales (ej.: recreación, turismo, inspiración).

La evaluación de los servicios de los ecosistemas urbanos es de gran relevancia a la hora de poner en valor la función de elementos de la infraestructura verde urbana, especialmente en un contexto de cambio global y climático. El arbolado urbano está asociado con múltiples servicios de los ecosistemas, concretamente con aquellos de carácter regulador. Favorece a la depuración del aire a través de la eliminación de contaminantes atmosféricos, a la regulación térmica mediante el almacenamiento y secuestro de carbono o a la mitigación de la escorrentía evitando que parte del agua de precipitación fluya.

El presente informe ha sido elaborado por encargo de la Oficina Verde de la Universidad Rey Juan Carlos para el desarrollo de un proyecto de consultoría sobre servicios ecosistémicos generados por la infraestructura verde de los campus de Vicálvaro, Alcorcón y Móstoles. Este trabajo da continuidad a un estudio realizado previamente en el campus de Fuenlabrada con los mismos objetivos (Evaluación de los servicios ecosistémicos generados por la infraestructura verde del Campus de Fuenlabrada de la URJC. Informe de resultados, 2019). Tal y como se explica con mayor detallamiento en el presente informe, los resultados se basan en los datos del inventario específico del arbolado, realizado previamente, y analizados posteriormente con el software i-Tree Eco, un

modelo desarrollado por el Servicio Forestal de EE.UU. para el cálculo de los servicios ecosistémicos suministrados por el arbolado como el “bosque” urbano que conforman en su conjunto.

Este informe se estructura en dos partes. La primera de ellas recoge los resultados obtenidos en la evaluación conjunta del arbolado de la Universidad Rey Juan Carlos (URJC) ya que se han incorporado al análisis la totalidad del arbolado de los campus de Fuenlabrada, Móstoles, Vicálvaro y Alcorcón. En la segunda parte, se detallan los resultados obtenidos para la evaluación de cada uno de los campus de Móstoles, Vicálvaro y Alcorcón.

Tal y como se verá en el documento, los resultados muestran la evaluación biofísica y la evaluación económica. No obstante, esta última está contextualizada para la realidad de EE.UU., de donde procede el software utilizado en este trabajo. Es por esto que las cifras económicas deben tomarse con cautela ya que podrían variar para un contexto regional y/o local del caso de estudio.

Como resultado del trabajo, se ha generado la siguiente documentación: 1) la evaluación biofísica y económica de los servicios de los ecosistemas generados por el arbolado del conjunto de los campus de la Universidad Rey Juan Carlos de Madrid (Parte I) e individualmente para cada uno de ellos (Parte II) y 2) una base de datos en archivo Excel con las mediciones directas de los distintos parámetros del total del arbolado presentes en cada uno de los campus.

PARTE I

EVALUACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL CONJUNTO DEL ARBOLADO DE LOS CUATRO CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS. FUENLABRA, MÓSTOLES, VICÁLVARO Y ALCORCÓN.

1. Metodología

1.1. Caso de estudio

La evaluación que se presenta en este informe, incluye el arbolado de los campus universitarios de Fuenlabrada, recogidos en el anterior informe de 2019, de Móstoles, Vicálvaro, y Alcorcón, mediciones realizadas el presente año 2020. Se trata por tanto de una evaluación global del arbolado de la Universidad Rey Juan Carlos (URJC) en su conjunto. Los cuatro campus que conforman el área de estudio de la presente evaluación se encuentran ubicados en los municipios de Fuenlabrada, Móstoles, Vicálvaro, y Alcorcón, todos ellos pertenecientes a la Comunidad de Madrid. Se trata de poblaciones medianas a grandes, ubicadas en la zona sur del municipio de Madrid que han experimentado un gran crecimiento en las últimas décadas debido a su cercanía a la ciudad de Madrid.

Tabla 1. Población por municipios y población total del caso de estudio.

Municipio	Población
Fuenlabrada	193.700
Móstoles	209.184
Vicálvaro	74.567
Alcorcón	170.514
Conjunto	647.965

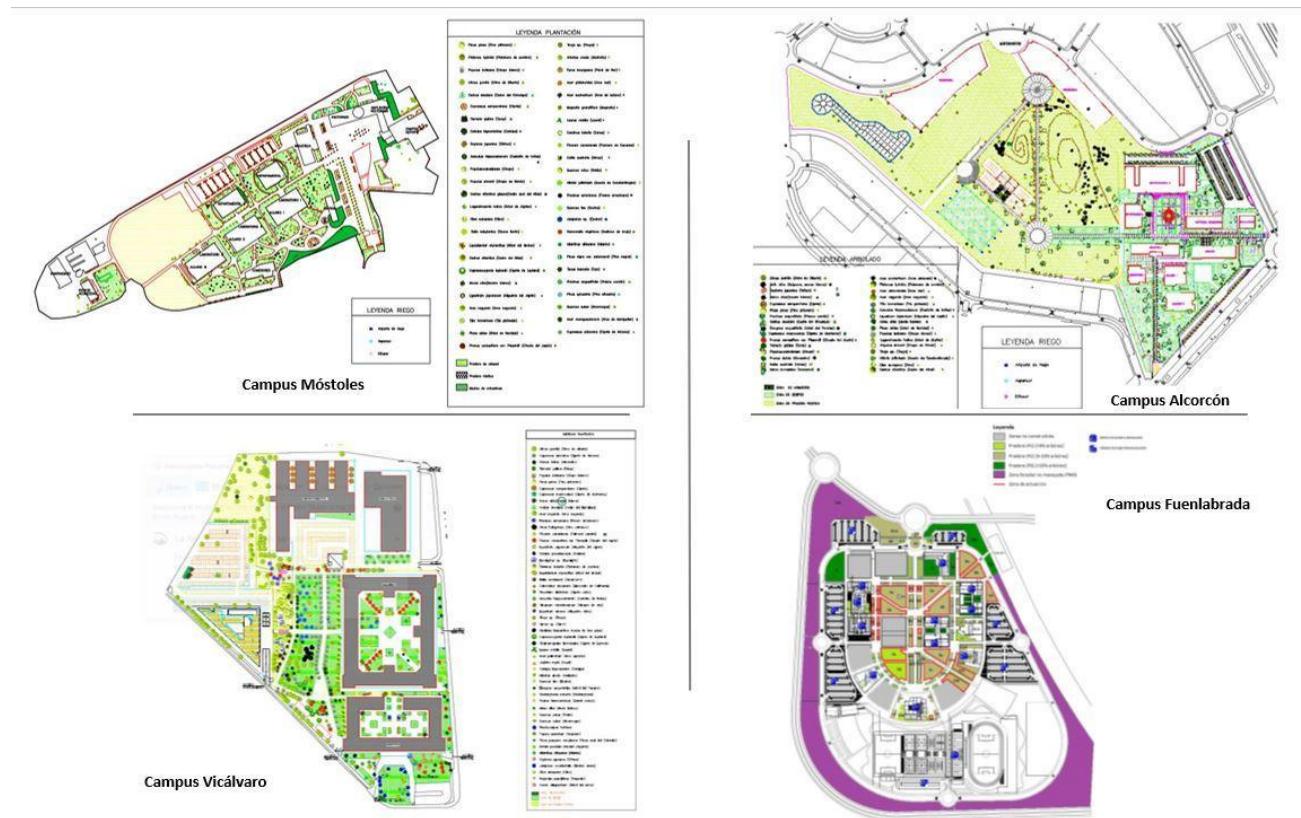
Fuente: elaboración propia en base a los datos de INE,

Para este estudio se han considerado que la población beneficiaria de los servicios ecosistémicos generados por el arbolado de la URJC es el conjunto, es decir, la suma de las poblaciones de cada uno de los municipios en los que se ubican los diferentes campus.

Los tamaños de cada campus son diferentes, siendo de menor a mayor el de Fuenlabrada, Móstoles, Vicálvaro y Alcorcón. La configuración espacial también difiere (Figura 1), aunque a grandes rasgos respecto al arbolado los campus de Móstoles, Vicálvaro y Alcorcón presentan zonas ajardinadas con presencia de arbolado plantado al que se le da o ha dado mantenimiento. Sin

embargo, el campus de Fuenlabrada, además de esa tipología, presenta un pinar en forma de anillo periférico que conserva en parte como paisaje original del territorio en el que se asienta.

Figura 1. Planos de los campus de URJC.



Fuente: Plan de actuación en el campus de Fuenlabrada. Documentación interna cedida por la Oficina Verde de la URJC para la elaboración de los trabajos.

1.2. Trabajo de campo

El trabajo de campo se realizó durante los meses de octubre y noviembre de 2020. El trabajo realizado en terreno consistió en tres tareas realizadas de manera simultánea; la identificación de especies y cotejo con los documentos internos, medición directa del diámetro del fuste a la altura del pecho (DAP) de todos aquellos árboles con al menos un tallo de una circunferencia igual o superior a 7,9 cm a la altura de 1,37 m y la medición in situ de la altura de cada ejemplar. Con el registro de todos estos datos conformamos la base de datos utilizada para la evaluación posterior.

El equipo de trabajo estuvo formado por dos personas fijas que alternaron las jornadas de trabajo. El material utilizado para la medición incluyó un clinómetro, una cinta métrica, una planilla de registro de datos, una Tablet y el software i-Tree Eco.

1.3.Trabajo de gabinete

El trabajo de gabinete comenzó por la revisión y unificación de las bases de datos generadas en cada uno de los campus. Para ello, se realizó una revisión exhaustiva de los datos recopilados para la identificación y corrección de posibles errores. Posteriormente, se ejecutó el modelo iTree ECO. Como resultado se hace entrega de los siguientes archivos:

- 1) *Evaluación de los servicios ecosistémicos generados por la infraestructura verde de la Universidad Rey Juan Carlos. Informe de resultados.* Documento final de resultados. Archivo pdf.
- 2) iTree_ECO_URJC. Documento de resultados autogenerado por el software iTree ECO. Archivo pfd.
- 3) BBDD_arbolado_URJC_2020. Base de datos del arbolado de los cuatro campus de la URJC. Archivo xls.
- 4) Planos_numeración_arbolado. Planos de los campus de Móstoles, Vicálvaro y Alcorcón con la numeración utilizada para la elaboración de las bases de datos de cada uno de ellos. Esta numeración identifica cada ejemplar medido e incorporado al análisis. Archivo pdf.

2. Resultados

A continuación se presentan los resultados para la valoración biofísica y económica de los cuatro servicios de los ecosistemas generados por el arbolado del conjunto de los cuatro campus de la URJC, evaluados en base a los siguientes indicadores (tabla 2). La valoración biofísica, se denomina también “evaluaciones funcionales” y es una forma de valoración en base a como los procesos ecosistémicos son capaces de soportar bienes y servicios para cubrir necesidades humanas (Laterra *et al.*, 2011). Por otro lado, la valoración económica tiene que ver con el coste social del carbono (SCC), los valores de control de la escorrentía e inundaciones, coste de la electricidad y carburantes y costes relacionados con las externalidades producidas por los contaminantes atmosféricos y se basan en valores de coste relativos a EEUU establecidos por el software i-Tree.

Tabla 2. Servicios de los ecosistemas e indicadores.

Servicios de los ecosistemas	Indicadores
Regulación de la calidad el aire	Eliminación de contaminantes atmosféricos (NO ₂ , SO ₂ , O ₃ , CO, PM _{2,5})
Mitigación de la escorrentía	Escorrentía evitada
Regulación de la temperatura local	Evapotranspiración Ahorro energético
Regulación del clima global	Secuestro de CO ₂ Almacenamiento de carbono

Fuente: Elaboración propia.

Estos servicios tienen relevancia en la mitigación y adaptación al cambio climático, como el caso del secuestro y almacenamiento de carbono y la reducción de la escorrentía superficial. Así mismo, la eliminación de partículas contaminantes también destaca por su influencia en aspectos sanitarios, ya que la contaminación atmosférica es una de las principales causas de enfermedades respiratorias que es responsable de mortalidad prematura en Europa.

2.1. Resumen de los resultados globales.

En la tabla 3 se recogen los resultados globales de la evaluación biofísica y económica para cada uno de los servicios evaluados. A continuación, se presentan las características estructurales del

conjunto del arbolado y se analiza e interpretan los resultados obtenidos para cada servicio evaluado por especie. En este sentido, cabe aclarar que el análisis específico tiene en cuenta no sólo las características particulares de cada especie, si no la abundancia de individuos de cada una de ellas.

Tabla 3. Evaluación biofísica y económica.

Indicadores de los servicios de los ecosistemas	Evaluación biofísica	Evaluación económica
Eliminación de contaminantes atmosféricos (NO ₂ , SO ₂ , O ₃ , CO, PM _{2,5})	1,088 tn/año	2.870 €/año
Secuestro de carbono	66,75 tn métricas/año	10.700 €/año
Almacenamiento de carbono	3.680 tn métricas	580.000 €
Escorrentía evitada ¹	434,9 m ³ /año	827 €/año
Valor estructural	-	9.960.000 €

Fuente: Elaboración propia (basado en Informe i-Tree Eco Model (2020)).

2.2. Estructura del bosque urbano.

El arbolado incluido en este trabajo asciende a 4.511 individuos; 2.534 (56%) de los cuáles forman parte del Campus de Fuenlabrada, 905 (20%) individuos del campus Móstoles, 663 (15%) individuos del Campus de Vicálvaro y 414 (9%) individuos del campus de Alcorcón.

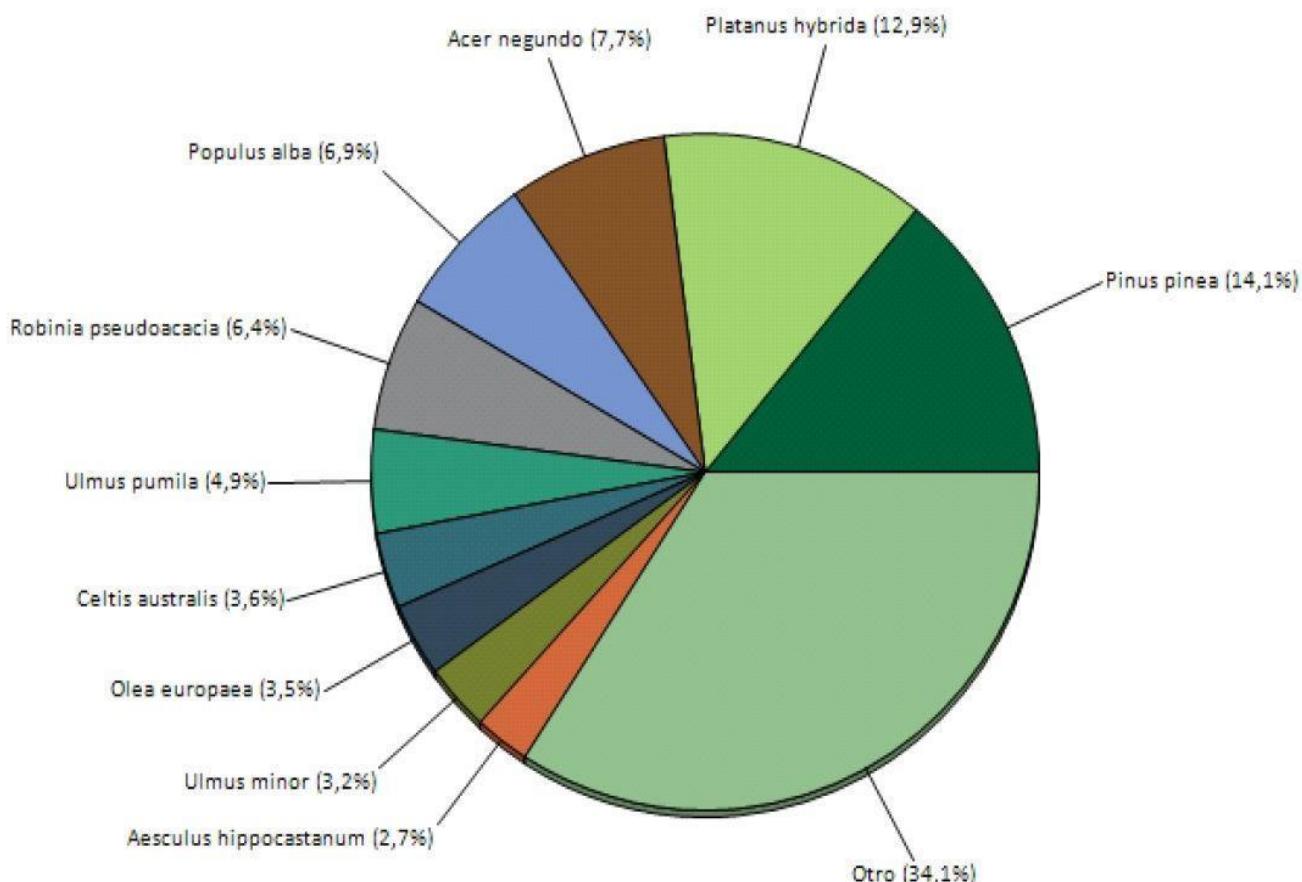
La mayoría de este arbolado se encuentra en los jardines y parkings interiores de los campus universitarios y las especies más representativas del conjunto, aunque varían ligeramente entre los diferentes campus, son el pino piñonero (*Pinus pinea*), el plátano de sombra (*Platanus hybrida*), y el arce negundo (*Acer negundo*). Esta predominancia coincide con la descrita para el campus de Fuenlabrada. Es esperable que el arbolado de este campus tenga gran peso en el análisis conjunto ya que el 56% de la muestra analizada corresponde a individuos allí ubicados, por lo que ejercerá gran presión estadística. Por este motivo, es interesante consultar en la Parte II de este informe,

¹Los datos básicos que incorpora el propio software i-Tree Eco, incluye información sobre precipitaciones. En la versión utilizada en este trabajo (v6), se ha considerado el dato de 2,7 cm como precipitación anual total para 2015 en Madrid. La precipitación media anual para Madrid es más elevada (en torno a 40 cm anuales), por lo que puede tratarse de que el modelo haya tomado una cifra errónea. Aunque sea una cuestión que escapa a nuestra competencia, cabe mencionar que los datos de escorrentía evitada podrían verse afectados por dicho posible error. Al haberse utilizado un valor de precipitaciones anormalmente inferior, sería de esperar que el modelo haya podido infravalorar la capacidad de escorrentía evitada. De esta manera, la cantidad de agua de escorrentía evitada y su valor económico sería mayores. Por nuestra parte, ya se ha informado al Servicio Forestal de Estados Unidos de esta anomalía para considerar su subsanación.

los resultados para cada uno de los campus para poder valorar las diferencias entre los distintos campus.

El 99% de éstos (4.516 árboles), se encuentran dentro del rango diamétrico establecido por el software i-Tree ECO para considerar los ejemplares con porte arbóreo y por tanto poder ser incluido en el análisis². El 1% restante, que por superar las dimensiones máximas de diámetro de fuste no era aptos para el análisis, han sido transformados siguiendo el manual de campo del software de iTree. En términos globales, las cinco especies con mayor número de individuos son *Pinus pinea* (14%), *Platanus hybrida* (13%), *Acer negundo* (7,7%), *Populus alba* (6,9%), *Robinia pseudoacacia* (6,4%) y *Ulmus pumila* (4,9%), *Celtis australis* (3,6%), seguido muy de cerca por *Olea europaea* (3,5%) (Figura 2). Todas estas especies más otra gran variedad de ellas conforman el mosaico arbóreo de las zonas verdes de la URJC.

Figura 2. Estructura del bosque urbano del conjunto del arbolado de la URJC.

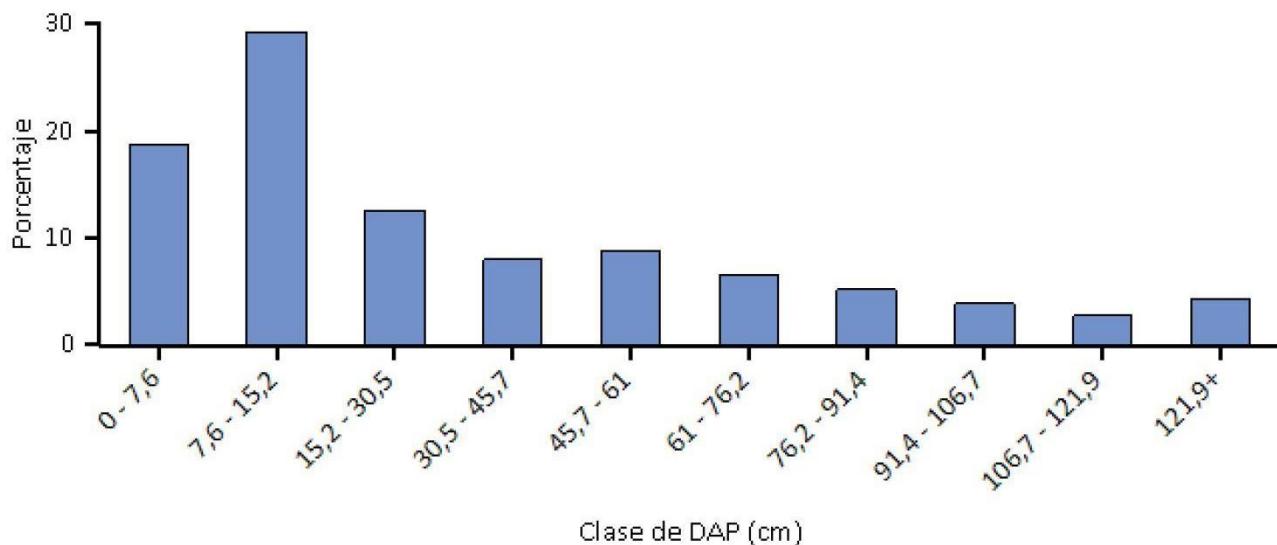


Fuente: Informe i-Tree Eco Model (2020).

² El software i-Tree ECO establece una circunferencia máxima de 254 cm de fuste para evaluar el arbolado.

La dimensión del arbolado ha sido medida mediante el diámetro a la altura del pecho (DAP), calculado a través de la medición directa de la circunferencia del fuste a 1,37 m de altura. La figura 3 muestra las clases diametrales; se puede observar que la gran mayoría de árboles se encuentran en rangos pequeños a medianos (7,6 cm a 30,5 cm), siendo los diámetros más grandes (106,7 cm a 121,9 cm) los menos abundantes. La mayoría de los individuos tienen un tamaño medio. Esto puede explicarse por la edad media del mismo, que corresponde con la antigüedad aproximada de dos décadas del propio campus.

Figura 3. Distribución de los individuos por diámetro del fuste.



Fuente: Informe i-Tree Eco Model (2020).

2.3. Eliminación de contaminantes.

El arbolado urbano contribuye a la eliminación de partículas como el monóxido de carbono, NO₂, ozono (O₃), sulfatos y las macropartículas PM2.5, que conforman un subgrupo de las partículas PM10. Los cálculos para la estimación biofísica y económica de este servicio se basan en datos atmosféricos y de contaminación de las estaciones de medición más cercanas al área de estudio, que están incluidos en la versión más reciente (v6) de i-Tree Eco³.

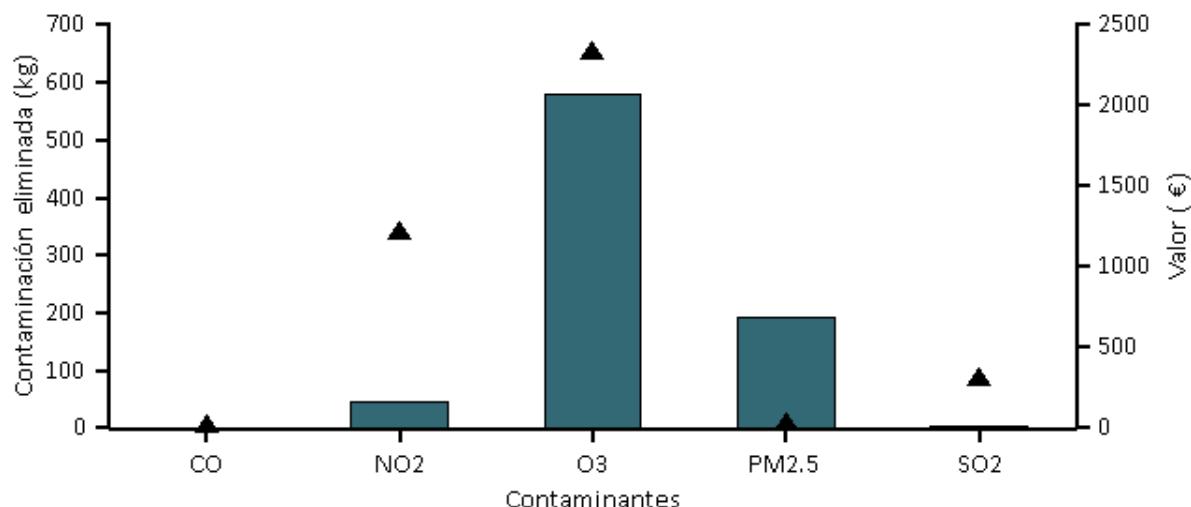
Los resultados muestran que el arbolado contribuye en mayor medida a retirar de la atmósfera ozono y en segundo lugar partículas PM2.5 (figura 4), lo cual es consistente con los resultados obtenidos por Nowak et al., 2006 en otras evaluaciones del arbolado. En términos absolutos, la

³ La estación meteorológica seleccionada para esta evaluación ha sido la ubicada en Cuatro Vientos por ser considerada como la más equidistante a los cuatro campus analizados.

cantidad de partículas PM2.5 retiradas es considerablemente menor a la del ozono (como indica la flecha negra en la figura 4). Sin embargo, el valor económico asociado a la eliminación de este contaminante es significativamente alto debido a su relación directa con afectaciones de enfermedades pulmonares y el gasto económico de tratamientos sanitarios derivado de dichas patologías.

El arbolado contribuye a la retira de estos contaminantes como consecuencia de su funcionamiento ya que ayuda a reducir la temperatura del aire circundante por transpiración; facilita la deposición de contaminantes en suspensión sobre la superficie de la planta y tiene el potencial de reducir la energía utilizada en edificios para refrigeración o calefacción, por lo que también podría ayudar a reducir las emisiones consecuencia de este consumo energético (Nowak et al., 2006). Además, el arbolado urbano provee otros servicios ecosistémicos ya que facilita la deposición de contaminantes en suspensión sobre la superficie de la planta y ayuda a reducir la temperatura del aire por transpiración, lo que puede conducir a una reducción de emisiones de diversas fuentes antropogénicas. Por último, los árboles alrededor de los edificios alteran el uso de la energía de estos reduciendo el consumo energético (Nowak et al., 2018).

Figura 4. Eliminación de partículas contaminantes (CO, NO2, O3, PM2.5 y SO2).



Fuente: Informe i-Tree Eco Model (2020).

Estos valores son muy relevantes ya que los contaminantes que aparecen en estas gráficas conllevan importantes efectos adversos en la salud como síntomas respiratorios, incremento del asma y bronquitis entre otros. En especial las partículas PM2.5 tienen un tamaño tan pequeño que hace que sean fácilmente respirables, pudiendo incluso llegar al torrente sanguíneo, con lo que el valor económico asociado que con lleva su efectiva retirada es muy elevado (Linares & Díaz, 2008). Es más, según el último informe de la AEMA de “Calidad del aire en Europa” (2020), el

número de muertes prematuras por contaminantes atmosféricos en España en 2018 fue de unas 23.000 atribuibles a partículas PM2.5, 6.800 atribuibles a NO₂ y 1.800 atribuibles al ozono (03).

El software i-Tree Eco proporciona estas cifras que sirven para la comparación del peso del arbolado en la retirada de los contaminantes atmosféricos NO₂ y SO₂. En la tabla 4 se establece la equivalencia entre la cantidad de contaminación atmosférica retirada por el conjunto del arbolado de la URJC en base a las emisiones anuales de automóviles y viviendas unifamiliares⁴.

Tabla 4. Cifras comparativas para retirada de contaminación atmosférica

Equivalencia en número de automóviles	
NO ₂	54
SO ₂	1.010
Equivalencia en número de viviendas unifamiliares	
NO ₂	
SO ₂	

Fuente: Elaboración propia (basado en Informe i-Tree Eco Model (2020)).

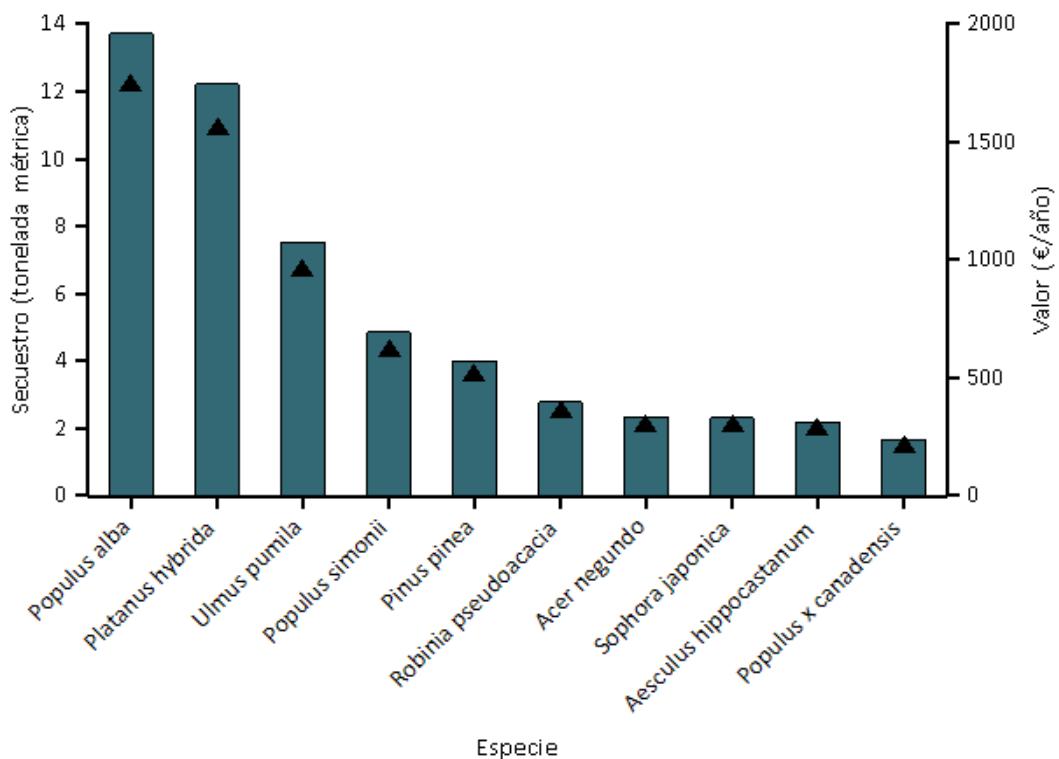
2.4. Secuestro de carbono.

Los árboles urbanos contribuyen a la mitigación del cambio climático ya que, debido a sus procesos metabólicos, secuestran dióxido de carbono atmosférico almacenándolo durante el crecimiento; normalmente cuanto mayor tamaño tienen un ejemplar en condiciones fitosanitarias favorables, secuestrará mayor la cantidad de carbono (i-Tree, 2019). El secuestro de carbono es una tasa, ya que hace referencia a la cantidad de carbono absorbida por el arbolado en un año. Tal y como se mostró en la primera tabla de resultados, el secuestro bruto anual de carbono por parte de los árboles del campus de Fuenlabrada es de 66,75 toneladas, lo que equivale a 10.700 € anuales.

Una lectura general del gráfico (figura 5) permite observar que la especie que mayor cantidad de carbono secuestra anualmente es *Populus alba* (18,3%), seguida de *Platanus hybrida* y *Ulmus pumila*. A pesar de la alta presión estadística que ejerce el campus de Fuenlabrada, la gráfica muestra resultados distintos en los valores de secuestro de carbono, esto puede deberse al rápido crecimiento de los álamos blancos, plátanos de sombra y el olmo de Siberia frente al crecimiento lento del pino piñonero y el olivo que son las especies más abundantes en el campus de Fuenlabrada.

⁴ Esta equivalencia está basada en el contexto y realidad de EE.UU.

Figura 5. Secuestro de carbono anual: las diez especies con mayor contribución.



Fuente: Informe i-Tree Eco Model (2020).

Es importante recordar que la evaluación generada por el software i-Tree Eco basa gran parte de sus resultados en características asociadas a la copa de los árboles. El informe aquí presentado se basa en un inventario básico en el que se ha recogido información relativa al diámetro del fuste, la altura y la especie de cada individuo del bosque. En este caso, no se ha aportado información directa de las copas, por lo que el software i-Tree Eco se basa en su propia metodología para realizar el modelo a partir de las formas naturales de las copas. Por tanto, podría darse el caso de que los servicios calculados por i-Tree Eco estén en algún grado sobreestimados, considerando que para el cálculo de los servicios ecosistémicos el modelo asume la forma de la copa que presentan las especies en condiciones normales (sin alteración de esta).

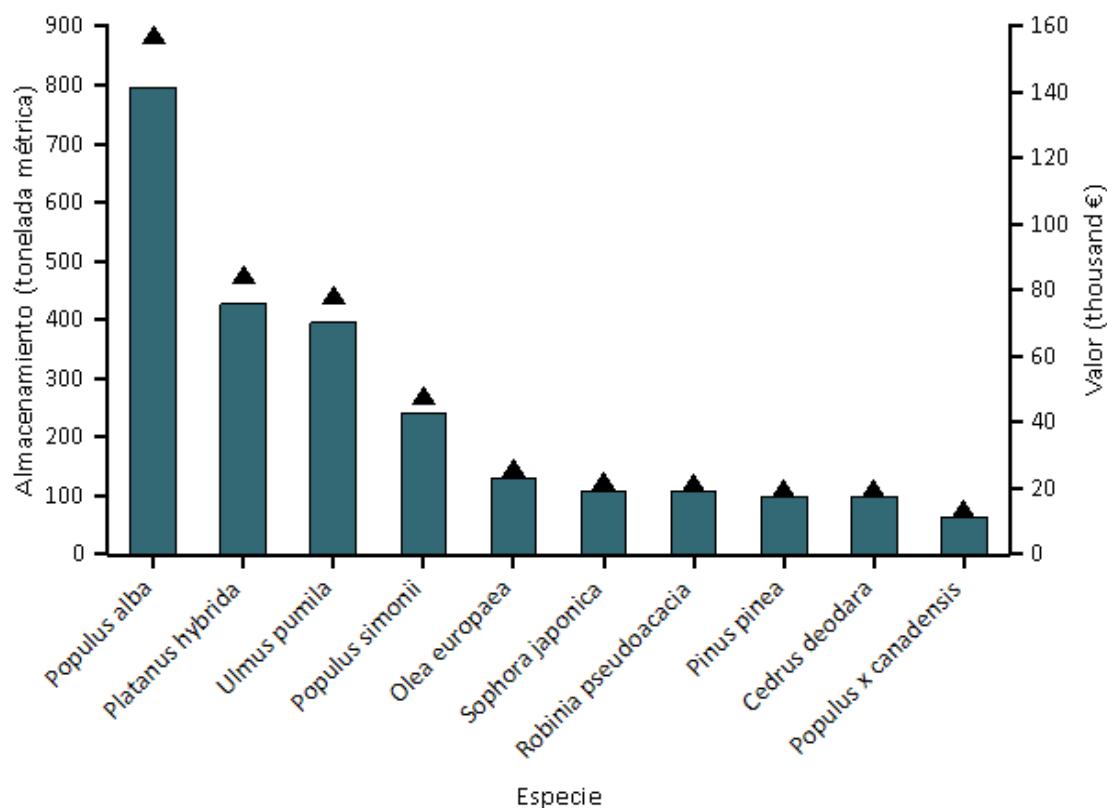
2.5. Almacenamiento de carbono.

El almacenamiento de carbono se refiere a la cantidad neta de carbono almacenado en los tejidos del arbolado. En este caso no se trata de una tasa, pues se refiere al carbono total que la planta ha ido integrando a lo largo de su vida. El arbolado de la URJC almacena 3.610 toneladas de carbono valoradas en 580.000 €. Al igual que el secuestro, el almacenamiento de carbono también se ve

influido por el tamaño de los ejemplares. Así las gráficas tienden a ser similares a las mencionadas en el anterior apartado.

De nuevo, es la especie *Populus alba* la que más cantidad de carbono almacena (24,4%), seguida por *Platanus hybrida* y *Ulmus pumila* (figura 6).

Figura 6. Almacenamiento de carbono: las diez especies con mayor contribución.



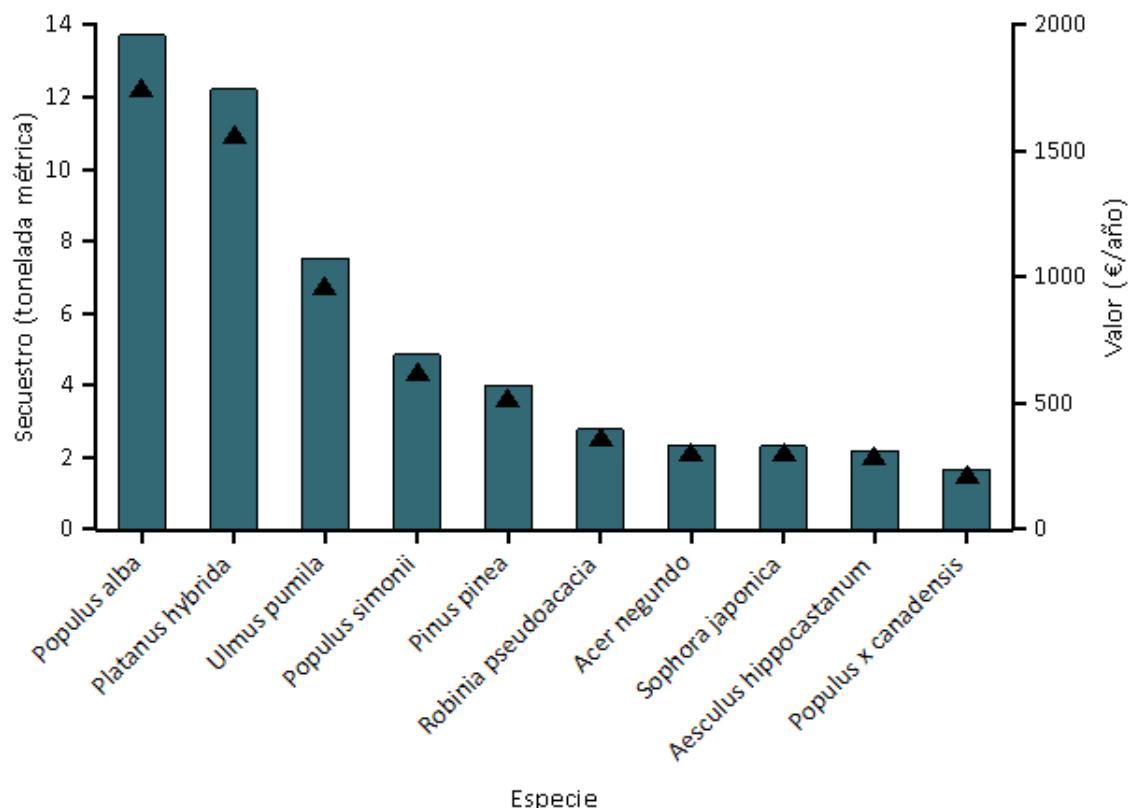
Fuente: Informe i-Tree Eco Model (2020).

2.6. Escorrentía superficial evitada.

La escorrentía superficial es aquella cantidad de agua de lluvia que, durante y después de un evento de precipitación, no es interceptada por la vegetación y alcanza el suelo. Debido a la alta urbanización de las ciudades, los riesgos de inundación son cada vez más altos en España, pudiendo generar grandes daños materiales y personal al sobresaturar la infraestructura urbana. Es por ello necesario devolver parte de la permeabilidad a los ecosistemas urbanos. La infraestructura verde en su conjunto, tanto árboles como los matorrales y arbustos tienen una gran relevancia en la reducción del escurrimiento superficial, que en áreas urbanas puede contribuir a la contaminación de los sistemas de agua.

Los resultados obtenidos muestran que los árboles de la URJC ayudan a reducir la escorrentía hasta en 435 m³ al año, con un valor asociado de 830€. Sin embargo, y tal y como se especificaba en el apartado 2.1. Resumen de los resultados globales, estos datos deben interpretarse con precaución.

Figura 7. Escorrentía superficial evitada: las diez especies con mayor contribución.



Fuente: Informe i-Tree Eco Model (2020).

La figura 7 muestra como los plátanos de sombra son la especie que más agua intercepta, seguido de los olmos de Siberia y los álamos blancos. Esto puede deberse a que se trata de especies cuya área foliar es notablemente extensa. Cuanto mayor sea el área foliar, estimada por iTree Eco principalmente en base a características morfológicas de las especies, mayor será la reducción de escorrentía superficial ya que tiene mayor capacidad para interceptar el agua de lluvia.

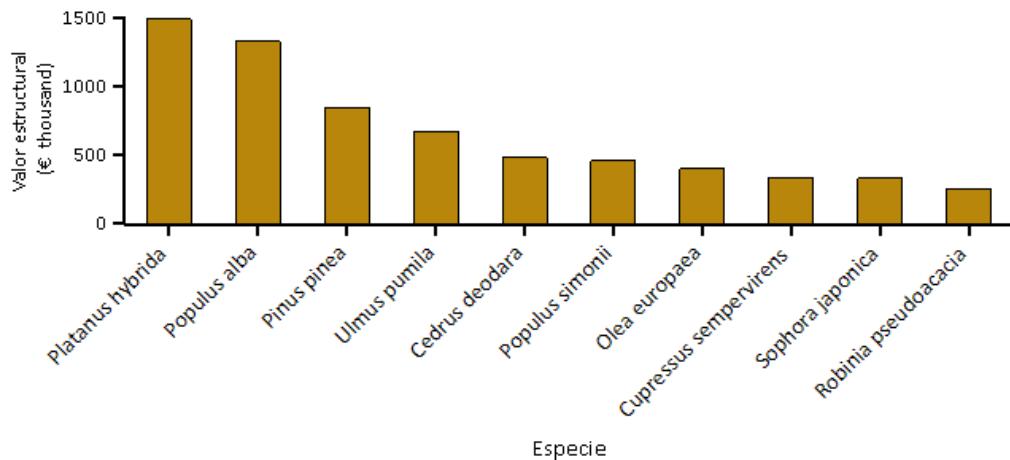
2.7. Valores estructurales

El valor estructural es el coste económico de sustitución de todo el bosque, considerando no solo el reemplazo de los ejemplares, si no todos los beneficios ambientales generados por el mismo. El

valor estructural del arbolado de la URJC es de 9,96 millones de euros. La especie *Platanus hybrida* y *Populus alba* son las que cuentan con un valor estructural más elevado (figura 8).

Este valor también puede calcularse por especie, tal y como se muestra en los siguientes gráficos, donde aparecen los valores estructurales por especie en cada campus y en el conjunto de los campus

Figura 8. Valor estructural: las diez especies con mayor contribución.



Fuente: Informe i-Tree Eco Model (2020).

2.8.Otros servicios de los ecosistemas

En este apartado se incluyen otra información generada automáticamente por el software i-Tree ECO que aunque no eran objetivo concreto de este trabajo, complementan los datos presentados anteriormente. Los *valores de importancia*⁵ es un indicativo de las especies que dominan en la actualidad la estructura del arbolado. Se calcula como la suma del porcentaje de población y del porcentaje del área foliar (figura 9).

⁵ El valor de importancia se calcula como la suma del porcentaje de población y del porcentaje del área foliar, siendo un indicativo de las especies que dominan en la actualidad la estructura del arbolado.

Figura 9. Valores de importancia: las diez especies con mayor valor.

Nombre de la especie	Porcentaje población	Porcentaje del área de las hojas	IV
<i>Platanus hybrida</i>	12,9	22,6	35,5
<i>Pinus pinea</i>	14,1	6,1	20,3
<i>Ulmus pumila</i>	4,9	13,6	18,5
<i>Populus alba</i>	6,9	10,4	17,3
<i>Acer negundo</i>	7,7	3,3	11,0
<i>Robinia pseudoacacia</i>	6,4	3,2	9,6
<i>Aesculus hippocastanum</i>	2,7	3,2	5,9
<i>Populus simonii</i>	2,2	3,7	5,8
<i>Olea europaea</i>	3,5	2,2	5,7
<i>Eucalyptus</i>	0,2	5,2	5,4

Fuente: Informe i-Tree Eco Model (2020).

La producción de oxígeno es otro de los parámetros modelados por el software i-Tree Eco. Como se observa en la figura 10, las especies que más contribuyen son *Populus alba*, *Platanus hybrida* y *Ulmus pumila*.

Figura 10. Producción de O₂: las veinte especies con mayor contribución.

Especie	Oxígeno (tonelada métrica)	Secuestro bruto de carbono (tonelada métrica/ año)	Número de árboles	Área foliar (hectárea)
<i>Populus alba</i>	32,55	12,21	311	8,18
<i>Platanus hybrida</i>	28,99	10,87	580	17,87
<i>Ulmus pumila</i>	17,88	6,70	223	10,69
<i>Populus simonii</i>	11,50	4,31	97	2,91
<i>Pinus pinea</i>	9,51	3,57	637	4,85
<i>Robinia pseudoacacia</i>	6,61	2,48	289	2,49
<i>Acer negundo</i>	5,58	2,09	347	2,57
<i>Sophora japonica</i>	5,48	2,05	62	1,37
<i>Aesculus hippocastanum</i>	5,19	1,95	121	2,54
<i>Populus x canadensis</i>	3,92	1,47	46	1,11
<i>Olea europaea</i>	3,83	1,44	158	1,74
<i>Morus alba</i>	3,57	1,34	61	0,89
<i>Ligustrum japonicum</i>	3,38	1,27	100	1,26
<i>Cedrus deodara</i>	3,18	1,19	49	1,25
<i>Prunus cerasifera</i>	3,06	1,15	50	0,87
<i>Magnolia grandiflora</i>	2,61	0,98	35	0,55
<i>Cupressus sempervirens</i>	2,52	0,94	66	1,27
<i>Tilia tomentosa</i>	2,27	0,85	36	1,43
<i>Celtis australis</i>	2,16	0,81	163	1,30
<i>Fraxinus americana</i>	1,60	0,60	15	0,49

Fuente: Informe i-Tree Eco Model (2020).

3. Conclusiones

La diversidad de especies es un rasgo distintivo de los bosques urbanos en comparación con el paisaje nativo, así es en el caso del arbolado de la Universidad Rey Juan Carlos, que presenta 65 especies arbóreas. Esto es potencialmente una ventaja frente a posibles perturbaciones en el sistema (plagas, enfermedades, estrés hídrico, etc), ya que normalmente la biodiversidad contribuye a una mayor resiliencia y, por lo tanto, a la reducción de la vulnerabilidad ante hipotéticas perturbaciones. Al mismo tiempo, no se han identificado especies potencialmente invasoras entre la biodiversidad presente en el estrato arbóreo, por lo que no cabe esperar riesgos relativos a esta cuestión.

Por otro lado, y a excepción de algunos ejemplares especialmente grandes, nos encontramos ante un bosque urbano relativamente joven con individuos de tamaño medio. Los individuos de mayor dimensión coinciden con el arbolado de alineación en los grandes paseos principales de los diferentes campus. Cabría esperar que la relevancia de los servicios de los ecosistemas generados por dicho arbolado vaya incrementándose a medida que el bosque urbano siga desarrollándose.

Se ha apreciado un estado fitosanitario de los individuos sin grandes afectaciones. A este respecto, únicamente se han identificado podas severas o desmoches particularmente en olivos (*Olea europaea*) y afectación foliar en los olmos (*Ulmus minor*) que podría estar causada por la grafiosis en el campus de Fuenlabrada.

En el secuestro y almacenamiento de carbono influye tanto el número total de pies por especie como el tamaño de los individuos, así como las tasas de secuestro de carbono de cada especie. Por una parte, normalmente se considera que a mayor tamaño del árbol (por tanto mayor edad), mayores y más diversos son los servicios de los ecosistemas que genera. Es decir, normalmente un único ejemplar adulto, de gran porte, bien desarrollado y en un estado fitosanitario adecuado, generará más servicios de los ecosistemas que varios ejemplares de esta misma especie de menores dimensiones, aún por desarrollar. Esto debe su explicación en parte a que, el total de servicios de los ecosistemas generados por un sistema natural (ya sea un individuo arbóreo, un conjunto de ellos o un bosque), es una característica sistémica, es decir, es un atributo generado por el sistema como unidad, más allá de la suma de sus partes. Por esta razón, el cálculo total de

servicios de los ecosistemas no responde a la suma lineal de los diferentes servicios generados por los distintos elementos del sistema.

En el caso concreto del secuestro de carbono, la influencia de la envergadura de los individuos parece clara al comparar especies con un número similar de individuos. *Populus alba* encabeza la lista y en general, las especies dominantes son longevas, resistentes y con ratios de crecimiento rápido.

Es importante tener en cuenta que para asegurar un amplio abanico de servicios de los ecosistemas, la mejor estrategia es diversificar la estructura de nuestro bosque respecto a especies biológicas, morfología, tasa de crecimiento, ciclo biológico, etc. Esto se debe a que normalmente, una especie en concreto puede ser relevante para la generación de un tipo o varios tipos de servicios de los ecosistemas. Pero normalmente, esto suele llevar aparejado que contribuirá de una manera mucho más modesta en la generación de otros servicios. Esto se explica por los *trade-offs*, es decir, el hecho de que la generación de un servicio reduce los beneficios provistos por otro servicio (Turkelboom et al., 2016). Por tanto, no encontramos especies únicas que sean relevantes para el conjunto de todos servicios de los ecosistemas.

Esta cuestión es relevante a la hora de trasladar los resultados presentados en este informe a la gestión diaria del arbolado del campus. Hay que tener en cuenta, que cuando fomentamos un servicio, esto puede ir en detrimento de otro. Por ejemplo, en el caso de *Populus alba*, la especie que más aporta al secuestro y almacenamiento de carbono. Se podría pensar que hay que incrementar el número de álamos blancos para fomentar este servicio. Sin embargo, su relevancia disminuye a la hora de interceptar el agua y frenar la escorrentía superficial, por lo que aumentando el secuestro y almacenamiento de carbono generado por los loa álamos, se incurre en un detrimento de la evitación de la escorrentía. Precisamente por esto, es necesario garantizar una cierta biodiversidad que equilibre el tipo de servicios que se están generando.

Como todo modelo, el software i-Tree Eco cuenta con algunas limitaciones que es interesante conocer a la hora de interpretar los datos. Por ejemplo: el modelo no incluye nada de información relativa al sustrato. Se conoce la gran relevancia de los suelos en el secuestro y almacenamiento de carbono, pero el modelo no aporta estimaciones de los servicios de los ecosistemas asociados al mismo. Así mismo, para el cálculo de evitación de escorrentía sólo se consideran datos relativos a la copa, sin incluir datos de la importancia funcional de las raíces en este servicio. En este caso, el modelo podría subestimar los servicios que se están generando en el bosque urbano, al no considerar todos los elementos que influyen en los mismos.

Sin embargo, es la valoración económica la que hay que interpretar con mayor cautela. Por un lado por el riesgo de *mercantilizar* los servicios generados por sistemas y elementos naturales que son la base de la supervivencia y bienestar de las poblaciones humanas. Por otro lado, la versión utilizada en este trabajo es una actualización del modelo para Europa (v6). Sin embargo, parte de los valores económicos aportados por el modelo, se basan aún en datos contextualizados en Estados Unidos, por lo que podría diferir algunos parámetros.

4. Recomendaciones para la gestión de la infraestructura verde de la Universidad Rey Juan Carlos

El conocimiento de los datos presentados en este informe supone la base para ampliar el conocimiento del arbolado de la URJC. Esta información debe tenerse en cuenta para la gestión y mantenimiento de la infraestructura verde en particular. Sin embargo, evaluar los servicios ecosistémicos arroja información sobre la presión ejercida sobre los ecosistemas, por lo que este trabajo tiene valor también para la gestión integral de los campus universitarios.

Lejos de ser un elemento aislado, la infraestructura verde desempeña un papel importante en las dinámicas que se establecen dentro de los propios campus y de éstos con el entorno exterior. Al mismo tiempo, la infraestructura verde está en constante interacción con el conjunto de agentes que conforman comunidad educativa. Fruto de todo esto, los servicios ecosistémicos que pueden generarse se verán modulados. Por ello, es importante concebir la infraestructura verde como un elemento transversal e integrador y entender su papel dentro del desarrollo del día a día.

La infraestructura verde de la URJC es diversa y presenta un buen estado. No solamente el arbolado, objeto de estudio de este informe, los diferentes campus cuentan con una importante dotación de zonas encespadas y de matorrales y arbustos. Esto supone un punto de partida muy interesante para la URJC, contando con una infraestructura verde con gran potencial. A continuación se recogen una serie de sugerencias para la mejora de la infraestructura verde y la optimización de los servicios que genera:

- Conformar una mesa de trabajo de infraestructura verde para una gestión integral. Es importante garantizar la representación de los diferentes agentes dentro de la comunidad educativa; desde los cargos de responsabilidad y toma de decisiones, el personal docente y de servicios y el alumnado. En este sentido, es interesante aprovechar la gran oportunidad que supone el contexto universitario y académico para conformar una mesa multidisciplinar que plante abordar los espacios verdes desde múltiples ópticas (biología, ambientales, sociología, psicología, economía, etc).

- Optimizar la generación de servicios de los ecosistemas buscando el equilibrio y la diversidad de los mismos. En este sentido, los resultados presentados en este informe son de gran valor. Las dimensiones, el crecimiento, la morfología foliar o las características de la copa son parámetros relevantes para incrementar servicios como el secuestro de carbono o la retirada de contaminantes atmosféricos. Sin embargo, igualmente importante es comprender que el incremento de unos servicios pueden ir en detrimento de otros. Para evitar esta situación, es importante mantener la diversidad y permitir que el arbolado tenga una multifuncionalidad.

Por ejemplo, a la hora de realizar una plantación se puede optar por árboles frutales que aporten además alimento para biodiversidad como polinizadores y/o aves. Al mismo tiempo, generan alimento que puede ser cosechado y consumido de manera organizada por la comunidad educativa, aportando un valor educativo, social y cultural. Otros servicios ecosistémicos que pueden considerarse en el diseño de una plantación, es la proyección de sombra y la evapotranspiración para la reducción de la isla de calor.

- Integrar la gestión completa del campus para la optimización de los servicios ecosistémicos que genera el arbolado. Los árboles pueden suponer un pequeño alivio a la presión ejercida sobre los ecosistemas. como hemos visto, retiran carbono y contaminantes de la atmósfera, lo que ayuda a combatir algunos retos actuales como el cambio climático o la contaminación atmosférica. Sin embargo, la presión que ejercemos suele ser tan elevada, que la contribución de la infraestructura verde no tiene capacidad para hacer frente a esta problemática. Por este motivo es importante actuar sobre el origen de los problemas. Por ejemplo, los vehículos a motor son la principal fuente de emisiones de carbono y contaminantes en las ciudades. Un plan de movilidad en los campus de la URJC que ponga a disposición alternativas responsables podría suponer un gran avance en la reducción de carbono y gases contaminantes emitidos.
- Poner en valor la infraestructura verde de la URJC a través de su personal investigador y su alumnado. La comunidad educativa de la URJC tiene una gran oportunidad a su alcance ya que la infraestructura verde conforman un escenario idóneo como *laboratorio vivo*. Esto tiene especial relevancia en un entorno académico que puede fomentar el estudio de estos espacios verdes mediante trabajos de investigación (TFGs, TFM).

5. Nota aclaratoria

No obstante, el arbolado presente en estos lugares no ascendería a más de 50-100 ejemplares. Lo cual, considerando una muestra de casi 3000 individuos, no tendrían una significancia estadística.

El inventario del arbolado desarrollado en este trabajo ha abarcado casi la totalidad de los individuos presentes en los distintos campus de la Universidad Rey Juan Carlos. Cabe anotar que en todos los campus ha habido zonas de muy difícil acceso donde los árboles no han podido ser inventariados (figura 11). No obstante, el arbolado presente en estos lugares no era muy abundante, aproximadamente 5-10 individuos/campus. Lo cual, considerando una muestra de 4.500 individuos, no tendrían una significancia estadística. En estos casos, se ha estimado la medición comparándolo con individuos de la misma especie de un tamaño similar.

Figura 11. Arbolado de difícil acceso al fuste.



Fuente: Transitando.

Además, es importante destacar que, a diferencia del inventario de los campus de Móstoles, Vicálvaro y Alcorcón, el inventario del campus de Fuenlabrada de 2019 no incorporó el dato de la altura del árbol, sino que fue modelado por i-Tree.

6. Bibliografía

- García del Villar C. (2020). Escorrentía Urbana. Sistemas de recogida y drenaje. Universidad Politécnica de Madrid. TFG.
- i-Tree Eco Model (2020). i-Tree Análisis del ecosistema. *Efectos y valores del bosque urbano*. URJC básico. Documento no publicado.
- Laterra, P., Castellarini, F & Orúe, M.E. (2011). ECOSER: Un protocolo para la evaluación biofísica de servicios ecosistémicos y la integración con su valor social. Valoración de Servicios Ecosistémicos, Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. 359-390.
- Linares, C & Díaz J. (2008): “Las PM2,5 y su impacto sobre la salud. El caso de la ciudad de Madrid” . Ecosostenible. 2008;35:32-37. El Ecologista n° 58.
- Nowak, D., E. Crane, D., C. Stevens, J. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening* (4). 11 5-123
- Nowak, D. J., Greenfield, E. J., Hoehn, R. E., & Lapoint, E. (2013). Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental pollution*, 178, 229-236.
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Doyle, M., McGovern, M., & Pasher, J. (2018). Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry & Urban Greening*, 29, 40-48.
- Nowak, D., Stevens, J., Sisinni, S., Luley, C. (2002). Effects of urban tree management and species selection on atmospheric carbón dioxide. *Journal of Arboriculture*. 28(3). 113-122.
- Turkelboom et al. (2016). Ecosystem services trade-offs and synergies. In: Potschin, M. and K. Jax (eds): OpenNESS Ecosystem Services Reference Book. Estas referencias están en Amarillo porque las he dejado aquí que aparecían en las conclusiones del año pasado, por si las quieres meter de nuevo

