

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE MONTES, FORESTAL
Y DEL MEDIO NATURAL



MÁSTER EN INGENIERÍA DE MONTES

**Inventario, tipificación y bases para la ordenación de las
zonas verdes de la Universidad Politécnica de Madrid para la
cuantificación de la Contrahuella de Carbono**

Aroha Rodrigo Miguel

2019



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE MONTES, FORESTAL
Y DEL MEDIO NATURAL



MÁSTER EN INGENIERÍA DE MONTES

**Inventario, tipificación y bases para la ordenación de las
zonas verdes de la Universidad Politécnica de Madrid para la
cuantificación de la Contrahuella de Carbono**

TOMO I

Aroha Rodrigo Miguel

2019



**Inventario, tipificación y ordenación de las zonas verdes de la
Universidad Politécnica de Madrid para la cuantificación de la
ContraHuella de Carbono**

Diciembre 2019

Aroha Rodrigo Miguel

Vº Bº de las Directoras

Sonia Roig Gómez Ana Macías Palomo

HOJA DE CALIFICACIÓN DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

TÍTULO
Inventario, tipificación y bases para la ordenación de las zonas verdes de la Universidad Politécnica de Madrid para la cuantificación de la Contrahuella de Carbono
AUTOR
Aroha Rodrigo Miguel
MÁSTER
Ingeniería de Montes

MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Presidente/a: _____

Vocal: _____

Secretario/a: _____

Reunido el Tribunal de calificación con fecha _____. Acuerda otorgar la CALIFICACIÓN GLOBAL de _____.

Indicar, en su caso, si se propone la concesión de la mención Matrícula de Honor.

PRESIDENTE/A	SECRETARIO/A	VOCAL
Fdo.:	Fdo.:	Fdo.:

Informe explicativo de la calificación: _____

Inventario, tipificación y bases para la ordenación de las zonas verdes de la Universidad Politécnica de Madrid para la cuantificación de la Contrahuella de Carbono

Aroha Rodrigo Miguel

Directoras: Sonia Roig Gómez y Ana Macías Palomo

RESUMEN

La necesidad de poner en valor el efecto del arbolado urbano actualmente se está convirtiendo en una prioridad para poder afrontar los cambios climáticos a los que nos estamos viendo abocados por las actividades humanas. Y de esta forma contribuir con el desarrollo de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Según estudiado hasta ahora el hombre produce grandes cantidades de emisiones contaminantes, de aquí se genera la necesidad de evaluar la denominada contrahuella de carbono.

Por ello, nace este proyecto con la finalidad de realizar un inventario del arbolado de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), y evaluar las absorciones de carbono que esta entidad pública ha asimilado.

Para poder determinar el carbono total acumulado por el bosque urbano de la UPM se procede a realizar diferentes fases: estudio de las infraestructuras de la UPM y la información existente; estudio de la cartografía existente; inventariación del arbolado en tres metodologías: revisión de inventarios, inventario pie a pie e inventario a través de sensores remotos; y finalmente cálculo de la contrahuella de carbono.

Tras realizar las diferentes fases se obtiene que en la UPM se encuentran 11.920 pies de 195 especies diferentes distribuidos en 136,38 ha y con una absorción total de 11.039,71 tn de CO₂.

Los resultados obtenidos permiten conocer la cantidad de arbolado que gestiona la UPM y el estado en rangos generales del mismo, así como las variables dendrométricas, y la localización de cada pie. Además, se obtiene una cartografía digital de los datos.

El análisis de los datos del inventario en función de la densidad de arbolado por zonas, la variabilidad de especies y la distribución por clases diamétricas sienta las bases para una futura ordenación del bosque urbano de la UPM.

Finalmente, se concluye con la necesidad de modificar el sistema de consumo que se tiene de los recursos, puesto que las absorciones de carbono no compensan las emisiones producidas.

Palabras clave:

Bosque urbano; inventario; cartografía; Captura de carbono; contrahuella de carbono

Inventory, classification and basis for the development of the management plan of the green areas of the Universidad Politécnica de Madrid for the quantification of the carbon offsets

SUMMARY

The need to highlight the role of the urban forestry is currently becoming a priority to face the climatic changes caused by human activities, and therefore try to contribute in the implementation of the Sustainable Development Goals (SDGs). As studied so far, man is responsible for the emission of large amount of greenhouse gases, so it becomes a priority to quantify and study ways to offset that impact, hence the need to evaluate carbon footprint pollution is generated.

This project objective is to make an inventory of the urban forest of the Universidad Politécnica de Madrid (UPM) to quantify the carbon stock that this public entity has assimilated.

In order to determine the carbon stock by urban forestry of the UPM, different phases were carried out: review of information related to the UPM's lands and built infrastructure; compilation and review of existing cartography; tree inventory following three different methodologies: inventory review, foot by foot inventory and inventory through remote sensors; and finally calculation of the carbon stock.

The results obtained show us that at UPM there are 11.920 trees of 195 different species distributed in 136,38 hectares and with a total absorption of 11.039,71 tons of CO₂.

These results allow to know the number of trees managed by the UPM and the status in general condition of its urban forest, as well as dendrometry variable and the location of each tree. In addition, a digital cartography was obtained.

The analysis of inventory data based on woodland density by zones, species variability and distribution by diametric classes is used as the basis for future urban forestry management of the UPM.

Finally, this project's conclusions make clear the need to modify the system of consumption of resources, since carbon offsets cannot compensate for the emissions produced.

Keywords:

Urban forestry; inventory; cartography; carbon absorption; carbon footprint

*Proyecto becado en la Convocatoria del programa de Campus sostenible en la UPM para el
año 2019*

AGRADECIMIENTOS

A mis tutoras por su tiempo, dedicación y ayuda.

A la UPM y el banco Santander por becar este proyecto.

A mis amigos por estos maravillosos años y los que quedan.

A mi familia por estar siempre ahí con su paciencia y cariño.

A mis padres por su apoyo incondicional y por hacer de mí la persona que soy hoy.

A mi hermana por ser mi mitad y por su gran colaboración en este proyecto.

Y sobre todo a los que no están hoy para verme aquí.

Índice

I.	Memoria	1
1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
2.	INTRODUCCIÓN	5
2.1.	LA INFRAESTRUCTURA VERDE EN LAS CIUDADES	5
2.2.	AGENDA 2030 Y LOS Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	6
2.3.	LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS.....	7
2.4.	EL BOSQUE URBANO	10
2.4.1.	Bosque urbano e infraestructura verde	10
2.4.2.	¿Qué conocemos como Urban Forestry?.....	11
2.4.3.	Bosque urbano y Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	13
2.5.	LA CONTRAHUELLA DE CARBONO.....	16
2.5.1.	Efecto antropogénico en el cambio climático	16
2.5.2.	Efecto Invernadero.....	17
2.5.3.	El ciclo de carbono	18
2.5.4.	La huella de carbono	20
2.5.5.	La contrahuella de carbono.....	20
2.5.6.	Cálculo de la contrahuella de carbono.....	22
2.6.	LA SOSTENIBILIDAD EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	24
2.6.1.	Introducción	24
2.6.2.	Iniciativas previas	25
3.	OBJETIVOS	30
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
4.1.	METODOLOGÍA.....	32
4.2.	LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	32
4.3.	CARTOGRAFÍA	32
4.4.	INVENTARIO	33
4.4.1.	Revisión de inventarios previos.....	33
4.4.2.	Inventario pie a pie.....	34
4.4.3.	Inventario a través de sensores remotos.....	38
4.4.4.	Síntesis.....	44
4.5.	CÁLCULO DE LA CONTRAHUELLA DE CARBONO	44
4.5.1.	Metodología de cálculo.....	45
4.5.2.	Correspondencia Modelo-Especie	49

4.5.3.	Exclusión de árboles en el cálculo de la contrahuella de carbono.....	54
4.5.4.	Cálculo de la contrahuella de carbono.....	54
5.	RESULTADOS	56
5.1.	LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	56
5.1.1.	Historia	56
5.1.2.	Campus Ciudad Universitaria	57
5.1.3.	Campus Madrid Centro	69
5.1.4.	Campus Montegancedo	71
5.1.5.	Campus Sur.....	73
5.1.6.	Tecnogetafe.....	75
5.2.	CARTOGRAFÍA	77
5.3.	INVENTARIO	78
5.3.1.	Revisión de inventarios previos.....	79
5.3.2.	Inventario pie a pie.....	81
5.3.3.	Inventario a través de sensores remotos.....	81
5.3.1.	Inventario Tecnogetafe	85
5.3.2.	Inventario	86
5.3.3.	Síntesis.....	114
5.4.	CÁLCULO DE LA CONTRAHUELLA DE CARBONO	115
5.4.1.	Exclusión de árboles en el cálculo de la contrahuella de carbono.....	115
5.4.2.	Resultados	117
6.	DISCUSIÓN.....	126
6.1.	RESULTADOS DEL INVENTARIO	126
6.2.	ESTADO DEL ARBOLADO	127
6.3.	BASES PARA LA ORDENACIÓN.....	127
6.4.	CONTRAHUELLA DE CARBONO.....	128
6.5.	SERVICIOS ECOSISTÉMICOS.....	130
6.6.	DIFICULTADES.....	132
6.7.	LÍNEAS FUTURAS	132
7.	CONCLUSIONES	134
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136
II.	Informe del proyecto	142
1.	CONDICIONES TÉCNICAS ESPECÍFICAS DEL ESTUDIO	144
2.	FASES PARA LA REALIZACIÓN DEL ESTUDIO.....	144

3.	DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS	145
4.	CRONOGRAMA.....	146
5.	COSTES DEL ESTUDIO	146
5.1.	COSTES DE MATERIALES.....	146
5.2.	COSTE DE MATERIALES AMORTIZABLES	147
5.3.	COSTES DE MANO DE OBRA.....	147
5.4.	COSTES TOTALES	148
III.	Resumen ejecutivo.....	150
IV.	Póster	154
V.	Anexos.....	0
	ANEXO 1: TABLA CORRESPONDENCIA MODELO- ESPECIE.....	0
	ANEXO 2: INVENTARIO PIE A PIE.....	0
	ANEXO 3: INVENTARIO A TRAVÉS DE SENSORES REMOTOS.....	250
	ANEXO 4: REVISIÓN DE INVENTARIOS PREVIOS.....	386
	ANEXO 5: MAPAS DE ABSORCIÓN DE CO ₂	514

Índice de tablas

Tabla 1. Las clasificaciones de los servicios ecosistémicos. Fuente: Elaboración propia a partir de: Millennium Ecosystem Assessment (MEA) 2005; The economics of Ecosystems & Biodiversity (TEEB) 2010; European Environment Agency (EEA) 2019.	8
Tabla 2. Beneficios potenciales de los bosques urbanos. Fuente: FAO 2016.	11
Tabla 3. El papel de los bosques en los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: FAO 2016.	13
Tabla 4. Factor R, relación entre la biomasa subterránea y la biomasa aérea, para el dominio templado. Fuente elaboración propia, a partir de IPCC (2006).	22
Tabla 5. Referencias entre las copas de los árboles y las especies seleccionadas en la zona. ...	39
Tabla 6. Códigos seleccionados del Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3).	44
Tabla 7. Modelos de cálculo de la contrahuella de carbono empleados en el presente proyecto.	45
Tabla 8. Agrupación de especies por similitud morfológica. Fuente: Modificado de Díaz Caja et al. (2015).	50
Tabla 9. Superficies estimadas para las instalaciones o centros de la UPM.	78
Tabla 10. Fecha del inventario de cada zona.	79
Tabla 11. Datos del inventario según el tipo de inventario.	86
Tabla 12. Resultados del inventario según el campus.	87
Tabla 13. Resultados de inventario en función del centro o la instalación.	88
Tabla 14. Número de pies por especie/ género.	90
Tabla 15. Número de pies por familia.	94
Tabla 16. Densidad de pies en las diferentes instalaciones y centros de la UPM.	95
Tabla 17. Especies dependiendo del campus.	96
Tabla 18. Variedad de especies dentro de los diferentes centros/ instalaciones.	97
Tabla 19. Número de pies por clase diamétrica de Campus Montegancedo.	100
Tabla 20. Número de pies por clase diamétrica en el Campus Sur.	101
Tabla 21. Número de pies por clase diamétrica del Campus Madrid Centro.	102
Tabla 22. Número de pies de cada clase diamétrica del Rectorado de la UPM.	103
Tabla 23. Número de pies de cada clase diamétrica del Parking del Rectorado de la UPM.	104
Tabla 24. Número de pies de cada clase diamétrica de la ETS Arquitectura y la ETS Edificación.	105
Tabla 25. Número de pies de cada clase diamétrica de la ETSI Aeronáuticos y del Espacio. ...	106
Tabla 26. Número de pies de cada clase diamétrica de la ETSI Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas.	107
Tabla 27. Número de pies de cada clase diamétrica de la Campos de prácticas de la ETSIAAB.	108
Tabla 28. Número de pies de cada clase diamétrica de la ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural.	109
Tabla 29. Número de pies de cada clase diamétrica de la ETSI Caminos, Canales y Puertos. ...	110
Tabla 30. Número de pies de cada clase diamétrica de la ETSI Telecomunicación.	111
Tabla 31. Número de pies de cada clase diamétrica de la ETSI Navales.	112
Tabla 32. Número de pies de cada clase diamétrica de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (INEF).	113
Tabla 33. Árboles sin contabilizar por falta de información de especie.	115

Tabla 34. Árboles sin contabilizar con datos insuficientes de diámetro y/o altura.....	116
Tabla 35. Captura de carbono (tn) en cada campus de la UPM.....	117
Tabla 36. Captura de carbono (tn) en los centros o instalaciones de la UPM.	118
Tabla 37. Captura de carbono (kg) por especie.	120
Tabla 38. 10 pies con más absorción de CO2 (kg).....	122
Tabla 39. Superficie, densidad (pies/ ha) y CO2 absorbido/ ha en cada centro/ instalación. ..	123
Tabla 40. Descripción de las tareas realizadas, con el % de participación de la alumna y las directoras.	145
Tabla 41. Cronograma del proyecto.....	146
Tabla 42. Costes debidos a materiales.....	146
Tabla 43. Costes debidos a los materiales amortizables.....	147
Tabla 44. Costes de manutención del personal.	147
Tabla 45. Costes del personal.....	148
Tabla 46. Costes debidos a materiales.....	148
Tabla 47. Costes totales con IVA.	148

Índice de figuras

Figura 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: ONU 2019.	7
Figura 2. Valor económico total de los servicios ecosistémicos. Fuente: Pagiola y Bishop 2004. 9	
Figura 3. Evolución de las emisiones antropogénicas anuales totales de GEI según el tipo de gas entre 1970 y 2010. Fuente: IPCC (2014).	16
Figura 4. Efecto invernadero. Fuente: US National Park Service (2019).....	18
Figura 5. Esquema del ciclo de carbono con los volúmenes medidos en gigatoneladas o petagramos de carbono. Fuente: Ciais et al. (2013).	19
Figura 6. Tecnologías de emisiones negativas (NETs) agrupadas según las categorías tecnologías, con las opciones de implementación, y el sistema de almacenaje del CO2. Fuente: Minx et al. (2018).	21
Figura 7. Iconos de las aplicaciones Arbolapp y PlantNet.....	34
Figura 8. Interfaz de TreePlotter.	35
Figura 9. Imagen que representa las escalas del DendroFlexómetro. A la izquierda se muestra el haz de la cinta (diámetros), y a la derecha el envés (alturas). Fuente: Föra (2019).	36
Figura 10. Comparación entre los aparatos más utilizados en inventariación forestal. Fuente: Föra (2019).	36
Figura 11. Medición de altura con escala Christen. Fuente: CESEFOR (2013)	37
Figura 12. Medición de la altura con la escala de Daalder. Fuente: CESEFOR (2013).....	38
Figura 13. Ilustración de la metodología de evaluación del diámetro. Fuente: CESEFOR (2013).	38
Figura 14. Interfaz de la herramienta Add XY coordinates de ArcGIS.....	41
Figura 15. Interfaz de la herramienta Raster Calculator de ArcGIS.	42
Figura 16. Interfaz de la herramienta Extract Values to Points de ArcGIS.....	43
Figura 17. Distribución de los diferentes recintos de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM).	57

Figura 18. Distribución de las instalaciones de la UPM en el Campus Ciudad Universitaria. Los límites de las diferentes instalaciones se encuentran coloreados por diferentes tonalidades dispuestas al azar. Sobre los límites se encuentran las etiquetas nombrando los diferentes centros/ instalaciones.	60
Figura 19. Axomática de la Escuela de Montes realizada por Villanueva y Bidagor en 1945. Fuente: Arboreto de Montes 2014.	64
Figura 20. Visual aérea de la Escuela Especial de Ingenieros de Montes de Ciudad Universitaria. Fuente: Arboreto de Montes 2014.	65
Figura 21. Distribución del Campus Madrid Centro.	69
Figura 22. Emplazamiento del Campus Montegancedo.	72
Figura 23. Distribución de las instalaciones del Campus Sur. Para esta ilustración de los límites se emplean diferentes colores (aleatorios) para apreciarlos mejor.	73
Figura 24. Emplazamiento de las instalaciones de Tecnogetafe.....	76
Figura 25. Zonificación del Arboreto. Fuente: Elaborado de Díaz Caja et al. 2015, modificado de Pérez Fernández y Escribano Bombín 2013.	80
Figura 26. Curva de regresión para la encina (<i>Quercus ilex</i>). Fuente: Elaboración propia.	82
Figura 27. Curva de regresión para el pino piñonero (<i>Pinus pinea</i>). Fuente: Elaboración propia.	82
Figura 28. Curva de regresión para <i>Populus alba</i> . Fuente: elaboración propia.....	83
Figura 29. Curva de regresión para el Olmo (<i>Ulmus</i> sp.). Fuente: elaboración propia.....	83
Figura 30. Curva de regresión para el Olivo (<i>Olea europaea</i>). Fuente: elaboración propia.	84
Figura 31. Curva de regresión para <i>Cupressus arizonica</i> . Fuente: elaboración propia.....	84
Figura 32. Curva de regresión para <i>Cedrus</i> sp.. Fuente: elaboración propia.....	85
Figura 33. Curva de regresión para <i>Cupressus sempervirens</i> . Fuente: elaboración propia.....	85
Figura 34. Representación gráfica de los datos del inventario en relación con la metodología de inventario.	86
Figura 35. Representación gráfica de los resultados del inventario según el Campus.	87
Figura 36. Representación gráfica de los resultados del inventario según los centros o instalaciones.....	89
Figura 37. Representación gráfica de los pies por especie.	93
Figura 38. Representación gráfica sectorial de la representatividad de las familias de árboles en la UPM.	95
Figura 39. Representación gráfica de la densidad (pies/ ha).	96
Figura 40. Representación gráfica de las especies dentro de cada campus.	97
Figura 41. Representación gráfica de las especies en función de los centros/ instalaciones.....	98
Figura 42. Representación de la distribución de especies por instalaciones/ centros.	99
Figura 43. Representación gráfica de la distribución diamétrica de Campus Montegancedo.	100
Figura 44. Representación gráfica de la distribución diamétrica de Campus Sur.....	101
Figura 45. Representación gráfica de la distribución diamétrica de Campus Madrid Centro. .	103
Figura 46. Representación gráfica de la distribución diamétrica del Rectorado de la UPM.....	104
Figura 47. Representación gráfica de la distribución diamétrica Parking del Rectorado de la UPM.....	105
Figura 48. Representación gráfica de la distribución diamétrica de la ETS Arquitectura y la ETS Edificación.	106

Figura 49. Representación gráfica de la distribución diamétrica de la ETSI Aeronáuticos y del Espacio.	107
Figura 50. Representación gráfica de la distribución diamétrica de la ETSI Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas.	108
Figura 51. Representación gráfica de la distribución diamétrica de los Campos de prácticas de la ETSIAAB.	109
Figura 52. Representación gráfica de la distribución diamétrica de la ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural.	110
Figura 53. Representación gráfica de la distribución diamétrica de la ETSI Caminos, Canales y Puertos.	111
Figura 54. Representación gráfica de la distribución diamétrica de la ETSI Telecomunicación.	112
Figura 55. Representación gráfica de la distribución diamétrica de la ETSI Navales.	113
Figura 56. Representación gráfica de la distribución diamétrica de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (INEF).	114
Figura 57. Representación gráfica de la captura de carbono según el Campus.	117
Figura 58. Representación gráfica de la captura de carbono (tn) en el centro o las instalaciones de la UPM.	119
Figura 59. Distribución del CO ₂ absorbido (tn/ ha).	124
Figura 60. Representación gráfica de la fijación de CO ₂ (tn/ha) en relación con la densidad (pies/ha).	125
Figura 61. Evolución de la huella de carbono total de la UPM (tCO ₂ e). Período 2013-2016. Fuente: Sobrino Tena et al.(2019).	129

I. Memoria

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El proyecto se ajusta a las necesidades surgidas para conocer la contrahuella de carbono de la Universidad Politécnica de Madrid en su iniciativa de Campus Sostenible ReS²+U. Esta iniciativa tiene como objetivo generar una Universidad Politécnica de Madrid responsable, sostenible, social y más universitaria.

Se trata de una propuesta en la que se integran 24 iniciativas agrupadas en 5 áreas diferentes: Monitorización, Movilización, Eficiencia Energética, Naturación y Docencia, todas ellas tienen como nexo común las áreas de comunicación y coordinación.

Para llevar a cabo su objetivo y además contribuir con el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), se pretende integrar los componentes sociales, tecnológicos y medioambientales. Para poder trabajar mejor con los ODS e integrarlos en las iniciativas se clasifican en cuatro líneas: Educación para la transformación (ODS 4, 5, 9, 10, 12); Energía y medio ambiente (ODS 6, 7, 9, 11, 13, 14, 15); Innovación y Desarrollo (ODS 1, 2, 3, 8, 9, 16) y Alianza multiactor (ODS 17).

Este proyecto se incluye en las iniciativas de naturación: bosque urbano ciudad universitaria, paseos por parques y arboreto, y puesta en valor del Arboreto de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Esto es así por el desarrollo del inventario de la UPM, así como la puesta en valor de sus zonas verdes.

2. INTRODUCCIÓN

2.1.LA INFRAESTRUCTURA VERDE EN LAS CIUDADES

Los desplazamientos de población hacia las ciudades se han producido recurrentemente a lo largo de la historia de la humanidad, pero desde el siglo XX se ha observado que este proceso migratorio de las zonas rurales a las urbanas se ha visto incrementado. Este éxodo rural se va a ver acrecentado por el cambio climático y la búsqueda de zonas menos expuestas a estas variaciones (Macías Palomo 2016).

Este desplazamiento ha provocado que actualmente más de la mitad de la población mundial viva en las ciudades y poblados de todo el mundo desde 2008, y en Europa el 70%(EEA 1999). Se prevé que la tendencia mundial aumentará para 2030 hasta un 60% (Töpfer 2001) y un 70% para 2050 (FAO 2016). Este hecho genera la alteración y el rediseño de los paisajes naturales, teniendo como consecuencia la generación de microclimas propios(FAO 2016), con la consecuente variación de las temperaturas, precipitaciones y vientos de los parajes naturales cercanos, tanto en los paisajes naturales, como en las ciudades.

Este desarrollo urbano desordenado produce degradación de los ecosistemas, pérdida de servicios ecosistémicos y pérdida de adaptación a los cambios (falta de resiliencia), como los producidos por el cambio climático (FAO 2016). Debido a estos problemas se observa la necesidad de llevar a cabo políticas y planes de desarrollo sostenible para que las ciudades sean:

- más seguras ante eventos climáticos: con la buena gestión del verde urbano se pueden reducir la escorrentía del agua, los problemas generados con los fuertes vientos, con esto se reduciría el efecto de “isla de calor” y contribuiría a la mitigación del cambio climático.
- más agradables: aportando lugares de recreo y mejorando las condiciones climáticas extremas.
- más saludables: con zonas para el ejercicio físico, con mejor calidad de aire y bienestar psicológico.
- más ricas: ofreciendo servicios ecosistémicos de gran valor (alimentos, medicinas, madera, etc.).
- más diversas y atractivas con aumento de la biodiversidad, generando diversidad paisajística y manteniendo las tradiciones culturales.

La planificación de la infraestructura verde de las zonas urbanas actualmente es imprescindible para afrontar los cambios que está generando el cambio climático. El primer paso para poder planificar de forma efectiva las medidas a tomar, es conocer el estado actual del bosque urbano mediante la realización de inventarios. El estado en el cual se encuentran estos es un indicativo de los servicios ecosistémicos que se tienen y cuales se pueden mejorar y generar.

La aceleración del cambio climático se debe a las actividades realizadas por el ser humano, estas actividades generan gases de efecto invernadero (GEI), que modifican el clima. En este aspecto debemos considerar que el carbono es uno de los elementos que más influye en esta aceleración. Por ello, actualmente las empresas están midiendo la huella y la contrahuella de carbono, las emisiones y las asimilaciones de carbono. Para asimilar las emisiones de carbono se tiene en cuenta la capacidad de absorción de los bosques, tanto urbanos como los naturales.

El incremento y la mejora de las infraestructuras verdes en las ciudades, así como su planificación puede hacer más agradable la estancia en ellas por los diversos motivos mencionados previamente es una importante prioridad del siglo XXI.

La necesidad de gestionar los recursos de forma sostenible pone en alza la necesidad de plantear los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) por parte de la ONU, que se encuentran ampliamente relacionados con la gestión de las ciudades y el cuidado del medio ambiente de forma sostenible.

2.2.AGENDA 2030 Y LOS Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Tras la celebración de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo en 1983 y la publicación del “Informe Bruntland” en 1987 en el cual se definía el desarrollo sostenible como: *“aquel que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”* (ONU 1987), las políticas posteriores plantean como necesidad el desarrollo de forma sostenible.

En 1992 tuvo lugar la celebración de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD), tras la que se estableció la necesidad de fomentar un desarrollo sostenible a nivel mundial para mejorar la calidad de vida. Además, se identificó la degradación del medio ambiente como un problema y se planteó la necesidad de integrar la protección del medio ambiente y la administración de los recursos naturales en las cuestiones socio- económicas de pobreza y subdesarrollo (ONU 1993).

En la CNUMAD se adoptó y desarrolló la Agenda o Programa 21, un conjunto de acciones para poder alcanzar el desarrollo sostenible en el siglo XXI. Más tarde, se revisó la evolución de las medidas tomadas y se replantearon las medidas a tomar para ello se propusieron ocho objetivos estratégicos para cumplir hasta 2015 que se denominaron Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM).

Los ODM tienen como objetivo principal el bienestar humano, el cual se ve incrementado con los servicios que prestan los ecosistemas. A partir de estos objetivos se desarrolló el programa de Evaluación de los Ecosistemas del Milenio donde se identifican, inventarían y evalúan los servicios ecosistémicos, es decir, los beneficios que derivan directa o indirectamente sobre el ser humano de los ecosistemas (Costanza et al. 1997).

Trascurrido el plazo de aplicación de los ODM se desarrolló un informe del progreso alcanzado. En este informe se describen las mejoras obtenidas en cada uno de los objetivos, y también se detallan las necesidades que aún no han sido suplidas y las que fueron surgiendo durante este período (ONU 2015a). Debido a esto se observó la necesidad de plantear una actualización de los objetivos en 2015, en la Agenda 2030.

La Agenda 2030 recoge los nuevos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), a desarrollar hasta el año 2030. Estos son 17 objetivos (ver lista en la Figura 1) con 169 metas de carácter integrado e indivisible, que abarcan los ámbitos económico, social y ambiental (ONU 2015b). Dentro de estos objetivos, este proyecto va a centrarse en aquellos relacionados con cuestiones medioambientales son: el sexto “agua limpia y saneamiento”; el séptimo “Energía asequible y no contaminante”; el trece “acción por el clima”; el catorce “vida submarina”; y el quince “la vida de

ecosistemas terrestres”. Estos son los directamente relacionados con el medio ambiente, pero cualquier mejora en el medioambiente genera una mejora en los otros objetivos más relacionados con la economía y sociedad. Además, en el proyecto que nos ocupa hay que destacar el objetivo 11 “Ciudades y comunidades sostenibles”.



Figura 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: ONU 2019.

Para cumplir estos objetivos se plantean diferentes medidas tales como: inventariación de ecosistemas y servicios ecosistémicos, cuantificación de la huella y contrahuella de carbono, evaluación de la huella hídrica, etc.

Estos objetivos plantean la necesidad de desarrollar todas las actividades en un marco sostenible, donde estas no generen daños a los ecosistemas, ya sea por la deposición de residuos o la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Para la reducción de estos gases ya emitidos es necesario tener un cuidado, mantenimiento y ampliación de la superficie arbolada, incluidas las urbanas.

2.3.LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Goodland (1995) define que la sostenibilidad ambiental es “el mantenimiento y la mejora de la calidad de los ecosistemas naturales para que puedan proporcionar bienes y servicios esenciales para la vida humana, como agua limpia y alimentos, así como conservar la biodiversidad y regular el clima”.

Para alcanzar una sostenibilidad ambiental en el bosque urbano hay que reconocer y tener en cuenta los bienes y servicios que nos proporcionan los ecosistemas naturales y son fundamentales para el ser humano. Estos son los servicios ecosistémicos que quedaron definidos por Costanza et al. (1997) como “beneficios que las poblaciones humanas derivan directa o indirectamente de las funciones de los ecosistemas”.

Los servicios proporcionados por los diversos ecosistemas han sido clasificados a lo largo de los años de diversas formas, en la Tabla 1 se muestra una recopilación de clasificaciones para los servicios ecosistémicos.

Tabla 1. Las clasificaciones de los servicios ecosistémicos. Fuente: Elaboración propia a partir de: Millennium Ecosystem Assessment (MEA) 2005; The economics of Ecosystems & Biodiversity (TEEB) 2010; European Environment Agency (EEA) 2019.

Millenium Ecosystem Assesment (2005)	The Economics of Ecosystem and Biodiversity (2010)	CICES (2013)
Provisión	Provisión	Provisión
Regulación	Regulación	Regulación y mantenimiento
-	Hábitat	-
Cultural	Cultural y disfrute	Cultural
Apoyo	-	-

La clasificación que actualmente tiene más relevancia es la Clasificación Internacional Común de los Servicios de los Ecosistemas (CICES), según la European Environment Agency (EEA) 2019, en esta clasificación hay tres clases:

1. Los servicios de provisión, aprovisionamiento o de abastecimiento, son aquellos servicios que se obtienen directamente de extracción de materias primas. Por ejemplo: fruta, corcho, etc.
2. Los servicios de regulación y mantenimiento son los beneficios obtenidos de la regulación de los procesos ecosistémicos, así como, los necesarios para la producción de todos los demás servicios ecosistémicos. Por ejemplo: la mejora de la calidad del aire y del agua, el control de las inundaciones, etc.
3. Los servicios culturales son los beneficios inmateriales que obtienen mediante el enriquecimiento espiritual, el desarrollo cognitivo, la reflexión, la recreación y las experiencias estéticas. Estos serían la identidad cultural, el bienestar espiritual, el valor de existencia, etc.

Dentro de los servicios ecosistémicos se encuentra la captura de carbono, a través de la fotosíntesis de las plantas. Este sería un servicio de regulación y mantenimiento, cuya cuantificación depende de la biomasa del árbol.

Las Naciones Unidas para evaluar los ecosistemas y la biodiversidad que albergan creó un programa interdisciplinario la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, que en España es la EME. La EME es el primer análisis que se realiza sobre el estado y las tendencias de los servicios terrestres y acuáticos de España y su contribución al bienestar de sus habitantes (Ecomilenio 2015). El objetivo es transmitir la idea de que el presente y el futuro económico, social y cultural de los habitantes de los ecosistemas de España está vinculado a la capacidad de generar y mantener los servicios de abastecimiento, de regulación o culturales que proporcionan los diferentes componentes del bienestar humano.

Esta evaluación comenzó en 2009 y presentó resultados en 2012, en estos resultados se muestra el buen funcionamiento de los ecosistemas de España y su biodiversidad. A pesar de ello, entre el 40-68% de las especies se encontraron amenazadas lo cual supone una alta pérdida de biodiversidad, y el 45% de los servicios ecosistémicos se han degradado o se usan de forma insostenible, con mayor afectación de los servicios de regulación.

La mejor forma de cuantificar las pérdidas y beneficios que pueden otorgar estos servicios es valorarlos económicamente. El dilema surge cuando no se puede realizar una valoración económica directa, para los productos que no tienen precio de mercado (Alló 2019).

En la valoración económica se diferencia entre los bienes y servicios que tienen valor de uso y aquellos que tienen valor de no uso, tal cual se observa en la Figura 2.

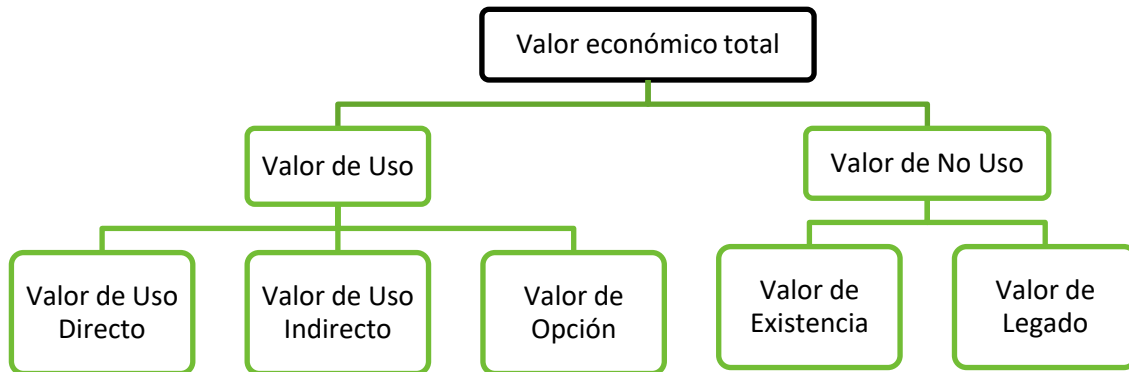


Figura 2. Valor económico total de los servicios ecosistémicos. Fuente: Pagiola y Bishop 2004.

Según esta valoración, los valores de uso directo serían los referidos a los bienes y servicios del ecosistema de uso directo por el ser humano, serían los bienes de consumo: alimentos, madera para combustible y construcción, y su valoración sería directa del precio de mercado.

Los valores de uso indirecto son los que derivan de funciones reguladoras de los ecosistemas, serían la filtración de agua natural, la protección contra tormentas, el secuestro de carbono, etc. Se puede valorar con el método de costes evitados, con los posibles daños evitados como escorrentías, etc.

Los valores de opción serían los referidos a los servicios ecosistémicos y la posibilidad de obtener beneficios en el futuro. La valoración se realizaría con una suma de los costes perdidos con las metodologías anteriores.

Dentro del valor de no uso tenemos el valor de existencia y valor de legado. El valor de legado se refiere a los beneficios que dejaríamos a las generaciones futuras y el valor de existencia se refiere al disfrute que se experimenta por saber de la simple existencia del recurso. La valoración de estos se realizaría con métodos como el coste de viaje, precios hedónicos, valoración contingente o modelos de elección.

La evaluación económica y social de los servicios ecosistémicos es importante para: visibilizar los servicios ecosistémicos que carecen de valor de mercado para buscar políticas ambientales que fomenten la igualdad en el reparto de servicios; apoyar la toma de decisiones ambientales y territoriales, porque la mayoría de las decisiones se basan en criterios económicos; y poder poner “precio” a los beneficios del bosque urbano facilita la comunicación con la sociedad. De esta forma se puede conseguir una mayor concienciación social de la necesidad de cuidar y gestión las zonas verdes.

2.4.EL BOSQUE URBANO

La estructura de las ciudades, según FAO 2016, se define tradicionalmente como el conjunto de tres tipos de infraestructura: la “gris”: edificios, carreteras, aparcamientos, etc.; infraestructura “azul”: ríos, lagos, estanques, etc.; e infraestructura “verde”: árboles, arbustos, jardines, bosques, etc. Para poder convertir las ciudades en lugares sostenibles, hay que tener en cuenta las relaciones entre estos elementos.

El bosque urbano puede ser definido como una red o sistema que comprende los terrenos de bosque, las agrupaciones de árboles, y los árboles individuales situados en las zonas urbanas y periurbanas; estos incluyen los bosques, los árboles localizados en las calles, los árboles de los parques y jardines, y los árboles de zonas abandonadas (FAO 2016).

Según FAO 2016, se pueden clasificar los tipos de bosques urbanos en cinco tipos:

1. Árboles en las calles o en las plazas públicas: árboles de alineaciones, aparcamientos, plazas, etc.
2. Parques municipales y bosques urbanos (>0,5 ha): grandes parques urbanos o municipales con cubierta arbórea, y equipados con instalaciones para el tiempo libre y el recreo.
3. Parques y jardines pequeños con árboles (<0,5 ha): zonas de menor tamaño que las anteriores, jardines y áreas verdes privadas.
4. Bosques y arbolados periurbanos: serían los bosques y las masas que rodean los poblados y ciudades y que pueden proporcionar bienes y servicios, tales como: leña, fibras, frutas otros productos forestales no madereros, agua limpia, recreación y turismo.
5. Otras áreas verdes con árboles: por ejemplo, campos deportivos, cementerios, jardines botánicos, prados, riberas de ríos, etc.

2.4.1. Bosque urbano e infraestructura verde

Mientras que el bosque urbano es el conjunto de árboles y zonas verdes arboladas que se encuentran en las ciudades, la infraestructura verde *“es la red planificada estratégicamente de áreas naturales, seminaturales y cultivadas de alta calidad diseñadas y gestionadas para proporcionar una amplia gama de servicios ecosistémicos y proteger la biodiversidad en contextos urbanos y periurbanos”* (Escobedo et al. 2019).

El concepto de infraestructura verde surgió en EEUU, pero no representa un nuevo concepto. El concepto principal es la óptima distribución del bosque urbano, los espacios verdes, conectividad física y funcional para la provisión efectiva y eficiente de los servicios ecosistémicos (Krajter Ostoić y Konijnendijk van den Bosch 2015).

La infraestructura verde puede ofrecer múltiples funciones y beneficios en un mismo ámbito territorial. Las funciones pueden ser de tipo medioambiental (p. ej., la conservación de la biodiversidad o la adaptación al cambio climático), social (p. ej., la construcción de drenajes de agua o espacios verdes) y económico (p. ej., la creación de empleo y el aumento del precio de los bienes inmuebles). Este aspecto contrasta con las soluciones de infraestructura gris, que solo cumplen una función, como la de alcantarillado o la de transporte, este aspecto confiere su atractivo a la infraestructura verde, dotada de la capacidad de abordar varios problemas (Dige 2015).

2.4.2. ¿Qué conocemos como Urban Forestry?

La gestión de los bosques urbanos para que estos continúen contribuyendo al bienestar psicológico, sociológico y económico de las personas se denomina urban forestry, que se puede traducir como selvicultura urbana y periurbana (SUP). Otros términos son utilizados como gestión y planificación del bosque urbano o de la infraestructura verde o arboriculture en Reino Unido (Wilson y Fowkes 2016). Dentro de la SUP se encuentran integradas las actividades de evaluación, planificación, plantación, mantenimiento, preservación y monitorización de los bosques urbanos, desde nivel árbol a paisajes.

La gestión de estos espacios es necesaria para conseguir obtener los beneficios y valores tangibles para mejorar la calidad de vida, la seguridad y la salud pública. Los beneficios de estas zonas varían según la ubicación y la situación económica, social y ambiental de estas zonas.

La Tabla 2 muestra diversos beneficios potenciales de los bosques urbanos según el aspecto urbano al cual se con el que se relacionan.

Tabla 2. Beneficios potenciales de los bosques urbanos. Fuente: FAO 2016.

Aspectos urbanos	Beneficios potenciales de los bosques urbanos
Seguridad alimentaria	Suministran alimentos, agua limpia y leña
Pobreza urbana	Crean empleos y aumentan los ingresos
Degradación del suelo y del paisaje	Mejoran las condiciones del suelo y previenen la erosión
Reducción de la biodiversidad	Preservan y aumentan la biodiversidad
Contaminación del aire y acústica	Remueven los contaminantes del aire y fungen como barrera acústica
Emisiones de gases de efecto Invernadero (GEI)	Secuestran el carbono y mitigan el cambio climático, mejoran el clima local y fomentan la resiliencia
Eventos climáticos extremos	Mitigan el clima local y fomenta la resiliencia
Escasez de energía	Ahorran energía por medio de sombra/ enfriado y aumentan la disponibilidad de combustible leñoso
Efecto isla de calor	Refrescan el entorno edificado con la sombra y la evapotranspiración
Acceso limitado a las áreas verdes	Brindan mayor acceso a las áreas naturales y verdes
Salud pública	Mejoran la salud física y mental de los residentes
Inundaciones	Mitigan las escorrentías y atenúan las inundaciones
Oportunidades recreativas limitadas	Suministran oportunidades para la recreación y la educación ambiental
Exposición	Ofrecen refugio
Recursos hídricos limitados	Permiten la infiltración y la reutilización de las aguas residuales
Falta de cohesión comunitaria y social	Ofrecen lugares particulares para la interacción al aire libre formal e informal

El “ecosystem-based management” (EBM), que traducido literalmente es “gestión basada en los ecosistemas”, puede definirse como el manejo de los sistemas naturales que integra los principios científicos de ecología y valores de sostenibilidad en las dimensiones institucional, económica y sociopolítica del manejo de los recursos naturales (Steenberg, Duinker y Nitoslawski 2019).

Como ya se ha destacado el bosque urbano genera una gran variedad de beneficios, el más importantes es mejorar la calidad de vida de los habitantes de zonas urbanas.

Según Grumbine (1994) se pueden definir diez temas a tener en cuenta en la EBM, que tras modificarse permanecen los siguientes temas a considerar (Steenberg, Duinker y Nitowski 2019):

- **Resiliencia:** Hay que conseguir que las ciudades reaccionen como sistemas urbano social-ecológico con la capacidad de recuperarse de perturbaciones o mantener su función durante el periodo de estrés, aunque existan compensaciones entre las funciones sociales y ecológicas.
- **Contexto jerárquico:** Hay que considerarla administración de la organización jerárquica del bosque urbano y la necesidad de evaluar diferentes niveles espaciales y relaciones entre los niveles.
- **Límites socio- ecológicos:** Las diferencias entre los límites socio- ecológicos en el bosque urbano se tienen en cuenta en la delimitación y clasificación de las unidades de manejo.
- **Manejo de datos e información:** las fuentes, formatos, colecciones, manejo, análisis/ visualización y el intercambio de datos teniendo en cuenta los avances tecnológicos y las tendencias emergentes en ciencia ciudadana, tecnología móvil y open data, tienen que evaluarse.
- **Monitoreo:** Hay que tener en cuenta los indicadores que integran valores sociales para entender los cambios del ecosistema y la eficacia de la gestión.
- **Manejo adaptativo:** El manejo adaptativo admite las incertidumbres entorno a las consecuencias medioambientales, la sociales y la económicas del manejo del bosque urbano y requiere del diseño de intervenciones, como experimentos explícitos de aprendizaje.
- **Cooperación entre agencias:** Debe existir una coordinación entre departamentos municipales para sostener los bosques urbanos mientras se satisfacen otras necesidades como el desarrollo y la renovación de la infraestructura, mientras que los niveles más altos de gobierno contribuyen a los problemas de gobernanza y nacional.
- **Asociaciones y compromiso cívico:** Los gobiernos municipales se asocian con ONG, grupos comunitarios, universidades e industria para la entrega de programas y al mismo tiempo fomentan la participación cívica a través de iniciativas de divulgación, educación y administración de bosques urbanos.
- **Cambio organizacional:** Los departamentos de silvicultura urbana se alejan del manejo de árboles individuales a través del apoyo institucional, la financiación y la coordinación con otros departamentos.
- **Cambio social:** Los propietarios de toda la ciudad conocen los beneficios del bosque urbano y las mejores prácticas de manejo para plantar y mantener árboles.
- **La justicia ambiental:** La equidad en la distribución de los árboles y sus beneficios servicios ecosistémicos en el paisaje urbano están integrados en la gestión.
- **Valores:** Los valores del público sobre el bosque urbano se incluyen en los procesos de planificación.

2.4.3. Bosque urbano y Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

El buen diseño y la gestión del bosque urbano y las demás infraestructuras urbanas (infraestructura gris y azul), pueden garantizar los beneficios anteriores, y con ellos pueden contribuir a lograr las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. En la Tabla 3 se muestran los ODS en los cuales pueden influir, junto con las metas específicas a las que van dirigidas.

Tabla 3. El papel de los bosques en los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: FAO 2016.

Objetivos de Desarrollo Sostenible	Meta	El papel de los bosques urbanos
ODS 1: Fin de la pobreza	1.5	Los bosques urbanos crean empleo, son un recurso para empresarios, reducen el coste de la infraestructura urbana, suministran servicios ecosistémicos para todos los ciudadanos, mejoran el espacio vital y aumentan el valor de las propiedades fomentando economías locales verdes
ODS 2: Hambre cero	2.1 2.2 2.3 2.4	Los bosques urbanos son fuentes directas de alimentos: frutas, semillas, hojas, setas, bayas, extractos de corteza, savias y raíces comestibles, hierbas, carne de caza silvestre e insectos comestibles. Indirectamente: apoyan la alimentación saludable ofreciendo disponibilidad de leña, agua de buena calidad y mejores suelos para la producción agrícola sostenible
ODS 3: Salud y bienestar	3.4 3.9	Los bosques urbanos ofrecen entornos ideales para actividades recreativas y de relajación al aire libre, contribuyendo a la prevención y al tratamiento de enfermedades no contagiosas y al mantenimiento de la salud mental. Los bosques urbanos filtran y eliminan los contaminantes y partículas que también contribuyen a reducir la incidencia de enfermedades no contagiosas
ODS 6: Agua limpia y saneamiento	6.3 6.6	Los bosques urbanos son reguladores eficaces de los ciclos hidrológicos urbanos. Filtran el agua potable reduciendo los contaminantes biológicos y químicos, reducen el riesgo de inundaciones y erosión, además de las pérdidas hídricas, minimizando eventos extremos mesoclimáticos por medio de los procesos de evapotranspiración
ODS 7: Energía asequible y no contaminante	7.1	La gestión sostenible de los bosques urbanos puede producir energía renovable para su uso en las comunidades urbanas. Esta es una función vital para los habitantes de las zonas urbanas y periurbanas en todo el mundo, en especial en los países de bajos-medios ingresos donde la leña es la fuente más asequible, y en ocasiones única, de energía
ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico	8.4 8.9	Las inversiones en los bosques urbanos y otra infraestructura verde se agregan al crecimiento económico verde, produciendo un entorno atractivo para turismo y negocios, mejorando el valor de las casas y los cánones de arrendamiento, creando oportunidades de empleo, suministrando materiales de construcción para las viviendas y generando ahorros en los costes asociados con la energía y el mantenimiento de la salud humana
ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles	11	Los bosques urbanos bien diseñados y gestionados, contribuyen a la sostenibilidad ambiental, a la viabilidad económica y a la habitabilidad en las ciudades. Ayudan a mitigar el cambio climático y los desastres naturales, reducen los costes de energía, la pobreza y la desnutrición y suministran servicios ecosistémicos y beneficios públicos.
ODS 13: Acción por el clima	13.1 13.2 13.3	Los bosques urbanos contribuyen a la mitigación del cambio climático fijando directamente el carbono y reduciendo las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI); e indirectamente por el ahorro de energía, reducción del efecto isla de calor en las ciudades y atenuación de las inundaciones
ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres	15.2 15.3 15.9	Los bosques urbanos ayudan a crear y a consolidar hábitats, constituyen una reserva de biodiversidad, mejoran la calidad del suelo y contribuyen a la restauración de la tierra

Las metas especificadas en la Tabla 3, son las siguientes según la ONU (2015b):

- 1.5: De aquí a 2030, fomentar la resiliencia de los pobres y las personas que se encuentran en situaciones de vulnerabilidad y reducir su exposición y vulnerabilidad a los fenómenos extremos relacionados con el clima y otras perturbaciones y desastres económicos, sociales y ambientales. (Tiene dos apartados más específicos).
- 2.1: De aquí a 2030, poner fin al hambre y asegurar el acceso de todas las personas, en particular los pobres y las personas en situaciones de vulnerabilidad, incluidos los niños menores de 1 año, a una alimentación sana, nutritiva y suficiente durante todo el año.
- 2.2: De aquí a 2030, poner fin a todas las formas de malnutrición, incluso logrando, a más tardar en 2025, las metas convenidas internacionalmente sobre el retraso del crecimiento y la emaciación de los niños menores de 5 años, y abordar las necesidades de nutrición de las adolescentes, las mujeres embarazadas y lactantes y las personas de edad.
- 2.3: De aquí a 2030, duplicar la productividad agrícola y los ingresos de los productores de alimentos en pequeña escala, en particular las mujeres, los pueblos indígenas, los agricultores familiares, los ganaderos y los pescadores, entre otras cosas mediante un acceso seguro y equitativo a las tierras, a otros recursos e insumos de producción y a los conocimientos, los servicios financieros, los mercados y las oportunidades para añadir valor y obtener empleos no agrícolas.
- 2.4: De aquí a 2030, asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas, fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático, los fenómenos meteorológicos extremos, las sequías, las inundaciones y otros desastres, y mejoren progresivamente la calidad de la tierra y el suelo.
- 3.4: De aquí a 2030, reducir en un tercio la mortalidad prematura por enfermedades no transmisibles mediante su prevención y tratamiento, y promover la salud mental y el bienestar.
- 3.9: De aquí a 2030, reducir considerablemente el número de muertes y enfermedades causadas por productos químicos peligrosos y por la polución y contaminación del aire, el agua y el suelo.
- 6.3: De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.
- 6.6: De aquí a 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos. (Tiene dos apartados más específicos).
- 7.1: De aquí a 2030, garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos.

- 8.4: Mejorar progresivamente, de aquí a 2030, la producción y el consumo eficientes de los recursos mundiales y procurar desvincular el crecimiento económico de la degradación del medio ambiente, conforme al Marco Decenal de Programas sobre Modalidades de Consumo y Producción Sostenibles, empezando por los países desarrollados.
- 8.9: De aquí a 2030, elaborar y poner en práctica políticas encaminadas a promover un turismo sostenible que cree puestos de trabajo y promueva la cultura y los productos locales.
- 11.:1 De aquí a 2030, asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles y mejorar los barrios marginales.
- 11.2: De aquí a 2030, proporcionar acceso a sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos y mejorar la seguridad vial, en particular mediante la ampliación del transporte público, prestando especial atención a las necesidades de las personas en situación de vulnerabilidad, las mujeres, los niños, las personas con discapacidad y las personas de edad.
- 11.3: De aquí a 2030, aumentar la urbanización inclusiva y sostenible y la capacidad para la planificación y la gestión participativas, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos en todos los países.
- 11.4: Redoblar los esfuerzos para proteger y salvaguardar el patrimonio cultural y natural del mundo.
- 11.5: De aquí a 2030, reducir significativamente el número de muertes causadas por los desastres, incluidos los relacionados con el agua, y de personas afectadas por ellos, y reducir considerablemente las pérdidas económicas directas provocadas por los desastres en comparación con el producto interno bruto mundial, haciendo especial hincapié en la protección de los pobres y las personas en situaciones de vulnerabilidad.
- 11.6: De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo.
- 11.7: De aquí a 2030, proporcionar acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles, en particular para las mujeres y los niños, las personas de edad y las personas con discapacidad.
- 13.1: Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países.
- 13.2: Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.
- 13.3: Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana.
- 15.2: De aquí a 2020, promover la puesta en práctica de la gestión sostenible de todos los tipos de bosques, detener la deforestación, recuperar los bosques degradados y aumentar considerablemente la forestación y la reforestación a nivel mundial.

- 15.3: De aquí a 2030, luchar contra la desertificación, rehabilitar las tierras y los suelos degradados, incluidas las tierras afectadas por la desertificación, la sequía y las inundaciones, y procurar lograr un mundo con efecto neutro en la degradación de las tierras.
- 15.9: De aquí a 2020, integrar los valores de los ecosistemas y la biodiversidad en la planificación, los procesos de desarrollo, las estrategias de reducción de la pobreza y la contabilidad nacionales y locales.

2.5.LA CONTRAHUELLA DE CARBONO

Para entender el concepto de huella de carbono hay que comenzar por conocer dónde y en qué estado se encuentra el carbono en la naturaleza y porque es tan importante como para necesitar calcularlo, reducirlo y compensarlo.

2.5.1. Efecto antropogénico en el cambio climático

Los gases de efecto invernadero (GEI) se generan de forma natural, para satisfacer las necesidades de los seres vivos, y de forma artificial, con la actividad humana. Desde el informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de 2014 (IPCC 2014) se conoce ciertamente que las actividades humanas están provocando aumento en las concentraciones de GEI, causando por tanto un aceleramiento del efecto invernadero. Previamente se emitió otro informe del IPCC en el año 2007 (IPCC 2007) en el cual se definía que las emisiones de GEI por efecto de las actividades humanas se han visto incrementadas desde la era preindustrial en un 70% entre los años 1970 y 2004.

El dióxido de carbono (CO₂) es uno de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) de origen antropogénico más significativo, debido a que es el que más se emite hacia la atmósfera. Esta importancia se debe al aumento de las emisiones anuales en un 80% entre 1970 y 2004 (IPCC 2007).

El aumento de las emisiones antropogénicas de GEI previamente mencionado, se debe al crecimiento económico y demográfico. Este aumento ha llevado consigo un aumento del dióxido de carbono, metano y óxido nitroso en la atmósfera, que no se había registrado en los últimos 800.000 años. Se ha observado que el calentamiento observado a partir de la segunda mitad del siglo XX (en la Figura 3), ha sido causado por las emisiones de origen antropogénico (IPCC 2014).

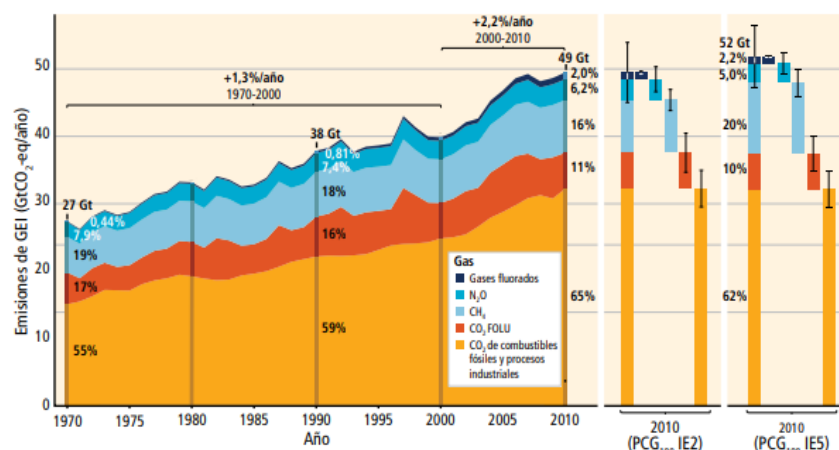


Figura 3. Evolución de las emisiones antropogénicas anuales totales de GEI según el tipo de gas entre 1970 y 2010. Fuente: IPCC (2014).

2.5.2. Efecto Invernadero

El efecto Invernadero es un mecanismo por el cual la atmósfera de la Tierra se calienta, y es un mecanismo que ha existido desde que la Tierra tiene atmósfera (hace unos 4.000 millones de años) y por tanto, es un mecanismo de gran importancia para lograr la habitabilidad del planeta (Caballero, Lozano y Ortega 2007).

La atmósfera terrestre es una delgada capa de gases que rodea nuestro planeta. Esta presenta una composición química de nitrógeno (79%), oxígeno (20%), y 1% formado por diversos gases, entre los que destacan el Argón (0.9%) y dióxido de carbono (0.03% aproximadamente) (Caballero, Lozano y Ortega 2007). Una de las formas de presentarse el oxígeno en la atmósfera es como ozono (O_3), el cual forma la capa de ozono en la estratosfera entre 10 a 40 km sobre el suelo. Esta capa es la encargada de proteger de la radiación ultravioleta tipo B (UV-B), que resultan biológicamente perjudiciales, absorbiendo el 99% de esta radiación (Sánchez Vega 2008).

La radiación solar rompe el enlace O-O del O_2 (oxígeno), estos átomos se combinan rápidamente para formar O_3 que genera la capa de ozono. De igual forma se realiza una reacción inversa que consume ozono para formar O y O_2 . En la estratosfera, en condiciones naturales, existe un balance entre las tasas de formación y de destrucción del ozono. Sin embargo, ciertos productos químicos de origen antropogénico, como el dióxido de carbono (CO_2), y algunos de origen biológico, han provocado reducciones en la cantidad de ozono en la atmósfera (Sánchez Vega 2008).

De la luz que emite el sol un 30% es reflejado hacia el espacio, la atmósfera retiene un 20% y el 50% llega hasta la superficie terrestre, calentándola. Al calentarse la superficie transforma la luz en radiación de baja energía y se emite a la atmósfera. Esta energía es absorbida de forma eficiente por los gases atmosféricos, como el CO_2 , siendo ésta la principal fuente de calor para la atmósfera (Caballero, Lozano y Ortega 2007). Esto es el efecto invernadero, tal como se observa en la Figura 4 se puede observar cómo al aumentar los niveles de carbono que aumenta la temperatura.

Los productos que generan el aumento de carbono en la atmósfera son los gases de efecto invernadero (GEI). Los principales GEI son denominados de larga duración, debido a su permanencia en la atmósfera son: vapor de agua (H_2O), metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O). Existen otros gases que contribuyen al calentamiento global y son los clorofluorocarbonados (CFC), los hidrofluorcarbonados (HFC), los perfluorcarbonados (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF_6) (Naciones Unidas 1998). Muchos de estos gases son de origen antropogénico, natural o de ambos.

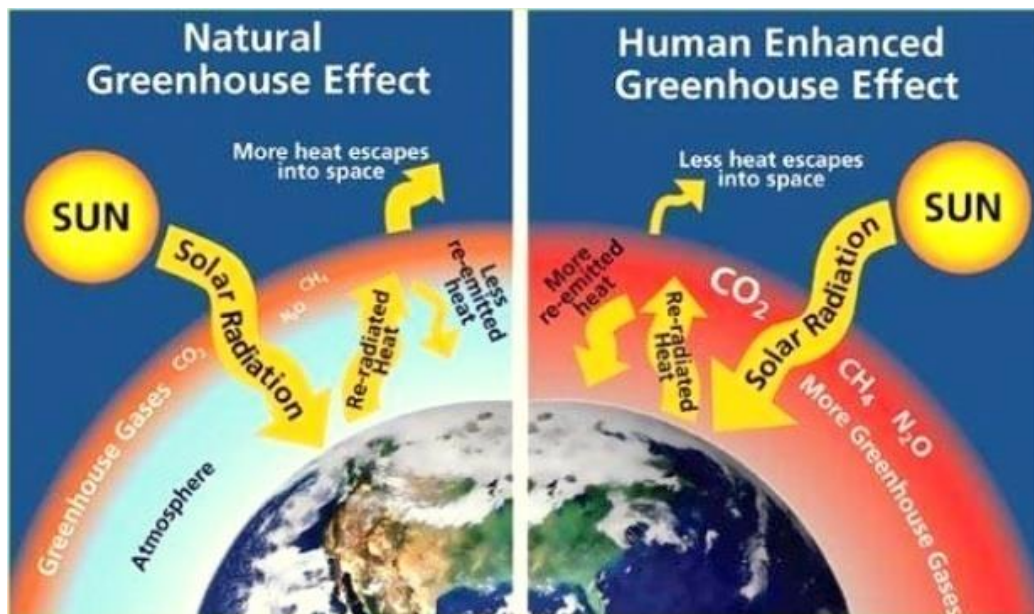


Figura 4. Efecto invernadero. Fuente: US National Park Service (2019).

2.5.3. El ciclo de carbono

El ciclo de carbono es un ciclo biogeoquímico por el cual el carbono se intercambia entre la biosfera, la litosfera, la hidrosfera y la atmósfera (Schlesinger 1995), estos cuatro sistemas forman los cuatro reservorios principales de carbono, y se encuentran interconectados con rutas de intercambio.

La Figura 5 elaborada por el Panel Intergubernamental de Expertos de Cambio Climático que se adjunta en el documento de Ciais et al. (2013), se representan los stocks de reservorio de carbono de flujo rápido de intercambio.

En esta ilustración se miden los volúmenes en gigatoneladas o petagramos de carbono, además de estos reservorios se encuentran los almacenes estables, que no se encuentran en la ilustración, son los reservorios que influyen en flujos lentos: emisiones volcánicas, la meteorización química y física de los carbonatos (rocas calizas y formación de sedimentos en los fondos marinos), estos reservorios representan un gran volumen con valores de decenas de millones de gigatoneladas.

El carbono es el componente más importante para la vida, siendo el 50% del peso seco de cualquier organismo vivo. En la atmósfera el carbono se encuentra en forma de CO₂ y en forma de metano, siendo los gases de efecto invernadero de mayor impacto en el cambio climático. En el agua se encuentran como compuestos carbónicos disueltos, en la biosfera forma el conjunto de carbohidratos que una vez termina su ciclo de vida se descomponen por la acción de microorganismos, que devuelven el carbono a la atmósfera y temporalmente al carbono orgánico del suelo o humus.

En la evolución de la Tierra, grandes cantidades de carbono orgánico (vegetal y animal) fueron estabilizadas sin la presencia de bacterias ni oxígeno dando lugar a las reservas de combustibles fósiles.

También, se destaca el reservorio de permafrost o suelo congelado, este carbono orgánico debido a las condiciones de temperatura es un reservorio que permanece estable. Estos reservorios son

vulnerables a la acción del clima, porque el aumento de temperatura hace que se vuelva inestable el carbono pudiendo emitirse a la atmósfera.

Ahora desarrollaremos los flujos del ciclo de carbono, primero se presenta el ciclo físico- químico donde el CO₂ de la atmósfera es absorbido en aguas frías oceánicas poco saturadas de CO₂ y desplazado hacia aguas calientes sobresaturadas de CO₂. Según los estudios del IPCC, los océanos serían emisores netos de 0,7 gigatoneladas de carbono al año.

En cuanto al ciclo biológico se captura carbono mediante la conocida fotosíntesis y se emite mediante la respiración y mediante el fuego de origen natural. Según el IPCC, en este ciclo se capturan 1,7 gigatoneladas de carbono al año.

Además de estos dos ciclos, se encuentran los intercambios producidos entre cada uno de estos, estos intercambios son los que previamente se han denominado de acción lenta como serían el vulcanismo que emiten 0,1 gigatoneladas de carbono al año, la gasificación en ríos y lagos del carbono previamente secuestrado emite 1gigatonelada de carbono al año, y la absorción por la formación de carbonatos 0,3 gigatoneladas de carbono.

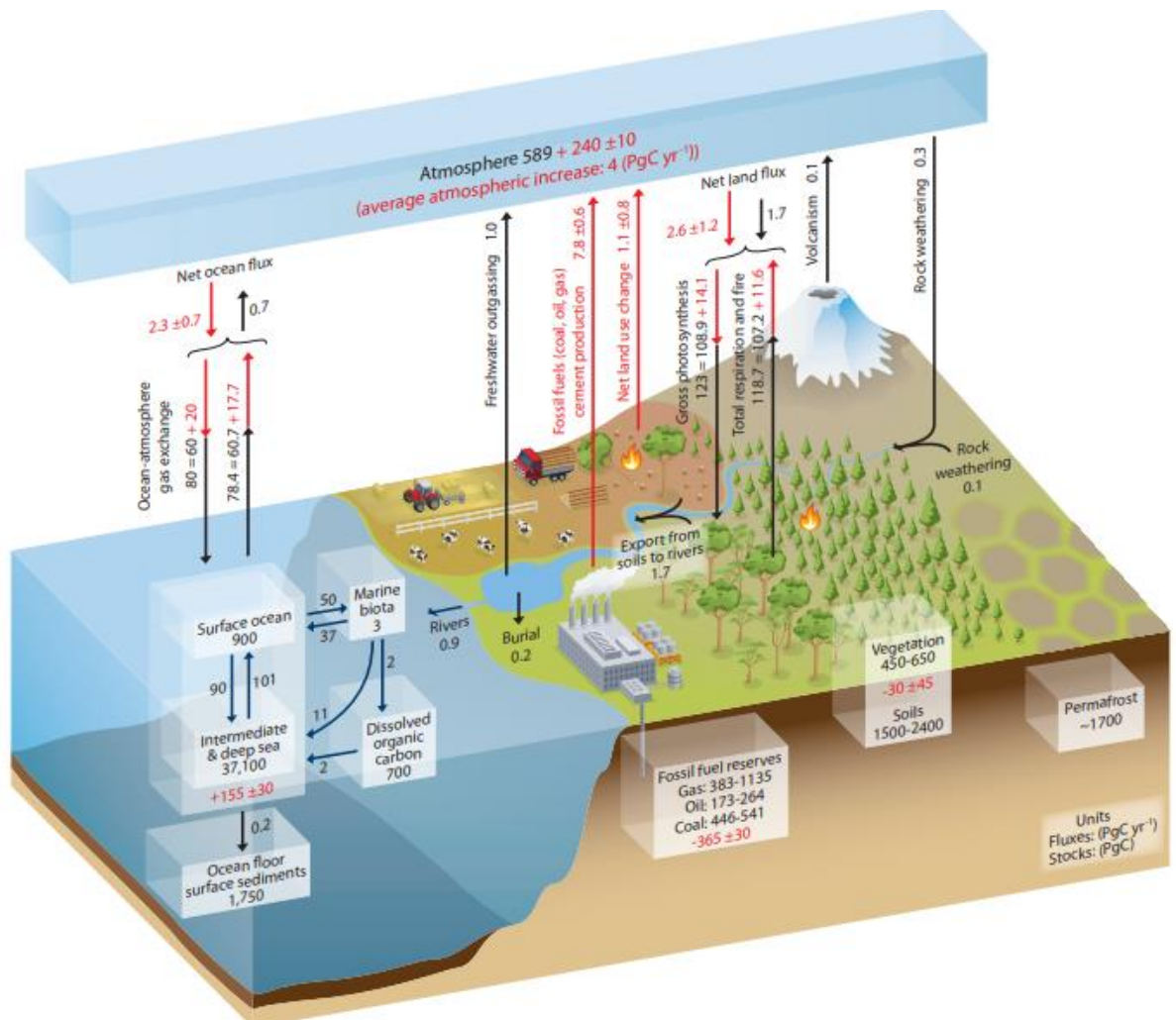


Figura 5. Esquema del ciclo de carbono con los volúmenes medidos en gigatoneladas o petagramos de carbono. Fuente: Ciais et al. (2013).

Los fenómenos previamente citados son los que suceden de forma natural, sin embargo, las actividades llevadas a cabo por el ser humano están modificando estos flujos naturales. En primer lugar, la quema de combustibles fósiles y la producción de cemento generan emisiones por el valor de 7,8 gigatoneladas de carbono. Por otro lado, el cambio de usos del suelo provocado por la deforestación en zonas tropicales está causando un incremento anual de 1,1 gigatoneladas de carbono.

Las acciones del ser humano están generando el aumento del CO₂ de la atmósfera. Este reservorio ha aumentado en un 40%, este aumento está siendo constante a razón de 4 gigatoneladas de carbono al año. Estos valores no resultan más elevados debido al que de forma coloquial se conoce como sumidero desconocido.

Este sumidero desconocido se ha llamado fertilización del CO₂ de la atmósfera está generando que los ciclos biológico y físico- químico capturen cantidades mayores de CO₂, debido a esto la atmósfera no se reflejan los efectos de las quemas de combustibles fósiles y la deforestación.

2.5.4. La huella de carbono

Actualmente, la huella de carbono resulta un indicador estratégico para medir el impacto ambiental. Esto resulta así porque es un parámetro que resulta medible, es decir, se puede medir cuánto se contamina. A partir de esta medición se pueden establecer metas y objetivos, y de esta forma plantear penalizaciones o premios por el coste ambiental de las actividades que se están realizando.

La huella de carbono es la suma de las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero (GEI) que son producidas por efecto directo e indirecto como consecuencia de una actividad según describe Álvarez Gallego et al. 2015, modificando la definición de Wiedmann y Minx 2008. Según esto existe la posibilidad que una actividad tenga una huella negativa, generando una acción positiva para el medio ambiente. Este hecho se conoce como contrahuella de carbono (Álvarez Gallego et al. 2015).

En la definición también se indica que las emisiones pueden ser producidas de forma directa e indirecta. Las emisiones directas son las derivadas del uso directo del elemento de estudio. Las indirectas son las emisiones de creación del producto y desecho de este. Las emisiones indirectas se pueden dividir en emisiones aguas arriba tipo de material y procedencia, el transporte, consumos en la elaboración del producto, etc., y emisiones aguas abajo, las emisiones de desecho del producto, donde va cuando se deja de emplear dicho elemento(Álvarez Gallego et al. 2015).

La huella de carbono puede ser cuantificada en cualquier tipo de actividad, eventos, productos, organizaciones, territorio, es decir, cualquier proceso en el que se puedan definir inventarios de entrada y salida. Esta cuantificación se puede realizar mediante dos procesos diferentes: enfoque “bottom up” o a producto que consiste en la cuantificación de los procesos uno a uno del ciclo de vida del producto con posterior agregación para calcular el total; y el enfoque “top down” o a organización trata de centrar el estudio en el sujeto de análisis y valorar qué inventarios de actividad registrados por la entidad de estudio(Álvarez Gallego et al. 2015).

2.5.5. La contrahuella de carbono

Las necesidades actuales para retrasar los efectos del cambio climático pasan por reducir las emisiones generadas por las actividades humanas a medio y largo plazo y a potenciar los

sumideros, es decir, a realizar actividades de contrahuella de carbono. La contrahuella de carbono son las actuaciones que se realizan para compensar las emisiones de dióxido de carbono previamente liberadas a la atmósfera.

El conjunto de actividades que contribuyen a estabilizar el clima a través de la retirada de dióxido de carbono en la atmósfera se les conoce como Tecnologías de emisiones negativas (negative emissions technologies o NETs). Son tecnologías basadas en metodologías de captura natural mediante la fotosíntesis o con ingeniería química. Según Minx et al. 2018 las NETs se pueden agrupar en siete categorías, que son las siguientes: forestación y reforestación; secuestro de carbono en el suelo; generación de bioenergía con captura y almacenamiento de carbono; generación de biochar y posterior aplicación como enmienda en suelos agrícolas; captura aérea directa; incremento de la meteorización y alcalinización oceánica; y fertilización oceánica. Estas categorías difieren como se puede observar en la Figura 6, en los medios de implementación y en el sistema de almacenaje.

Además de estas categorías se encuentran el carbono azul, que consiste en la absorción de carbono atmosférico a través del manejo de manglares, marismas y praderas marinas (Fourqurean et al. 2014), u opciones basadas en la retirada de otros gases de efecto invernadero distintos del dióxido de carbono.

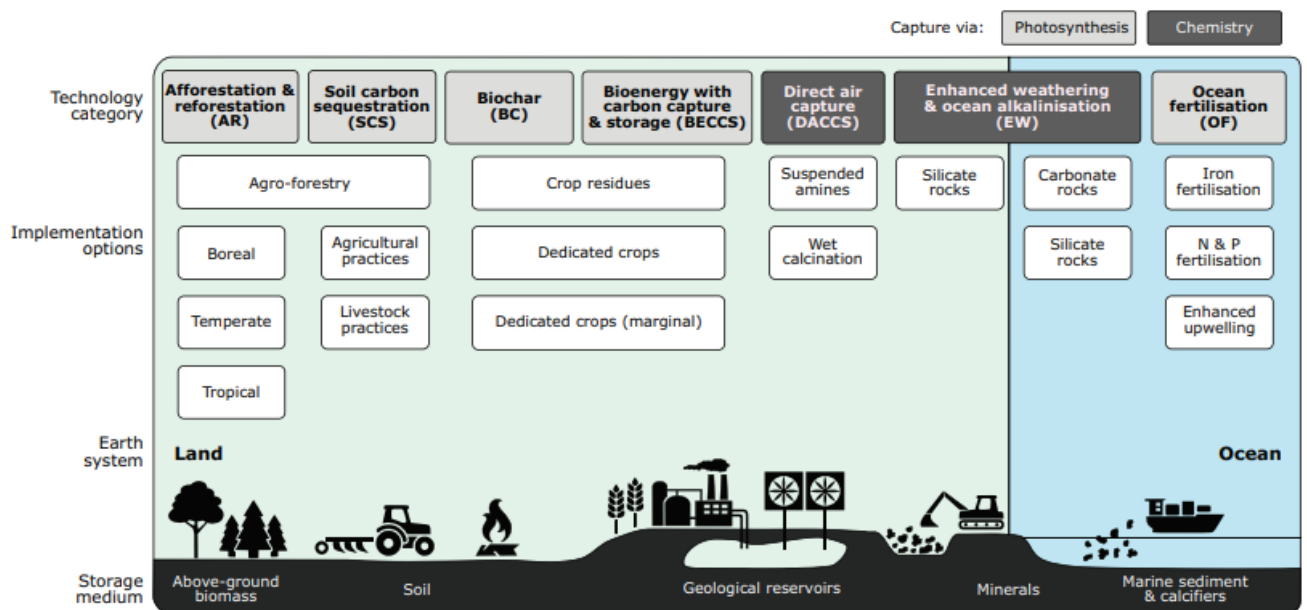


Figura 6. Tecnologías de emisiones negativas (NETs) agrupadas según las categorías tecnológicas, con las opciones de implementación, y el sistema de almacenaje del CO2. Fuente: Minx et al. (2018).

Las categorías según Minx et al. 2018, que se pueden implementar en los sistemas agroforestales son: forestación y reforestación, y el secuestro de carbono en el suelo. En estas se emplean como medio de almacenamiento la biomasa y el suelo, respectivamente.

En el caso que a nosotros nos ocupa es el almacenamiento en biomasa, donde se reduce el carbono atmosférico con el aprovechamiento de la fotosíntesis de las plantas, que lo transforma en oxígeno y carbohidratos que emplea como mantenimiento y crecimiento vegetal.

2.5.6. Cálculo de la contrahuella de carbono

La cuantificación del carbono atmosférico fijado en la biomasa es complicada, porque hay que tener en cuenta las diferentes partes del árbol, tanto la parte aérea o tronco y hojas, como la parte subterránea o raíces.

La biomasa radicular es la más difícil de cuantificar. Para poder incluir esta biomasa en los cálculos, se emplea el factor R que aporta un valor para estimar la biomasa radicular basado en la biomasa aérea. En los cálculos es preferente emplear los valores calculados a nivel nacional de Montero, Ruiz-peinado y Muñoz (2005), para aquellas especies sin factor R se emplean las directrices del IPCC (2006), tal como se puede ver en el cuadro 4.4 para los diferentes tipos de bosque (en la se puede observar un extracto del cuadro).

Tabla 4. Factor R, relación entre la biomasa subterránea y la biomasa aérea, para el dominio templado. Fuente elaboración propia, a partir de IPCC (2006).

Dominio	Zona ecológica	Biomasa aérea	R [ton raíz d.m. (ton d.m.) ⁻¹]	Referencias
Templado	- Bosque oceánico templado	Biomasa aérea de coníferas 50-150 ton ha ⁻¹	0,29 (0,24-0,50)	Mokany et al., 2006
	- Bosque continental templado	Biomasa aérea otras de hoja ancha 75-150 ton ha ⁻¹	0,23 (0,13-0,37)	
	- Sistemas montañosos templados			

Para proceder con el cálculo del carbono fijado en la biomasa existen diferentes metodologías, metodologías directa e indirecta.

La metodología directa o método destructivo consiste en la medición de los parámetros básicos del árbol, los más destacados serían: diámetro a la altura del pecho, altura total, diámetro de copa y longitud de copa; el derribo y el cálculo de la biomasa pesando cada uno de los componentes (fuste, ramas, raíces y follaje). Con esta metodología se obtienen valores de biomasa reales, y estos datos de biomasa son los empleados para generar los modelos alométricos (Ruiz-díaz et al. 2014).

La metodología indirecta consiste en el uso de modelos alométricos y tal como describe el Ministerio para la transición ecológica en 2019, en su guía para la estimación de absorciones de dióxido de carbono hay dos diferentes. Para saber que es un método alométrico hay que conocer el concepto de alometría, que es el estudio de patrones de crecimiento de los seres vivos y las proporciones de sus partes en relación con las dimensiones totales. Por tanto un modelo alométrico es una ecuación alométrica de biomasa, que es una herramienta matemática que permite conocer de forma simple, la cantidad de biomasa de un árbol por medio de la medición de otras variables de fácil obtención (Ruiz-díaz et al. 2014). Las metodologías indirectas son:

- Cálculo EX ANTE: cálculo en base a estimaciones del crecimiento de las especies para el periodo de permanencia del proyecto.
- Cálculo EX POST: calculo a partir de datos reales de la repoblación en un momento concreto.

2.5.6.1. Cálculo EX ANTE

Este cálculo se emplea para estimar las absorciones que puede generar un proyecto, con antelación a la realización de este, así se podrá conocer las absorciones que podrá ceder para compensar.

La dificultad que presenta esta metodología es debido a la gran heterogeneidad en cuanto al detalle de la información disponible. Se ha detectado abundante información sobre el crecimiento de algunas especies forestales españolas, pero otras especies carecen de información. Debido a la necesidad de facilitar una metodología de cálculo sencilla, homogénea para todas las especies forestales de España, se ha planteado la fórmula que se muestra a continuación para calcular las absorciones, según el método ex-ante (MITECO 2019).

$$AC_{CRECIMIENTO} = \Sigma[Vn_{CC} \times FC \times (FEB \times D) \times (1 + R)]$$

Donde:

Vn_{CC} = Volumen maderable para año "n" [$m^3 pie^{-1}$]

FC= Fracción de C en materia seca [$t Ct^{-1}m.s.$]

FEB X D= biomasa aérea t m.s. volumen maderable m^{-3} , con FEB= Factor de expansión de biomasa y D= Densidad básica de madera

R= Relación Raíz vástago, es decir, factor R previamente explicado.

2.5.6.2. Cálculo EX-POST

Los cálculos EX-POST se realizan en función de modelos que estiman el peso de la biomasa seca de los árboles según especies a partir de datos reales de la repoblación en un momento concreto (especies, diámetro y altura).

A continuación, se detalla la metodología EX-POST según Ministerio para la transición ecológica en 2019. Para esta metodología se plantea basarse en modelos que estiman el peso de la biomasa de los árboles para las distintas especies.

Una vez se ha determinado el peso de la biomasa seca a partir de estas ecuaciones, el peso del carbono fijado se calculará en función del valor de FC (Fracción de carbono contenido en la materia seca) que, de forma genérica, es de 0,5 kg C/kg m.s. (IPCC 2003). Por último, como se explicaba anteriormente, la conversión de C fijado a CO_2 , se realizará a partir de la relación de los pesos moleculares, es decir, multiplicando el valor del C fijado por 44/12.

Los modelos de estimación de biomasa se confeccionan a partir de datos obtenidos en campo mediante el apeo, desramado, pesado de fracciones de biomasa en campo, y la determinación de la materia seca en el laboratorio, y se estructuran de la siguiente manera:

- Variables explicadas: Peso seco de las distintas fracciones de biomasa del árbol.
- Variables independientes: Diámetro normal y altura total del árbol.
- Análisis estadístico: Ajuste de sistemas de ecuaciones mediante distintos procedimientos.

Como ejemplo, se presenta el modelo de obtención de biomasa que se presenta para el *Abies alba* en la reciente publicación de Gregorio Montero, Ricardo Ruíz- Peinado y Miren Muñoz, "Modelos de biomasa para estimar los stocks de carbono para coníferas y frondosas en España".

Fuste	$W_s=0,0189d^2h$
Ramas mayores de 2 cm \varnothing	$W_{b7}+W_{b27}=0,0584d^2$
Ramas menores de 2cm \varnothing + acículas	$W_{b2+n}=0,0371d^2+0,968h$
Raíces	$W_r=0,101d^2$
Biomasa total aérea	$W_t=\sum W_s+W_{b7}+W_{b27}+W_{b2+n}$

En las ecuaciones, d representa el diámetro y h la altura del pie (en este caso, de la especie *Abies alba*) para el que se desea calcular la biomasa total (suma de la biomasa aérea y la de las raíces). Estas dimensiones serán función de los años que tenga el ejemplar y deberán obtenerse a partir de inventarios realizados en campo.

A día de hoy, estos modelos de estimación de biomasa están disponibles sólo para algunas especies. Se ha realizado una revisión bibliográfica para conocer la mejor información disponible al respecto y, por el momento, se dispone de ecuaciones para un total de 28 especies forestales arbóreas cuyas fuentes se indican a continuación:

- *Modelos de biomasa para estimar los stocks de carbono para coníferas y frondosas en España* (CIFOR-INIA) de Ruiz-peinado, del Rio y Montero (2011 y 2012).

Abies alba

Pinus nigra

Abies pinsapo

Pinus pinaster

Alnus glutinosa

Pinus pinea

Castanea sativa

Pinus sylvestris

Ceratonia siliqua

Pinus uncinata

Eucalyptus globulus

Populus x euramericana

Fagus sylvatica

Quercus canariensis

Fraxinus angustifolia

Quercus faginea

Juniperus thurifera

Quercus ilex

Olea europaea

Quercus pyrenaica

Pinus canariensis

Quercus suber

Pinus halepensis

- Modelos dinámicos de crecimiento para rodales regulares de *Betula pubescens* Ehrh., y de *Quercus robur* L. en Galicia, (nº5), según Gómez-garcía (2013).

Betula ssp.

Quercus robur

- Temporal variations and distribution of carbon stocks in aboveground biomass of radiate pine and maritime pine pure stands under different silvicultural alternatives de Balboa-Murias, Miguel Ángel et al. (2006).

Pinus pinaster (atlántico)

Pinus radiata

- Carbon and nutrient stocks in mature *Quercus robur* L. stands in NW Spain según Balboa-Murias et al. (2006).

Quercus robur

- A management tool for estimating bioenergy production and carbon sequestration in *Eucalyptus globules* and *Eucalyptus nitens* grown as short rotation woody crops in north-west Spain de Pérez- Cruzado, Merino y Rodríguez- Soalleiro (2011).

Además, de poder estimarla contrahuella mediante las ecuaciones anteriormente calculadas se puede estimar mediante las tablas modulares de valores de biomasa de las distintas fracciones, que se encuentran en la monografía “Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles” de Montero, Ruiz-peinado y Muñoz (2005).

Según lo expuesto anteriormente, la información sobre los árboles para poder realizar el cálculo es la siguiente:

- Especies.
- Diámetro y altura de los pies.

2.6.LA SOSTENIBILIDAD EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

2.6.1. Introducción

Tras la aprobación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y con la necesidad de alcanzar sus metas en los próximos 15 años, las instituciones y administraciones públicas, sector privado, sociedad civil y ciudadanos, y las universidades se encuentran moralmente obligadas a contribuir a la tarea (UPM Sostenible 2018). Según esto, toda universidad, así como centro educativo, debe contribuir a un mundo más sostenible, reduciendo los impactos negativos de su actividad y servicios, y concienciar a sus estudiantes aportándoles valores para favorecer el cumplimiento de los ODS.

A pesar de ello, al contrario de otras universidades, la UPM no cuenta con un plan estratégico ni con una política de sostenibilidad. Aunque algunos centros han desarrollado iniciativas propias, la Universidad carece de directrices claras y de política de sostenibilidad.

Tal como se declara en el Plan de Sostenibilidad Ambiental de la UPM (UPM Sostenible 2018), la UPM no plantea una legislación específica que contemple los objetivos ambientales en la gestión y el gobierno de las universidades.

El Campus de Excelencia Internacional de Moncloa tiene como objetivo la responsabilidad social y la sostenibilidad que manifiestan el compromiso del Campus con aspectos de carácter social, medioambiental y económico. Para cumplir con esto se plantea la elaboración e implantación de un plan que defina y gestione la responsabilidad social y la sostenibilidad en el campus, acotando sus contenidos, sus instrumentos de aplicación y medida y los sistemas de seguimiento y de verificación externa e interna (Campus Moncloa 2019).

Desde 2011 se registra la información relacionada con el consumo de energía eléctrica, en media y baja tensión (8 centros con baja tensión y 33 con media tensión), gas (33 Centros con consumo de gas; para calefacción y/o para las cafeterías y laboratorios) y agua (boca y riegos como para incendios).

2.6.2. Iniciativas previas

2.6.2.1. Iniciativas y redes nacionales e internacionales

- *Red Española de Universidades Saludables (REUS)*, con 38 universidades españolas (donde no está la UPM), es una iniciativa a favor de la salud y el bienestar de los estudiantes, el personal y la sociedad en su conjunto, liderando y apoyando procesos de cambio social (REUS 2019).
- *Red Madrileña de Universidades Saludables (REMUS)* su objetivo es lograr entornos universitarios saludables, incluido el medio ambiente, físico y laboral. Para conseguir sus objetivos se basan en la actividad física, la alimentación, los trastornos del comportamiento alimentario, la atención al tabaquismo, al alcohol y otras drogas y al ocio y la salud.
- *Red Europea de Promoción de la Salud en el Trabajo (European Network for Work place Health Promotion)* nace en 1996 en el ámbito del marco del Programa de acción comunitario de promoción, información, educación y formación en materia de salud, como instrumento para favorecer el intercambio de información y difusión de unas prácticas, así como la cooperación tanto a nivel internacional (ENWHP 2019).
- *Exercise in Medicine (EIM)* es una iniciativa de salud global que pretende involucrar a la comunidad en la actividad física. La actividad física es necesaria en la prevención y el tratamiento de enfermedades y debe ser evaluada regularmente y “tratada” como parte de todo el cuidado de la salud (Exercise is Medicine 2019).
- La *Comisión Sectorial CRUE-Sostenibilidad* se constituyó en 2009 para recopilar su experiencia en materia de gestión ambiental, los avances en la ambientalización de la comunidad universitaria y el trabajo en prevención de riesgos, así como fomentar la cooperación para el intercambio de experiencias y el fomento de buenas prácticas. La UPM no está presente en su Comité Ejecutivo (CRUE 2019).
- *UI Green Metric World University Ranking*, el objetivo del ranking es proporcionar el resultado de una encuesta en línea sobre la situación actual y las políticas relacionadas con el Campus Verde y la Sostenibilidad en las universidades de todo el mundo. La UPM no participa de este (UI GreenMetric 2019).

- *International Sustainable Campus Network (ISCN)* o Red Internacional de Campus Sostenibles tiene como misión proporcionar un foro global para apoyar a los principales colegios, universidades y campus corporativos en el intercambio de información, ideas y mejores prácticas para lograr operaciones sostenibles en el campus e integrar la sostenibilidad en investigación y enseñanza (ISCN 2019).

2.6.2.2. *Proyectos e iniciativas de la UPM*

A continuación, se citan los proyectos de la UPM que se encuentran en marcha:

- Proyecto **“Ciudad del Futuro”** (“City of the Future”) se creó en 2014 con la necesidad de potenciar la educación, la investigación y las actividades de desarrollo e innovación en el campo de las Ciencias de la Ciudad (“City Sciences”). Presenta las siguientes líneas de investigación: Data Analytics and Communications, Smart Urbanism, Smart Cities, Mobility and Transport Networks, Services and Spaces, y Energy and Sustainability (UPM 2019a).
- En 2010, nace el proyecto **Huella de Carbono Montes-UPM**(Huella de Carbono Montes-UPM 2019). Dentro de esta iniciativa se comenzó a cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) según la norma ISO 14064 en el año 2011, con lo que se registró la Huella de Carbono en la Oficina Española de Cambio Climático, consiguiendo el sello “Calculo”, y en el año 2014 se obtuvo el sello “Calculo- Reduzco”, ambos sellos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural (ETSIMFMN).La misma norma se empleó en 2013 para calcular la huella de carbono en la UPM, resultando ser la primera institución pública en obtener el sello “Calculo”.
- **Plan de Movilidad Sostenible de la Ciudad Universitaria de Madrid:** Convenio CAM e IDAE (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio), para el desarrollo e implantación de las actuaciones del Plan de Acción de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en el ámbito de la Comunidad de Madrid (PAE+).
- **Observatorio de la Movilidad Metropolitana** (OMM 2010) es una iniciativa que pretende reflejar la contribución del transporte público a la mejora de la calidad de vida y del desarrollo sostenible en las ciudades. Esta iniciativa se evalúa desde TRANSyT (Centro de Investigación del Transporte de la UPM).
- **Observatorio de Sostenibilidad**(Observatorio Sostenibilidad 2019), se encuentra vinculado a la ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural.
- **Estudio la “Huella Ecológica”** de 2013 de la ETSI de Ingeniería y Diseño industrial, tiene como finalidad realizar un diagnóstico ambiental de la Escuela que proporcionara una idea del impacto asociado a sus edificios (construcción y consumos), a la movilidad de los alumnos y del personal, y la actividad profesional de sus titulados.
- Documento de **Responsabilidad Social Corporativa de la ETSI Industriales de la UPM**, su publicación es bienal y está basada en la metodología Global Reporting Initiative (GRI). GRI establece la metodología de evaluación del progreso y la rendición de cuentas con los grupos de interés.
- La **Biblioteca Ciudades para un Futuro más Sostenible**(Biblioteca CF+S 2017),la biblioteca se encarga de reunir documentación de todo tipo de acciones y experiencias en las ciudades y en el territorio que mejoren las condiciones de vida de personas, dentro de un criterio de sostenibilidad en su sentido más fuerte; y ofrecer artículos, informes y

reflexiones teóricas sobre el estado de las ciudades y sobre las alternativas que se plantean.

- El **Boletín CF+S**, actualmente hay 56 números, y se encuentran accesibles en la página Grupo de Investigación en Arquitectura, Urbanismo y Sostenibilidad (2015), en el cual se han publicado números como “El agua y la Ciudad” o el “Plan Hidrológico Nacional”.
- **Iniciativa para una Arquitectura y un Urbanismo Sostenible**, uno de los objetivos es la creación de un Instituto de Sostenibilidad, que recoja toda la experiencia productiva, investigadora y documental de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (ETSAM 2006).
- El **itdUPM** es un centro interdisciplinar de la Universidad Politécnica de Madrid que integra investigadores, profesores y estudiantes para abordar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (itd UPM 2019).
- Desde 2013 investigadores de la ETSI de Telecomunicación de la UPM y del CIEMAT trabajan en una plataforma para reducir el coste de la energía utilizada en los edificios.
- En la ETSI Telecomunicación de la UPM se realizan mediciones de dosimetría ambiental debido a su cercanía con el CIEMAT.
- Proyecto **EDINSOST** (Educación e innovación social para la sostenibilidad) cuyo objetivo es la formación de titulados capaces de liderar la resolución de retos de nuestra sociedad mediante la integración de la formación en competencias en sostenibilidad en el sistema universitario español.
- Proyecto **Airport 2050** de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio, cuyo objetivo es proponer soluciones radicales en el diseño de nuevos aeropuertos con mejoras en medio ambiente y sostenibilidad ambiental.
- La Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio pertenece a la Red de excelencia en sostenibilidad en transporte aéreo, entre la FAA (Federal Aviation Administration) y universidades internacionales, también trabaja en la Sostenibilidad en diseño y construcción de edificios de utilización aeroportuaria, y se realizan Tesis doctorales en proceso.
- **CAMINOS sin plásticos** es una iniciativa en la ETSI Caminos, Canales y Puertos de la UPM que tiene como meta la sensibilización social de los problemas ambientales derivados del consumo irracional de los plásticos de un solo uso y su reducción drástica en la Escuela. Esta iniciativa se está desarrollando esta iniciativa en la ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural, MONTES sin plásticos.
- Proyecto **“Responsables, Sostenibles, Universitarios”** nace en 2013 en la ETSI Montes, con la finalidad de transformar la Escuela en una organización sostenible. Este proyecto pretende continuar con la línea comenzada con el cálculo de la huella de carbono, y así proceder con el indicador de sostenibilidad Huella Hídrica y desarrollar un plan de acción para implementar la Responsabilidad Social Universitaria según los criterios establecidos en la Norma ISO 26000 de la Responsabilidad Social (ETSI Montes 2019).
- **Campus Sostenible ReS²+U** (Responsables, Sostenibles, Universitarios), esta iniciativa se explica a continuación.

2.6.2.3. *Campus Sostenible ReS²+U*

Esta iniciativa nace en 2018 (Avilés Palacios et al. 2019), con la colaboración de UPM- Banco Santander para generar una Universidad Politécnica de Madrid responsable, sostenible y más universitaria, buscando contribuir al cumplimiento de los ODS.

Para cumplir con los ODS, se trata de integrar los componentes sociales, tecnológicos y medioambientales. Para poder actuar se agrupan los ODS en cuatro líneas: Educación para la transformación (ODS 4, 5, 9, 10, 12); Energía y medio ambiente (ODS 6, 7, 9, 11, 13, 14, 15); Innovación y Desarrollo (ODS 1, 2, 3, 8, 9, 16) y Alianza multiactor (ODS 17).

Además de contribuir al cumplimiento de los ODS, el Campus Sostenible ReS²+U tiene como objetivo contribuir al Plan de Sostenibilidad Ambiental de la UPM (2018-2019) como demostrador de buenas prácticas y punto de referencia de evidencias científicas para la toma de decisiones y aplicaciones a políticas públicas. Las líneas recogidas en esta propuesta son:

- Línea 1. Aprobar y aplicar normativas sostenibles.
- Línea 2. Mejorar la eco- eficiencia en la gestión de la Universidad
- Línea 3. Urbanismo, ordenación y gestión del medio y patrimonio urbanos de la UPM.
- Línea 4. Movilidad sostenible.
- Línea 5. Concienciación y sensibilidad ambiental de la comunidad universitaria de la UPM.
- Línea 6. Sostenibilidad ambiental como objeto de estudio en los programas académicos, la investigación y transferencia de conocimiento de la UPM. A través del área de Docencia ReS²+U
- Línea 7. Presencia de la UPM y Proyección en innovación tecnológica para el desarrollo humano.
- Línea 8. Campus saludable. A través del área de Movilización ReS²+U.

En este proyecto se engloban algunas de las iniciativas previamente descritas. A continuación, se describen los objetivos que se pretenden obtener con la convocatoria de Campus Sostenible:

- Monitorización (M). Busca la obtención de datos medio ambientales que permitan la toma de decisiones.
- Naturación (N). Pretende poner en valor los espacios naturales existentes en el Campus Moncloa y calcular los beneficios que proporcionan en términos de secuestro de carbono, ahorro energético, confort higrotérmico, captura y filtración de contaminantes.
- Eficiencia Energética (EE). Persigue avanzar en el estudio del potencial solar de las cubiertas de los edificios del Campus Moncloa de la UPM. El análisis comprenderá las peculiaridades estructurales y de soleamiento de los edificios y se analizará la cobertura de la demanda eléctrica de cada edificio a partir de la generación local de las instalaciones de autoconsumo.
- Movilización (Mv). Busca movilizar a la comunidad universitaria para hacerla más sostenible y social. También se incluyen actividades de reducción de plásticos de un solo uso dentro de la universidad.
- Docencia (D). Se plantea introducir la sostenibilidad en los planes de estudios de la universidad.
- Comunicación- visibilización. Persigue mejorar la comunicación de resultados y visibilización de situaciones en los medios.

- Coordinación. Persigue la coordinación de la complejidad de este proyecto para aunar iniciativas, identificar y agregar las que no se encuentran en Campus Sostenible ReS²+U.

2.6.2.3.1. Proyectos de la iniciativa Campus ReS²+U

A continuación, se citan los proyectos que este año forman parte de la iniciativa:

- TFG: Potencial fotovoltaico del campus de Moncloa de la Universidad Politécnica de Madrid y viabilidad económica de las instalaciones.
- TFM: Autoconsumo fotovoltaico y gestión de la demanda en el Campus de Moncloa de la Universidad Politécnica de Madrid.
- TFG: Huella ambiental de la ETSI de Montes, Forestal y del Medio Natural (2018).
- TFG: Diseño de una micro-red para abastecer puntos de recarga de vehículos de movilidad personal (VMP) y vehículos eléctricos para promover la movilidad sostenible dentro de la UPM.
- TFG: Diseño de una estación de un punto de recarga para coches eléctricos en la ETSI Minas y Energía de la Universidad Politécnica de Madrid.
- TFG: Cálculo de la huella de Carbono del 2018 y 2019 de la Universidad Politécnica de Madrid.
- TFG: Indicadores de Sostenibilidad en la Universidad: Huella hídrica y gestión de recursos hídricos en la UPM (2018).
- TFM: Inventario, tipificación y bases para la ordenación de zonas verdes de la Universidad Politécnica de Madrid para la cuantificación de la Contrahuella de Carbono. (El presente proyecto).

2.6.2.3.2. Proyectos previos

A continuación, se encuentran los proyectos con materia común a este proyecto:

- TFG: Arboreto de Montes: Cálculo y gestión de las absorciones de las emisiones de gases de efecto invernadero de David Díaz Caja, con Sonia Roig Gómez, Rafael Escribano Bombín y Ana Rodríguez Olalla como tutores, del año 2015.
- TFM: Indicadores de sostenibilidad en la Universidad. Cuantificación de la Huella de Carbono de la UPM (2014-2017) de Jonathan Paul Ortiz Cando, con Agustín Rubio Sánchez y Ana Rodríguez Olalla como tutores. Año 2018.

3. OBJETIVOS

El presente proyecto enmarcado dentro de la iniciativa Campus RES²+U pretende conseguir inventariar el arbolado de la Universidad Politécnica de Madrid y estimar la contrahuella de carbono asimilada por el arbolado. Los objetivos generales y específicos se encuentran enumerados a continuación.

Los objetivos generales del proyecto son:

- Estudiar la sostenibilidad del bosque urbano en el entorno de la Universidad Politécnica de Madrid.
- Plantear un modelo de gestión para mejorar la sostenibilidad.

El proyecto está enmarcado en la obtención de los siguientes objetivos específicos:

- Realizar un inventario del arbolado de la Universidad Politécnica de Madrid.
- Estimar los sumideros arbóreos de carbono en los terrenos de dicha universidad.
- Estudiar los servicios ecosistémicos asociados a las infraestructuras verdes que ofrecen los diferentes campus de la universidad.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1.METODOLOGÍA

El proyecto consiste en la realización de un inventario de las zonas verdes de la Universidad Politécnica de Madrid para poder estimar la contrahuella de carbono.

El proyecto se divide en las siguientes fases:

- Estudio de las características más relevantes de la UPM.
- Recopilación de datos de cartografía de la UPM y síntesis de la información en una capa georreferenciada.
- Inventario de arbolado de la UPM.
- Cálculo del carbono fijado por pie (contrahuella de carbono).
- Análisis de los datos.

4.2.LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Para conocer las características de las zonas de estudio, se procede a realizar una investigación de las zonas que se encuentran bajo la supervisión de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

Para ello, se revisan diferentes fuentes, se realizan consultas directas tanto a la UPM, como al delegado del rector para urbanismo, sostenibilidad y movilidad intercampus de la UPM (el arquitecto Agustín Hernández Aja (UPM 2019)), y al consorcio UPM-UCM.

En dicha consulta se pretende conseguir información de los límites correspondientes a la UPM, así como cualquier información que pueda proporcionar. Al Consorcio UPM-UCM se le solicitó la información correspondiente a las zonas verdes del campus Ciudad Universitaria. Para completar la información, se investigan las páginas web de las escuelas y campus asociados a la misma.

La finalidad de esta investigación es conocer las zonas de estudio, su historia, su evolución, su vegetación, y demás información necesaria, para evaluar las posibilidades de la vegetación, sus características, etc.

4.3.CARTOGRAFÍA

Para delimitar las zonas de estudio se toma como base la documentación cartográfica aportada por el delegado del rector para urbanismo, sostenibilidad y movilidad intercampus de la UPM (Agustín Hernández Aja), a partir de la cual se realiza una cartografía digital de los límites de ciudad universitaria.

Para estimar los límites de las otras zonas de la UPM, se procede con la siguiente metodología. Para comenzar, se emplea la información que se ha recopilado previamente para estimar la situación de las zonas. Conociendo esta estimación y con la capa WMS de catastro (<http://ovc.catastro.meh.es/Cartografia/WMS/ServidorWMS.aspx>) se delimitan los límites de las parcelas que se conoce pertenecen a la UPM, debido a la presencia de un edificio de la Universidad Politécnica de Madrid en los límites de la parcela, con ayuda de un sistema de información geográfica (SIG). La representación de los límites se realizará a una escala de 1:500 m para poder tener una precisión suficiente para estimar si un árbol pertenece o no a los límites, sobre una capa shapefile de GIS.

Para obtener los límites se realizan los siguientes pasos:

1. Se añade la capa wms de catastro en ArcGIS, mediante Add Data>GIS Servers>Add WMS Servers>En la URL se copia y pega el wms de catastro y se pulsa Get Layers y Ok
2. Se crea una capa con ArcCatalog en la carpeta elegida para guardar el archivo>New shapefile>nombre "Límites">Feature type: polygon> Ok
3. Editor>Start editing>Create features, y con esto se dibujan las diferentes parcelas en la capa.

Una vez tenemos los límites de la UPM, se procederá a realizar el inventario de arbolado urbano de los terrenos delimitados.

Finalmente, una vez realizado el inventario, se vuelven a representar los límites tras el reconocimiento de campo, en el cual se puede estimar los límites a partir de los vallados y de la información comunicada en campo por parte de jardineros, bedeles y administrativos de cada uno de los centros.

4.4.INVENTARIO

La evaluación del arbolado se realiza de diferentes formas según corresponda para cada uno de los diferentes Campus evaluados. La metodología de inventario varía según las características del terreno y la disponibilidad de información previa.

Las diferentes metodologías empleadas en el inventario son:

- Revisión de inventarios previos.
- Inventario pie a pie.
- Inventario a través de sensores remotos.

Una vez evaluada la geografía de las diferentes zonas se elige la metodología a emplear: las zonas extensas de vegetación se evalúan mediante inventario a través de sensores remotos; y las zonas reducidas se inventariarán mediante revisión de inventarios previos y en caso de no obtener la información, mediante inventario pie a pie.

4.4.1. Revisión de inventarios previos

Para comenzar, se realiza un estudio de las diferentes zonas de bosque urbano de la UPM. En este estudio se evalúa la información disponible de las diferentes escuelas referente al arbolado. Se evalúa la existencia de inventarios, catálogos de especies arbóreas, etc. con la finalidad de obtener un inventario de arbolado lo más actualizado posible.

Para realizar la revisión de inventarios de arbolado se procede a ponerse en contacto con el arquitecto de la UPM, el cual indicó que cada escuela es la encargada de los temas de arbolado de su territorio y comunicó la existencia de un consorcio (Consortio UPM-UCM) en el cual se tratan temas de arbolado conjunto de Ciudad Universitaria.

Conociendo esto se procede a contactar tanto con el consorcio, como con los encargados del Arboreto de Montes y de la pradera de la ETSI Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas, para que informen acerca de los datos y la información de que disponen para proceder con la recopilación de datos.

Cuando se han obtenido los datos de los inventarios previamente realizados se debe procesar la información para obtener los datos de especie, diámetro y altura de cada pie. Tras analizar los datos se retiran los pies cuya información no sea completa.

A pesar de que transcurridos los años hay que tener en cuenta el crecimiento de los pies, debido a que no se tienen tarifas de crecimiento para las masas forestales urbanas, se toma la decisión de no estimar el crecimiento. Además, habría que tener en cuenta los pies retirados durante este periodo de tiempo (por ejemplo, los chopos retirados en el arboreto de la ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural), que dado que no se conocen su situación no se podrían eliminar de la estimación de contrahuella de carbono. Se concluye que el factor de crecimiento sería en cierta medida compensado por biomasa extraída durante la gestión.

4.4.2. Inventario pie a pie

Las zonas correspondientes a zonas de reducidas dimensiones situadas en terrenos del Campus Madrid Centro, así como los Campus de Ciudad Universitaria y Campus Sur que carecen de inventario previo se inventarían pie a pie. Para ello, se miden diámetros y alturas de cada pie, así como una identificación de las especies y la geolocalización con sistemas de información geográfica.

En el inventario se toman medidas de todos los pies de más de 7,5 cm de diámetro, y más de 1 metro de altura, a los cuales se puede acceder, es decir, aquellos arboles a los cuales no se puede aproximar para la medición de diámetro y/o altura dependiendo de la situación.

La identificación de especies y la representación con sistemas de información geográficas se desarrollan a continuación. Y posteriormente la metodología de medición de alturas y diámetro.

4.4.2.1. Identificación de especies

La identificación de especies se realiza mediante los conocimientos previos de botánica adquiridos a lo largo del grado y del máster, con ayuda de la Guía de reconocimiento de plantas (Morla Juaristi, Gómez Manzaneque y Maldonado Ruíz 2004), y en caso de con estos medios no identificar la especie, se emplean las aplicaciones móviles: Arbolapp y PlantNet Figura 7.



Figura 7. Iconos de las aplicaciones Arbolapp y PlantNet.

4.4.2.2. TreePlotter

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

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

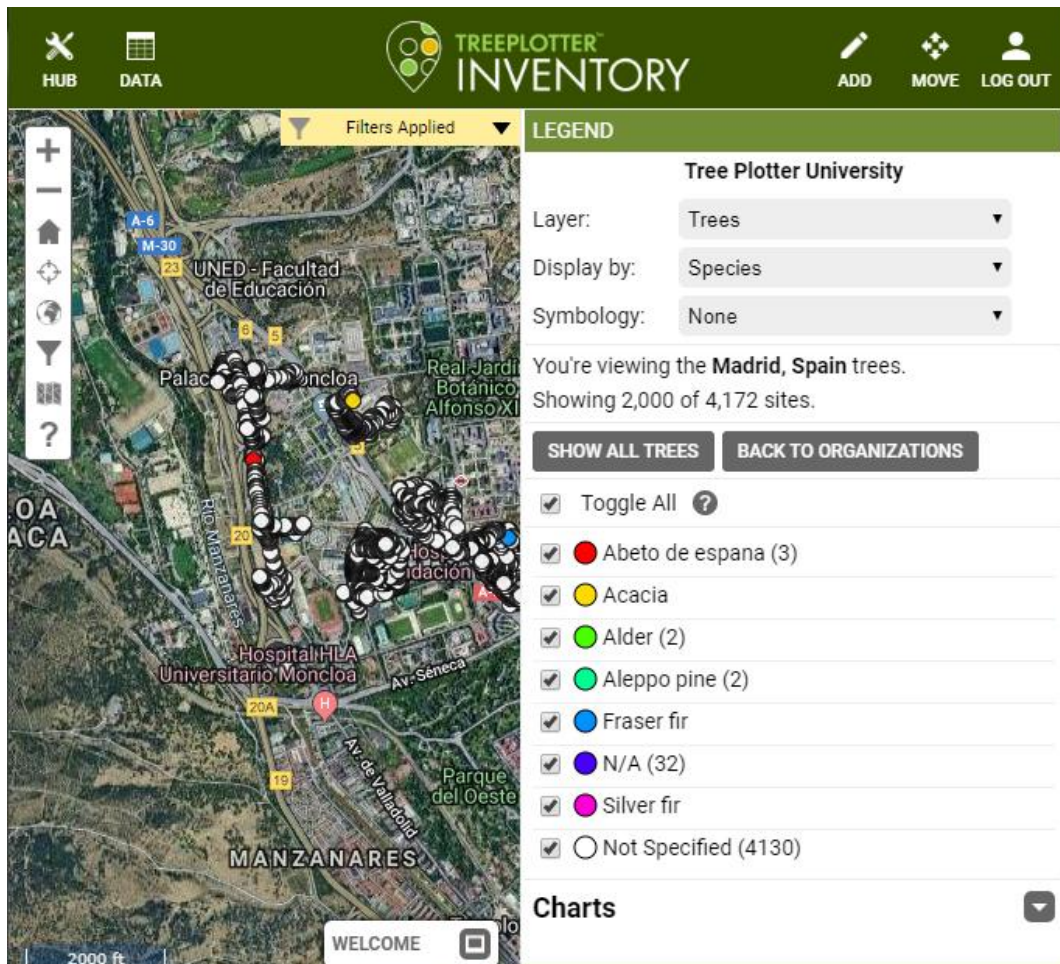


Figura 8. Interfaz de TreePlotter.

4.4.2.3. Medición a altura y diámetro

La medición de alturas y diámetros se realiza a partir de un DendroFlexómetro. El DendroFlexómetro es un instrumento que sirve para medir las principales variables de un árbol y de una masa forestal. Combina en un único instrumento (flexómetro convencional) distintas técnicas clásicas de medición forestal (muestreo angular, stick de Biltmore, regla de Christen), posibilita que las mediciones la pueda realizar un único operario y es económico (Föra 2019).

A continuación, se explica la metodología específica para la medición de altura y diámetros empleados, según (CESEFOR 2013). Pero primero se muestra en la Figura 9 las escalas de medida que se mencionan posteriormente.

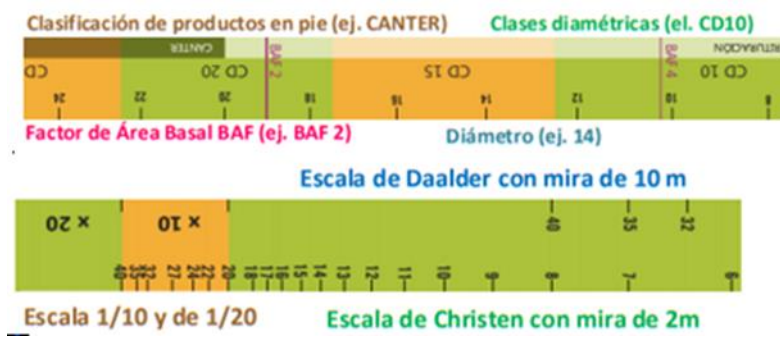


Figura 9. Imagen que representa las escalas del DendroFlexómetro. A la izquierda se muestra el haz de la cinta (diámetros), y a la derecha el envés (alturas). Fuente: Föra (2019).

La precisión para este elemento se encuentra descrito en la página web de Föra, en comparación con otros instrumentos de medición forestales, basándose en la variable a medir y en los factores precio, precisión, compacidad y robustez, y rapidez de medición (en la Figura 10 se muestra la tabla de Föra).

Variable	Aparato	Precio	Precisión	Compacidad	Rapidez
Diámetro	Criterion RD1000	6	8	5	6
	Forcípula Tradicional	8	10	8	7
	Forcípula electrónica	5	10	8	9
	DendroFlexómetro©	10	9	10	8
Altura	Blume Leiss	8	4	5	5
	Suunto	8	4	8	3
	Vertex III	6	8	8	7
	DendroFlexómetro©	10	4	8	5
Área basimétrica	Criterion RD1000	6	7	5	8
	Relascopio	6	7	7	8
	Kramer	9	6	10	8
	DendroFlexómetro©	10	6	10	8

Figura 10. Comparación entre los aparatos más utilizados en inventariación forestal. Fuente: Föra (2019).

4.4.2.3.1. Medición de altura con escala Christen

Para obtener la medida de la altura para árboles menores de 12 m (para árboles mayores resulta imprecisa), se siguen los siguientes pasos (Figura 11):

1. Se selecciona el árbol a medir.
2. Se replantea sobre el tronco del árbol un segmento de 2 m.
3. Alejarse del árbol hasta una distancia en la que sea cómodamente visible la base y altura.
4. Se sitúa la escala Christen delante del ojo y paralela al eje del árbol.
5. Se ajusta el árbol dentro de los límites de la regla.
6. Se lanza una visual al extremo superior del segmento de referencia.
7. Se lee el valor, esta es la altura del árbol en metros.

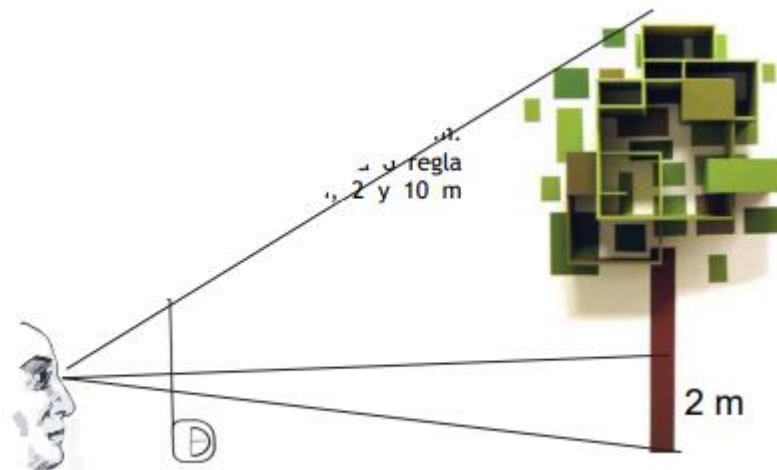


Figura 11. Medición de altura con escala Christen. Fuente: CESEFOR (2013)

4.4.2.3.2. Medición de altura con escala de Daalder

Para obtener la altura de árboles de más de 12 m, se sigue el siguiente procedimiento:

1. Se selecciona el árbol a medir.
2. Se replantea sobre el tronco del árbol un segmento de 2 m (Figura 2.1 de la Figura 12).
3. Alejarse del árbol hasta una distancia en la que sea cómodamente visible la base y altura.
4. Situarse la escala Daalder delante del ojo y paralela al eje del árbol.
5. Ajustar la referencia de 2 metros sobre el árbol con la marca de 10 m en la regla.
6. En este momento se puede observar en que parte del árbol se alcanzan los 10 m de referencia.
7. Ahora se utiliza la escala de los 10 m.
8. Se sitúa la escala delante del ojo y paralela al eje del árbol.
9. Ajustar el árbol dentro de los límites de la regla (Figura 2.3 de la Figura 12).
10. Lanzar una visual al extremo superior del segmento de referencia.
11. Leer el valor, esta será la altura del árbol.

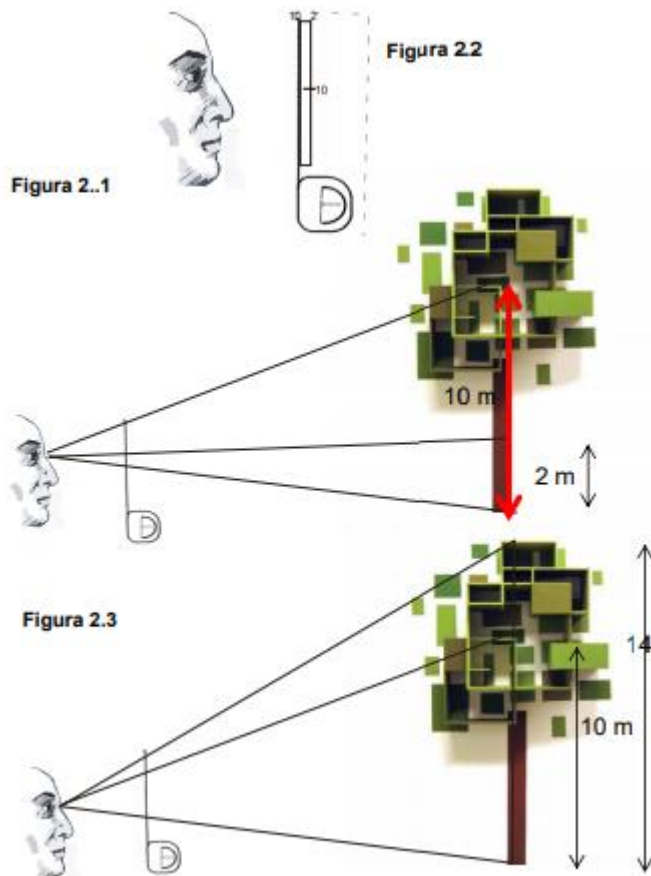


Figura 12. Medición de la altura con la escala de Daalder. Fuente: CESEFOR (2013).

4.4.2.3.3. Medición del diámetro con la escala Biltmore

La escala Biltmore nos permite medir diámetros (generalmente a 1,30 m) y se clasifica dentro de un intervalo o clase diamétrica. El proceso es el siguiente (Figura 13):

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

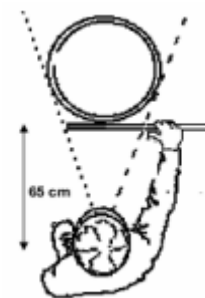


Figura 13. Ilustración de la metodología de evaluación del diámetro. Fuente: CESEFOR (2013).

4.4.3. Inventario a través de sensores remotos


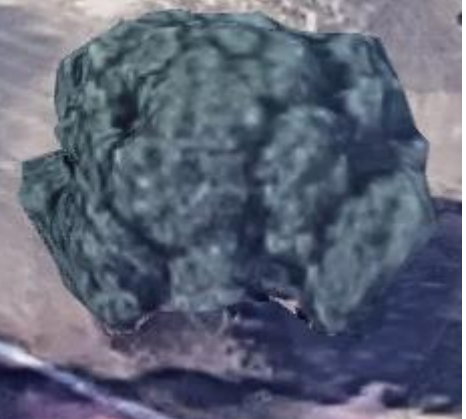




Las zonas de terreno extensas se inventarían mediante sensores remotos, a través de información LiDAR. Este inventario se realiza en tres fases: representación de los árboles, descarga y procesado de datos LiDAR y estimación de diámetros con IFN.

4.4.3.1. Representación de los árboles

Para comenzar, se procede a representar gráficamente mediante una capa SIG la ubicación de los árboles, y en la medida de lo posible la especie de la que se trata. Para crear esta capa de información se utiliza la ortofoto más actualizada, a través del wms (<http://www.ign.es/wms-inspire/pnoa-ma>). La estimación de la especie se realiza evaluando la forma, el color y el tamaño de la copa, esta estimación facilita el posterior trabajo de cálculo de huella de carbono. Según las características mencionadas se muestran a continuación las referencias tomadas en la Tabla 7. Además de la información de copas se emplean las imágenes de Street View de Google Maps.

Con esta información se va introduciendo uno a uno los árboles en una capa nueva creada en la carpeta de almacenamiento del proyecto. Esta capa se crea con ArcCatalog, mediante New shapefile>nombre "Inventario_montegancedo">Feature type: point> Ok

Tabla 5. Referencias entre las copas de los árboles y las especies seleccionadas en la zona.

Especie	Forma, color y tamaño de la copa (planta)	Forma, color y tamaño de la copa (perfil)
1. <i>Quercus ilex</i>		
2. <i>Pinus pinea</i>		
3. <i>Populus alba</i>		

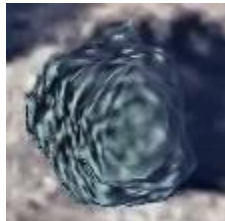
4. *Ulmus* ssp.



5. *Olea europaea*



6. *Cupressus arizonica*



7. *Cedrus* ssp.



8. *Cupressus sempervirens*



Una vez se han dispuesto los árboles con los sistemas de información geográficos, se procede a definir las coordenadas de los árboles, para ello, se emplea la herramienta Add XY coordinates de ArcGIS (Figura 14).

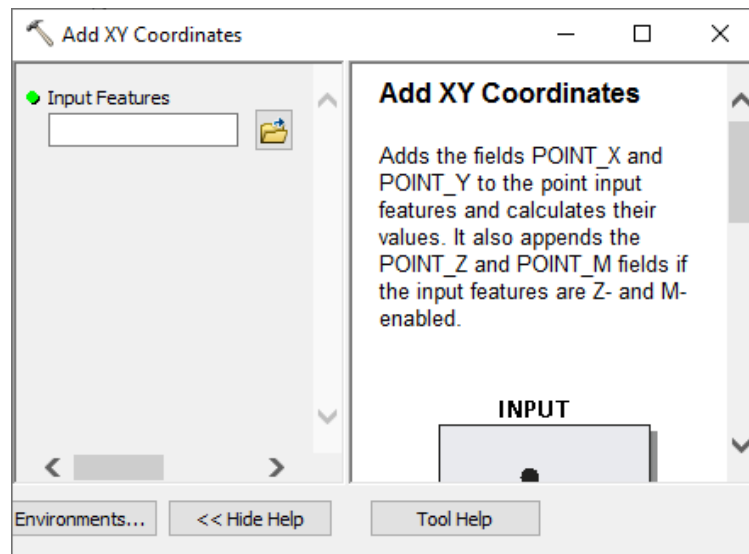


Figura 14. Interfaz de la herramienta Add XY coordinates de ArcGIS.

4.4.3.2. Descarga y procesamiento de los datos LiDAR

Por otro lado, se procede a descargar y procesar la información LiDAR más actualizada en formato RGB, disponible en la página web de CNIG (Centro Nacional de Información Geográfica), se descarga la información correspondiente a la hoja cartográfica 0559, en la cual se encuentra el Campus Montegancedo. Dentro de esta hoja se eligen los archivos citados a continuación, que son los archivos más actualizados de CNIG para LiDAR dentro de esta zona:

- PNOA_2016_MAD_428-4473_ORT-CLA-RGB.laz
- PNOA_2016_MAD_428-4473_ORT-CLA-RGB.laz
- PNOA_2016_MAD_428-4474_ORT-CLA-RGB.laz
- PNOA_2016_MAD_428-4475_ORT-CLA-RGB.laz
- PNOA_2016_MAD_429-4472_ORT-CLA-RGB.laz
- PNOA_2016_MAD_429-4473_ORT-CLA-RGB.laz
- PNOA_2016_MAD_429-4474_ORT-CLA-RGB.laz
- PNOA_2016_MAD_429-4475_ORT-CLA-RGB.laz
- PNOA_2016_MAD_430-4472_ORT-CLA-RGB.laz
- PNOA_2016_MAD_430-4473_ORT-CLA-RGB.laz
- PNOA_2016_MAD_430-4474_ORT-CLA-RGB.laz
- PNOA_2016_MAD_430-4475_ORT-CLA-RGB.laz
- PNOA_2016_MAD_431-4472_ORT-CLA-RGB.laz
- PNOA_2016_MAD_431-4473_ORT-CLA-RGB.laz
- PNOA_2016_MAD_431-4474_ORT-CLA-RGB.laz

Cuando se han descargado los archivos que se encuentran en formato .laz, se procede a descomprimir los archivos y convertirlos en .las, para poder manejar sus datos en ArcGIS. Para realizar este proceso se emplea la herramienta de conversión laz to las.

Cuando tenemos los archivos en .las se crea una carpeta de LAS, otra de LAZ y otra de MDE, en la carpeta del proyecto. Dentro de la carpeta LAZ se introducen los archivos .laz descargados, en la carpeta .las se incluyen los archivos descomprimidos y un archivo .txt. Este archivo .txt se nombran en cada fila la ubicación de los archivos .las, junto con su nombre, tal como se muestra a continuación, para uno de los archivos .las:

- C:\Users\Aroha\Desktop\fusion\LAS\PNOA_2016_MAD_431-4474_ORT-CLA-RGB.las

Para rellenar la carpeta MDE, se emplea el programa "Fusion", en esta carpeta se pretende obtener dos capas GIS, una con el mapa de elevaciones (MDE) y otra con el mapa de suelo (MDS). Este programa se activa en los comandos de la consola del ordenador, buscando CMD en el buscador de Windows. Una vez abiertos los comandos, se escribe la siguiente secuencia, para activar el programa: cd..>Intro>cd..>Intro>cd fusión>Intro. Con el programa abierto, se escriben los comandos mencionados a continuación, en orden, cuando cada uno de los comandos se haya terminado de ejecutar:

1. Grid Surface Create /class:2 C:\Users\Aroha\Desktop\fusion\MDE\MDE.dtm 1 m m 1 0 0 0 C:\Users\Aroha\Desktop\fusion\LAS\LAS.txt
2. Canopy model C:\Users\Aroha\Desktop\fusion\MDE\MDS.dtm 2 m m 1 0 0 0 C:\Users\Aroha\Desktop\fusion\LAS\LAS.txt
3. dtm2ascii C:\Users\Aroha\Desktop\fusion\MDE\MDE.dtm C:\Users\Aroha\Desktop\fusion\MDE\MDE.asc
4. dtm2ascii C:\Users\Aroha\Desktop\fusion\MDE\MDS.dtm C:\Users\Aroha\Desktop\fusion\MDE\MDS.asc

Una vez ejecutados estos comandos, se muestra en la carpeta MDE las dos capas en formato ascii de MDE y MDS.

Finalmente, para obtener el mapa de altura de vegetación (MDHV) se introducen las capas MDE y MDS en el programa ArcGIS, y se ejecuta la función Raster Calculator, con el comando MDS-MDE (Figura 15).

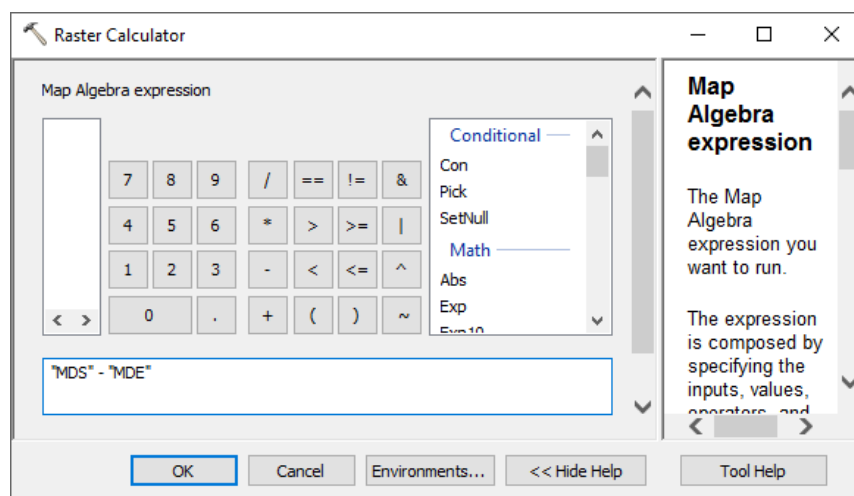


Figura 15. Interfaz de la herramienta Raster Calculator de ArcGIS.

4.4.3.3. Estimación de alturas y diámetros

Tras llevar a cabo los dos pasos previos, se procede a estimar las alturas y los diámetros de los pies. Primero se estiman las alturas y a partir de esta información se estiman los diámetros.

4.4.3.3.1. Estimación de las alturas

Para conocer las alturas se emplean la capa de árboles (“Inventario_montegancedo”) y la capa de mapa de alturas de la vegetación (“MDHV”). En ArcGIS se cargan ambas capas y se ejecuta la herramienta “Extract values to point” (Figura 16).

En esta herramienta se introducen los siguientes items:

- Input point features: capa de árboles
- Input raster: mapa de Alturas de la vegetación
- Output point features: capa de árboles+ alturas

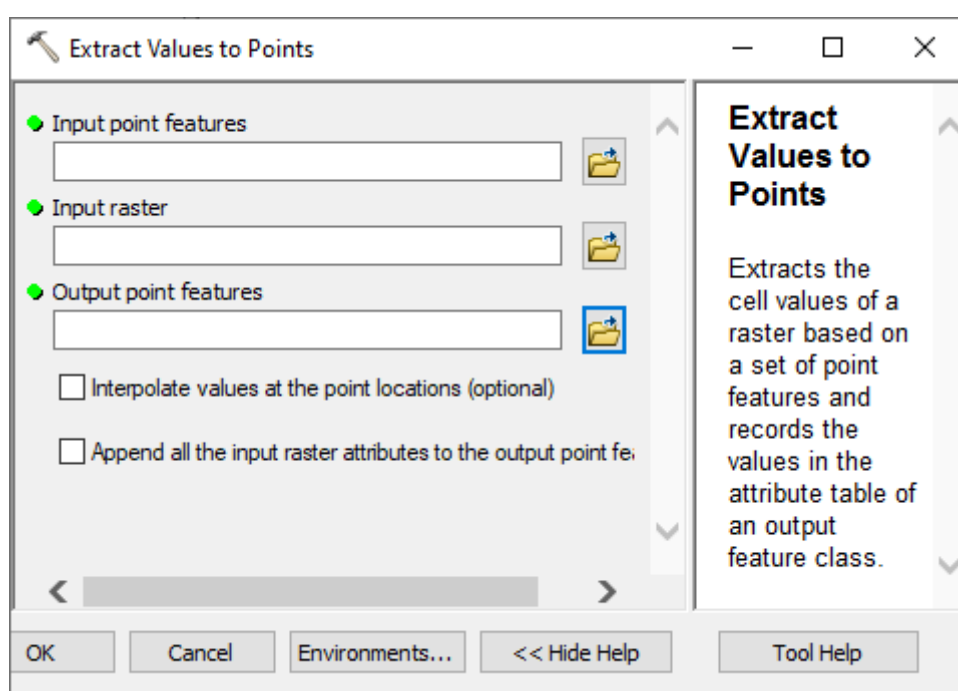


Figura 16. Interfaz de la herramienta Extract Values to Points de ArcGIS.

4.4.3.3.2. Estimación de los diámetros con el IFN

Para estimar los diámetros de los diferentes pies inventariados mediante sensores remotos, se procede a emplear los datos del tercer inventario forestal nacional (IFN3), de la Comunidad de Madrid.

Para comenzar se descargan los archivos del IFN3 del Ministerio para la Transición Ecológica, de su página: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/ifn3_base_datos_26_50.aspx, se descargan los archivos correspondientes a ifn3p28 (IFN3 para la Comunidad de Madrid). Una vez descomprimido el archivo, se abre el archivo .mdb de nombre igual al del archivo del ministerio, se copia la base de datos nombrada como PCMayores, y se pegan los datos en un archivo de Excel.

En el Excel se copian en diferentes hojas los datos de diámetro (dn_1 y dn_2) y altura, para cada una de las especies de las cuales se ha tomado la localización según las copas. Las especies en el IFN se nombran según determinados códigos, en nuestro caso se emplean los siguientes (Tabla 6):

Tabla 6. Códigos seleccionados del Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3).

Especie	Código IFN
<i>Quercus ilex</i>	45
<i>Pinus pinea</i>	23
<i>Populus alba</i>	51
<i>Ulmus sp.</i>	56 (<i>Ulmus minor</i>), 256 (<i>Ulmus glabra</i>), 356 (<i>Ulmus pumila</i>)
<i>Olea europea</i>	66
<i>Cupressus arizonica</i>	236
<i>Cedrus sp.</i>	17 (<i>Cedrus atlantica</i>), 217 (<i>Cedrus deodara</i>), 317 (<i>Cedrus libani</i>)
<i>Cupressus sempervirens</i>	36

En nuestro caso de estudio al no estimar la especie concreta para el caso del olmo y el cedro, se emplean todas las posibles especies consideradas en el IFN3.

Una vez se tienen los datos seleccionados, se calcula el diámetro medio:

$$dn = \frac{dn_1 + dn_2}{2}$$

Con el diámetro y la altura, se representa un gráfico de dispersión con una línea de tendencia o modelo de regresión (exponencial, lineal, logarítmica, polinómica o potencial), aquella que menor error presente, mayor coeficiente de determinación (R^2). Salvo para los casos en los cuales la fórmula da diámetros negativos. En el caso en que los datos de arbolado del IFN3 no sean suficientes para proporcionar un modelo de regresión, se tomarán los datos de diámetros y alturas del inventario pie a pie. Además, se exceptuarán de la representación aquellos datos que en diámetro o altura presenten valores 0.

Finalmente, se emplean los modelos de regresión estimados para estimar los diámetros de nuestros pies.

4.4.4. Síntesis

A partir de la información del inventario se crea un archivo .xlsx en el cual se incorporen los datos de inventario del arbolado urbano. En este archivo se incluyen los datos de coordenadas, especie, altura, diámetro, estado (vivo- muerto), campus, instalaciones, fecha y tipo de inventario.

4.5. CÁLCULO DE LA CONTRAHUELLA DE CARBONO

Para cuantificar la contrahuella de carbono de la UPM, se procede con la metodología para el cálculo de la Contrahuella de Carbono EX POST establecida en la Guía para la estimación de absorciones de dióxido de carbono, publicada por el Ministerio para la transición ecológica 2019.

4.5.1. Metodología de cálculo

Según lo explicado en el apartado de Introducción Cálculo de la contrahuella de carbono, para la cuantificación de la contrahuella se necesitan los parámetros: diámetro, altura y especie de cada pie de la masa.

A partir de dicha información y con las ecuaciones existentes se plantea la elección de los siguientes modelos, debido a las necesidades de las especies inventariadas. Las ecuaciones de *Pinus radiata* y *Eucalyptus nitens* no se emplean por la ausencia de ejemplares de estas especies en el inventario. Para el cálculo de la contrahuella de carbono de la especie *Pinus pinaster* se emplea la fórmula de Ruiz-peinado, del Rio y Montero (2011), formulada para un pinar de Guadalajara, no la de Balboa- Murias, Miguel Ángel et al. (2006), porque esta es para pinares del noroeste de España.

En cuanto a los modelos empleados para los cálculos serán los detallados en la Tabla 7:

Tabla 7. Modelos de cálculo de la contrahuella de carbono empleados en el presente proyecto.

Especie	Tipo de Biomasa	Fórmula	MRES	RMSE	EF	
1. <i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	Fuste	B_f	$0,0191*d^2*h$	6,01	56,40	0,87
	Ramas gruesas y medianas	$B_{r7}+B_{r2-7}$	$0,0512*d^2$	0,76	22,33	0,78
	Ramillas y hojas	B_{r2+h}	$0,0567*d*h$	0,35	6,69	0,72
	Raíces	B_s	$0,214*d^2$	11,63	58,89	0,92
2. <i>Castanea saliva</i> Mill.	Fuste	B_f	$0,0142*d^2*h$	12,14	39,29	0,91
	Ramas gruesas	B_{r7}	$[0,223*(d-12,5)^2]*Z$ Si $d \leq 12,5$ cm $Z=0$; Si $d > 12,5$ cm $Z=1$	1,90	27,31	0,92
	Ramas medianas	B_{r2-7}	$0,230*d*h$	4,16	36,54	0,63
	Ramillas	B_{r2}	$0,221*d*h$	4,11	26,48	0,70
	Raíces	B_s	$0,0211*d^{2,804}$	21,36	99,45	0,97
3. <i>Ceratonia siliqua</i> L.	Fuste	B_f	$0,142*d^{1,974}$	0,43	9,41	0,97
	Ramas gruesas	B_{r7}	$0,104*d^2$	-0,44	28,91	0,77
	Ramas medianas	B_{r2-7}	$0,0538*d^2$	-0,19	11,61	0,75
	Ramillas y hojas	B_{r2+h}	$0,151*d^2-0,00740*d^2*h$	0,33	12,88	0,76
	Raíces	B_s	$0,335*d^2$	48,84	10,41	0,97
4. <i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	Fuste y ramas gruesas	$B_f+ B_{r7}$	$0,0221*d^2*h$	-2,90	69,70	0,97
	Ramas medianas	B_{r2-7}	$0,154*d^{1,668}$	-0,83	14,23	0,86
	Ramillas y hojas	B_{r2+h}	$0,180*(d^2*h)^{0,587}$	-0,32	17,14	0,83

5. <i>Fagus sylvatica</i> L.	Fuste	B _f	$0,0676*d^2+0,0182*d^2*h$	- 14,50	157,05	0,94
	Ramas gruesas	B _{r7}	$[0,830*(d-22,5)^2-0,0248*(d-22,5)^2*h]*Z$ Si $d \leq 22,5$ cm Z=0; Si $d > 22,5$ cm Z=1	12,14	100,79	0,65
	Ramas medianas	B _{r2-7}	$0,0792*d^2$	2,97	47,83	0,83
	Ramillas	B _{r2}	$0,0930*d^2-0,00226*d^2*h$	0,28	24,88	0,80
	Raíces	B _s	$0,106*d^2$	68,21	193,32	0,63
6. <i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl.	Fuste	B _f	$0,0296*d^2*h$	6,19	37,57	0,93
	Ramas gruesas	B _{r7}	$[0,231*(d-12,5)^2]*Z$ Si $d \leq 12,5$ cm Z=0; Si $d > 12,5$ cm Z=1	1,91	26,61	0,92
	Ramas medianas	B _{r2-7}	$0,0925*d^2$	1,67	15,79	0,94
	Ramillas	B _{r2}	$2,005*d$	4,81	24,33	0,55
	Raíces	B _s	$0,359*d^2$	23,79	198,70	0,81
7. <i>Olea europea</i> L. var. <i>sylvestris</i>	Fuste	B _f	$0,0114*d^2*h$	4,40	18,10	0,82
	Ramas gruesas	B _{r7}	$0,0108*d^2*h$	3,02	20,70	0,84
	Ramas medianas	B _{r2-7}	$1,672*d$	0,25	17,58	0,54
	Ramillas y hojas	B _{r2+h}	$0,0354*d^2+1,187*h$	1,37	12,72	0,65
	Raíces	B _s	$0,147*d^2$	3,21	23,81	0,93
8. <i>Populus x euramericana</i> (Dobe) Guinier	Fuste	B _f	$0,0130*d^2*h$	0,72	16,44	0,99
	Ramas gruesas	B _{r7}	$[0,538*(d-22,5)^2-0,0130*(d-22,5)^2*h]*Z$ Si $d \leq 22,5$ cm Z=0; Si $d > 22,5$ cm Z=1	2,96	24,23	0,83
	Ramas medianas	B _{r2-7}	$0,0385*d^2$	1,32	19,96	0,77
	Ramillas	B _{r2}	$0,0774*d^2-0,00198*d^2*h$	2,79	19,40	0,66
	Raíces	B _s	$0,122*d^2$	1,39	44,80	0,82
9. <i>Quercus canariensis</i> Wild.	Fuste	B _f	$0,0126*d^2*h$	-2,49	61,86	0,82
	Ramas gruesas	B _{r7}	$0,103*d^2$	26,72	100,06	0,54
	Ramas medianas+ Ramillas + Hojas	B _{r2-7+} B _{r2+h}	$0,167*d*h$	24,77	35,30	0,63
	Raíces	B _s	$0,135*d^2$	10,69	96,76	0,79
10. <i>Quercus faginea</i> Lam.	Fuste	B _f	$0,154*d^2$	1,08	20,98	0,93
	Ramas gruesas	B _{r7}	$0,0861*d^2$	-7,67	32,84	0,76
	Ramas medianas	B _{r2-7}	$0,127*d^2-0,00598*d^2*h$	-4,21	11,04	0,89

	Ramillas y hojas	B_{r2+h}	$0,0726*d^2-0,00275*d^2*h$	-0,09	9,53	0,80
	Raíces	B_s	$0,169*d^2$	-3,20	59,61	0,86
11. <i>Quercus ilex</i> L.	Fuste	B_f	$0,143*d^2$	1,18	47,18	0,92
	Ramas gruesas	B_{r7}	$[0,0684*(d-12,5)^2*h]*Z$ Si $d \leq 12,5$ cm $Z=0$; Si $d > 12,5$ cm $Z=1$	48,21	288,70	0,80
	Ramas medianas	B_{r2-7}	$0,0898*d^2$	9,87	96,46	0,50
	Ramillas y hojas	B_{r2+h}	$0,0824*d^2$	8,31	67,35	0,70
	Raíces	B_s	$0,254*d^2$	- 15,86	351,04	0,66
	12. <i>Quercus pyrenaica</i> Wild.	Fuste y ramas gruesas	$B_f+ B_{r7}$	$0,0261*d^2*h$	18,21	26,90
Ramas medianas		B_{r2-7}	$-0,0260*d^2+0,536*h$ $+0,00538*d^2*h$	-0,41	8,60	0,78
Ramillas		B_{r2}	$0,898*d-0,445*h$	-0,23	3,24	0,71
Raíces		B_s	$0,143*d^2$	-1,21	76,08	0,90
13. <i>Quercus suber</i> L.	Fuste	B_f	$0,00525*d^2*h+0,278*d*h$	11,60	66,87	0,88
	Ramas gruesas	B_{r7}	$0,0135*d^2*h$	38,08	110,76	0,87
	Ramas medianas	B_{r2-7}	$0,127*d*h$	6,56	26,47	0,61
	Ramillas y hojas	B_{r2+h}	$0,0463*d*h$	1,13	8,55	0,68
	Raíces	B_s	$0,0829*d^2$	-0,04	35,39	0,95
14. <i>Abies alba</i> Mill.	Fuste	B_f	$0,0189*d^2*h$	19,24	73,27	0,97
	Ramas $d > 2$ cm	$B_{r7}+B_{r27}$	$0,0584*d^2$	2,62	37,42	0,75
	Ramas $d < 2$ cm + acículas	B_{r2+a}	$0,0371*d^2+0,968*h$	3,12	21,64	0,77
	Raíces	B_s	$0,101*d^2$	1,98	121,79	0,89
15. <i>Abies pinsapo</i> Boiss	Fuste	B_f	$0,00960*d^2*h$	- 10,09	36,82	0,85
	Ramas gruesas	B_{r7}	$[1,637*(d-32,5)^2-$ $0,0719*(d-32,5)^2*h]*Z$ Si $d \leq 32,5$ cm $Z=0$; Si $d > 32,5$ cm $Z=1$	6,23	15,32	0,69
	Ramas medias	B_{r2-7}	$0,00344*d^2*h$	2,25	23,84	0,70
	Ramillas y acículas	B_{r2+a}	$0,131*d*h$	-0,17	25,30	0,47
16. <i>Juniperus thurifera</i> L.	Fuste	B_f	$0,0132*d^2*h+0,217*d*h$	-1,96	14,34	0,98
	Ramas gruesas	B_{r7}	$[0,107*(d-22,5)^2]*Z$ Si $d \leq 22,5$ cm $Z=0$ Si $d > 22,5$ cm $Z=1$	2,37	8,87	0,82

	Ramas medianas	B_{r2-7}	$0,00792*d^2*h$	0,41	11,90	0,92
	Ramillas y acículas	B_{r2+a}	$0,273*d*h$	3,03	16,59	0,79
	Raíces	B_s	$0,0767*d^2$	-0,82	24,97	0,69
17. Pinus canariensis Sweet ex Spreng.	Fuste	B_f	$0,0249*(d^2*h)^{0,975}$	2,39	51,84	0,98
	Ramas gruesas	B_{r7}	$[0,634*(d-32,5)^2]*Z$ Si $d \leq 32,5$ cm $Z=0$ Si $d > 32,5$ cm $Z=1$	16,85	30,09	0,79
	Ramas medianas	B_{r2-7}	$0,00162*d^2*h$	2,44	20,93	0,71
	Ramillas y acículas	B_{r2+a}	$0,0844*d^2-0,0731*h^2$	2,12	28,02	0,77
	Raíces	B_s	$0,155*d^2$	-2,02	54,27	0,89
		Fuste	B_f	$0,0139*d^2*h$	-4,13	21,43
18. Pinus halepensis Mill.	Ramas gruesas	B_{r7}	$[3,926*(d-27,5)]*Z$ Si $d \leq 27,5$ cm $Z=0$ Si $d > 27,5$ cm $Z=1$	1,54	14,75	0,61
	Ramas medianas	B_{r2-7}	$4,257+0,00506*d^2*h-0,0722*d*h$	-0,19	7,54	0,91
	Ramillas y acículas	B_{r2+a}	$6,197+0,00932*d^2*h-0,0686*d*h$	-1,14	13,79	0,93
	Raíces	B_s	$0,0785*d^2$	0,40	23,46	0,87
		Fuste	B_f	$0,0403*d^{1,838}*h^{0,945}$	-2,73	71,13
19. Pinus nigra Arn.	Ramas gruesas	B_{r7}	$[0,228*(d-32,5)^2]*Z$ Si $d \leq 32,5$ cm $Z=0$ Si $d > 32,5$ cm $Z=1$	18,89	25,33	0,85
	Ramas medianas	B_{r2-7}	$0,0521*d^2$	-1,31	31,48	0,89
	Ramillas y acículas	B_{r2+a}	$0,0720*d^2$	-1,44	26,86	0,95
	Raíces	B_s	$0,0189*d^{2,445}$	0,80	30,14	0,98
		Fuste	B_f	$0,0278*d^{2,115}*h^{0,618}$	-0,42	14,47
20. Pinus pinaster Ait.	Ramas $d > 2$ cm	$B_{r7}+B_{r27}$	$0,000381*d^{3,141}$	0,21	7,04	0,89
	Ramas $d < 2$ cm + acículas	B_{r2+a}	$0,0129*d^{2,320}$	-0,03	7,67	0,89
	Raíces	B_s	$0,00444*d^{2,804}$	-6,65	20,29	0,99
		Fuste	B_f	$0,0224*d^{1,923}*h^{1,0193}$	-6,70	36,76
21. Pinus pinea L.	Ramas gruesas	B_{r7}	$[0,247*(d-22,5)^2]*Z$ Si $d \leq 22,5$ cm $Z=0$ Si $d > 22,5$ cm $Z=1$	8,76	46,17	0,86
	Ramas medianas	B_{r2-7}	$0,0525*d^2$	2,88	29,46	0,80
	Ramillas y acículas	B_{r2+a}	$21,927+0,0707*d^2-2,827*h$	1,95	19,65	0,90
	Raíces	B_s	$0,117*d^2$	1,38	14,86	0,98
		Fuste	B_f	$0,0154*d^2*h$	2,23	34,01

22. <i>Pinus sylvestris</i> L.	Ramas gruesas	B_{r7}	$[0,540*(d-37,5)^2 - 0,0119*(d-37,5)^2*h]*Z$ Si $d \leq 37,5$ cm $Z=0$ Si $d > 37,5$ Z=1	0,14	12,63	0,86
	Ramas medianas	B_{r2-7}	$0,0295*d^{2,742}*h^{-0,899}$	-0,24	10,83	0,87
	Ramillas y acículas	B_{r2+a}	$0,530*d^{2,199}*h^{-1,153}$	0,73	11,41	0,87
	Raíces	B_s	$0,130*d^2$	1,55	110,17	0,98
23. <i>Pinus uncinata</i> Mill.	Fuste	B_f	$0,0203*d^2*h$	7,56	70,81	0,90
	Ramas gruesas y medianas	$B_{r7+B_{r2-7}}$	$0,0379*d^2$	1,41	15,86	0,64
	Ramillas y acículas	B_{r2+a}	$2,740*d - 2,641*h$	1,27	14,86	0,66
	Raíces	B_s	$0,193*d^2$	8,17	81,86	0,68
24. <i>Betula pubescens</i> Ehrh.	Fuste	B_f	$0,01792*d^{2,396}*h^{0,6126}$		21,00	0,964
	Ramas medianas	B_{r2-7}	$0,06712*d^{1,993}$		6,90	0,851
	Ramillas	B_{r2}	$0,02475*d^{2,346}$		3,70	0,906
	Hojas	B_h	$0,001042*d^{2h}$		0,90	0,903
25. <i>Quercus robur</i> L.	Fuste	B_f	$0,008004*d^{2,313}*h^{1,015}$		121	0,977
	Ramas medianas	B_{r2-7}	$0,003261*d^2*h$		29,9	0,885
	Ramillas	B_{r2}	$0,07345*d^{1,668}$		8,9	0,838
	Hojas	B_h	$0,01369*d^2$		2,5	0,778

Donde: B_f = Peso de la biomasa de fuste (kg); B_{r7} =Peso de la biomasa de las ramas gruesas (diámetro mayor de 7 cm) (kg); B_{r2-7} =Peso de la biomasa de las ramas medias (diámetro entre 2 y 7 cm) (kg); B_{r2} = Peso de la biomasa de las ramillas (diámetro menor de 2 cm)(kg); B_{r2+a} = Peso de la biomasa de las ramillas (diámetro menor de 2 cm) con acículas(kg); B_{r2+h} =Peso de la biomasa de las ramillas (diámetro menor de 2 cm) con hojas(kg); B_h = Peso de la biomasa de las hojas; B_s = Peso de la biomasa radical (kg); d = Diámetro normal (cm); h = Altura del árbol (m); MRES= Residuo medio; RMSE= Raíz del error cuadrático medio; EF= Eficiencia del modelo.

4.5.2. Correspondencia Modelo-Especie

El principal problema que se presenta para realizar la cuantificación de la contrahuella de carbono es la falta de modelos de cálculo de biomasa a partir de la altura y el diámetro para todas y cada una de las especies presentes en la Universidad Politécnica de Madrid, y para las condiciones climáticas y de tratamientos selvícolas realizados en el medio urbano.

Para solucionar esto se procede a asociar cada una de las especies a 25 modelos anteriores (Tabla 7). Para aproximar las especies a los modelos se emplea la metodología descrita por Díaz Caja et al. (2015), esta agrupación se realiza teniendo en cuenta la morfología de cada árbol estudiando los parámetros enumerados a continuación (ANEXO 1: TABLA CORRESPONDENCIA MODELO-ESPECIE):

- Altura:
 - >30 m
 - 10-30 m
 - <10 m
- Perennifolio o caducifolio
- Tipo de hoja:
 - Acícula/ escuamiforme
 - Simple/ compuesta
 - Dura/ blandas
- Espesor de corteza:
 - Gruesa
 - Media
 - Pequeña
- Tipo de porte:
 - Piramidal
 - Copa redondeada o aparasolada
 - Irregular

Según esta metodología a continuación, en la Tabla 8 se muestran agrupados los distintos árboles según su similitud de morfología.

Tabla 8. Agrupación de especies por similitud morfológica. Fuente: Modificado de Díaz Caja et al. (2015).

Modelo	Especie
1. <i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	<i>Broussonetia papyrifera</i>
	<i>Caragana</i> sp.
	<i>Celtis australis</i>
	<i>Cercis siliquastrum</i>
	<i>Citrus sinensis</i>
	<i>Cotinus coggygria</i>
	<i>Eriobotrya japonica</i>
	<i>Ginkgo biloba</i>
	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>
	<i>Koelreuteria paniculata</i>
	<i>Lagerstroemia indica</i>
	<i>Laurus nobilis</i>
	<i>Magnolia grandiflora</i>
	<i>Magnolia soulangeana</i>
	<i>Morus</i> sp.
	<i>Nerium oleander</i>
	<i>Photinia serratifolia</i>
	<i>Prunus avium</i>
	<i>Prunus armeniaca</i>
	<i>Prunus cerasifera</i>
<i>Prunus cerasifera</i> var. <i>pissardi</i>	
<i>Prunus domestica</i>	

	<i>Prunus dulcis</i>
	<i>Prunus laurocerasus</i>
	<i>Prunus lusitanica</i>
	<i>Prunus mahaleb</i>
	<i>Prunus padus</i>
	<i>Prunus persica</i>
	<i>Prunus serrulata</i>
	<i>Prunus sp.</i>
	<i>Prunus spinosa</i>
	<i>Rosa sp.</i>
	<i>Rosaceae</i>
	<i>Syringa vulgaris</i>
	<i>Tilia cordata</i>
	<i>Tilia platyphyllos</i>
	<i>Tilia sp.</i>
	<i>Viburnum lantana</i>
	<i>Viburnum opalus</i>
	<i>Viburnum tinus</i>
	<i>Ziziphus jujuba</i>
2. <i>Castanea sativa</i> Mill.	<i>Quercus castaneifolia</i>
	<i>Aesculus carnea</i>
	<i>Aesculus hippocastanum</i>
	<i>Capparis spinosa</i>
	<i>Diospyros kaki</i>
	<i>Melia azedarach</i>
	<i>Pistacia lentiscus</i>
3. <i>Ceratonia siliqua</i> L.	<i>Pistacia terebinthus</i>
	<i>Pistacia vera</i>
	<i>Pittosporum tobira</i>
	<i>Punica granatum</i>
	<i>Sorbus aria</i>
	<i>Sorbus aucuparia</i>
	<i>Sorbus domestica</i>
	<i>Sorbus mougeotii</i>
4. <i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	<i>Cornus mas</i>
	<i>Cornus sanguinea sp. sanguinea</i>
	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>
	<i>Lonicera xylosteum</i>
5. <i>Fagus sylvatica</i>	<i>Carpinus betulus</i>
	<i>Juglans regia</i>
	<i>Parrotia persica</i>
	<i>Salix sp.</i>
	<i>Taxus baccata</i>

	<i>Acacia dealbata</i>
	<i>Acacia melanoxylon</i>
	<i>Acer campestre</i>
	<i>Acer japonicum</i>
	<i>Acer monspessulanum</i>
	<i>Acer negundo</i>
	<i>Acer opalus</i> var. <i>granatense</i>
	<i>Acer palmatum</i>
	<i>Acer platanoides</i>
	<i>Acer pseudoplatanus</i>
	<i>Acer saccharum</i>
	<i>Acer</i> sp.
	<i>Actinidia chinensis</i>
	<i>Ailanthus altissima</i>
	<i>Albizia julibrissin</i>
	<i>Amelanchier ovalis</i>
	<i>Amorpha</i> sp.
	<i>Brachychiton acerifolium</i>
	<i>Catalpa bignonioides</i>
	<i>Cydonia oblonga</i>
	<i>Corylus avellana</i>
	<i>Erica arborea</i>
	<i>Ficus carica</i>
	<i>Fraxinus excelsior</i>
	<i>Fraxinus ornus</i>
	<i>Fraxinus</i> sp.
	<i>Gleditsia triacanthos</i>
	<i>Laburnum anagyroides</i>
	<i>Liquidambar formosa</i>
	<i>Liquidambar styraciflua</i>
	<i>Liriodendron tulipifera</i>
	<i>Platanus orientalis</i>
	<i>Platanus orientalis</i> var. <i>acerifolia</i>
	<i>Robinia pseudoacacia</i>
	<i>Robinia</i> sp.
	<i>Sophora japonica</i>
	<i>Ulmus glabra</i>
	<i>Ulmus laevis</i>
	<i>Ulmus minor</i>
	<i>Ulmus pumila</i>
	<i>Ulmus</i> sp.
	<i>Zelkova ulmifolia</i>
6. <i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl.	7. <i>Olea europaea</i> L. var. <i>sylvestris</i>
	<i>Arbutus menziesii</i>

	<i>Arbutus unedo</i>
	<i>Buxus sempervirens</i>
	<i>Cotoneaster</i> sp.
	<i>Crataegus monogyna</i>
	<i>Elaeagnus angustifolia</i>
	<i>Euonymus europaeus</i>
	<i>Ligustrum japonicum</i>
	<i>Ligustrum lucidum</i>
	<i>Olea europaea</i> L. var. <i>europaea</i>
	<i>Phillyrea angustifolia</i>
	<i>Phillyrea latifolia</i>
	<i>Phillyrea media</i>
8. <i>Populus x euramericana</i> (Dobe) Guinier	<i>Chamaerops humilis</i>
	<i>Malus pumila</i>
	<i>Malus</i> sp.
	<i>Paulownia</i> sp.
	<i>Phoenix canariensis</i>
	<i>Populus alba</i>
	<i>Populus bolleana</i>
	<i>Populus nigra</i>
	<i>Populus simonii</i>
	<i>Pyrus</i> sp.
	<i>Trachycarpus fortunei</i>
	<i>Vitex agnus-castus</i>
<i>Vitis vinifera</i>	
9. <i>Quercus canariensis</i> Willd.	-
10. <i>Quercus faginea</i> Lam.	-
11. <i>Quercus ilex</i>	<i>Ilex aquifolium</i>
	<i>Quercus coccifera</i>
	<i>Quercus ilex</i> ssp. <i>ballota</i>
	<i>Quercus ilex</i> ssp. <i>ilex</i>
	<i>Rhamnus alaternus</i>
12. <i>Quercus pyrenaica</i> Willd.	<i>Quercus humilis</i>
	<i>Quercus petraea</i>
	<i>Quercus rubra</i>
13. <i>Quercus suber</i> L.	-
14. <i>Abies alba</i> Mill.	<i>Abies concolor</i>
	<i>Cedrus atlantica</i>
	<i>Cedrus deodara</i>
	<i>Cedrus</i> sp.
	<i>Larix decidua</i>
	<i>Pseudotsuga menziesii</i>
	<i>Sequoia sempervirens</i>

	<i>Sequoiadendron giganteum</i>
15. <i>Abies pinsapo</i> Boiss	<i>Abies masjoanis</i>
	<i>Abies nordmanniana</i>
	<i>Picea abies</i>
	<i>Picea pungens</i>
	<i>Picea sp.</i>
16. <i>Juniperus thurifera</i> L.	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>
	<i>Cupressus arizonica</i>
	<i>Cupressus sempervirens</i>
	<i>Cupressus sp.</i>
	<i>Juniperus chinensis</i>
	<i>Juniperus communis</i>
	<i>Juniperus oxycedrus</i>
	<i>Juniperus sp.</i>
	<i>Juniperus phoenicea</i>
	<i>Juniperus virginiana</i>
	<i>Platycladus orientalis</i>
	<i>Sabina rastrera</i>
	<i>Tamarix sp.</i>
	<i>Tetraclinis articulata</i>
<i>Thuja occidentalis</i>	
<i>Thuja plicata</i>	
17. <i>Pinus canariensis</i> Sweet ex Spreng	<i>Casuarina sp.</i>
	<i>Casuarina cunninghamiana</i>
	<i>Pinus excelsa</i>
	<i>Pinus insignis</i>
	<i>Pinus sp.</i>
18. <i>Pinus halepensis</i> Mill.	-
19. <i>Pinus nigra</i> Arn.	-
20. <i>Pinus pinaster</i> Ait.	<i>Pinus coulteri</i>
21. <i>Pinus pinea</i> L.	-
22. <i>Pinus sylvestris</i>	-
23. <i>Pinus uncinata</i> Mill.	-
24. <i>Betula pubescens</i>	<i>Betula pendula</i>
25. <i>Quercus robur</i>	-

4.5.3. Exclusión de árboles en el cálculo de la contrahuella de carbono

Para el Cálculo de la Contrahuella de Carbono se necesita conocer la especie, el diámetro y la altura. Debido a esto y tras la realización del inventario, se decide retirar aquellos pies de los cuales falte alguno de estos parámetros, que impedirían el cálculo de la contrahuella de ese pie.

4.5.4. Cálculo de la contrahuella de carbono

A partir del inventario del arbolado urbano de la Universidad Politécnica de Madrid y con la correspondencia modelo- especie, se emplean los modelos de la Tabla 7 para hallar la contrahuella de carbono de cada árbol inventariado.

5. RESULTADOS

5.1.LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

5.1.1. Historia

La Universidad Politécnica de Madrid (UPM) se constituyó como una integración de Escuelas Técnicas Superiores que hasta entonces conformaban el Instituto Politécnico Superior en 1971. Más tarde se sumaron las Escuelas Universitarias(UPM 2019b).

A pesar de esta fecha tan próxima al siglo XXI, la mayoría de los centros se implantaron en el siglo XVIII, durante el reinado de Carlos III, y durante mucho tiempo fueron las únicas Escuelas con enseñanzas de Arquitectura e Ingeniería.

La primera escuela en impartir clases en el ámbito civil fue Arquitectura. En ámbito de la ingeniería muchas comenzaron con carácter militar, como la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales, aunque algunas como la Escuela de Ingenieros de Minas tuvo carácter civil.

A lo largo del siglo XIX se fundaron las Escuelas de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, de Ingenieros de Montes, de Ingenieros Agrónomos y la de Ingenieros Industriales. Más tarde en el siglo XX se crearon las Escuelas Superiores de Ingenieros de Telecomunicaciones, de Ingenieros Aeronáuticos, y la de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía. Además, se fundaron este último siglo la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte- INEF y la Facultad de Informática. En lo concerniente a las Escuelas Universitarias de Ingeniería Técnica, muchas nacieron simultáneamente con las Escuelas Superiores para formar a los ayudantes o peritos.

Todas estas escuelas se distribuyen en diferentes Campus Universitarios, a continuación, se listan los campus con los centros e instalaciones que permanecen en ellos:

- **Campus Ciudad Universitaria:** se encuentra integrado por las Escuela Técnica Superior (E.T.S.) de Arquitectura; E.T.S. de Edificación; E.T.S. de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio; E.T.S. de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas, E.T.S. de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural; E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos; E.T.S. de Ingenieros de Telecomunicación; E.T.S. de Ingenieros Navales; la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (INEF) y el Rectorado de la UPM. Además, dentro de la E.T.S. de Ingenieros de Telecomunicación se encuentran los Institutos de Sistemas Optoelectrónicos y Microtecnología (ISOM) y de Energía Solar; en la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos está el Instituto de Ciencias de la Educación (ICE) y el Centro de Investigación del Transporte (TRANSyT); y en la E.T.S.I. Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas se encuentran el Instituto de Tecnología para el Desarrollo Humano (itdUPM) y el Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Medioambientales (CEIGRAM). Además, es este se sitúa el rectorado de la UPM.
- **Campus Madrid Ciudad:** este campus presenta sus infraestructuras dispersas por la Ciudad. En este se incluyen la E.T.S. de Ingeniería Civil, la E.T.S. de Ingeniería y Diseño Industrial, la E.T.S. de Ingenieros de Minas y Energía, y la E.T.S. de Ingenieros Industriales, donde se encuentra integrado el Instituto de Fusión Nuclear.

- **Campus Montegancedo:** donde se emplazan la E.T.S. de Ingenieros Informáticos, el Centro de Investigación en Biotecnología y Genómica de Plantas (CBGP), el Centro de Tecnología Biomédica (CTB), el Instituto de Microgravedad “Ignacio Da Riva”, y el Centro de Domótica Integral (CeDINT-UPM).
- **Campus Sur:** presenta las siguientes escuelas e instalaciones: la E.T.S. de Ingeniería de Sistemas Informáticos, la E.T.S. de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación, la E.T.S. de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía, el Instituto de Investigación del Automóvil (INSIA), el Centro de Investigación en Tecnologías Software y Sistemas Multimedia para la Sostenibilidad (CITSEM), y el Centro Superior de Diseño de Moda de Madrid, que se encuentra adscrito a la UPM.
- **Tecnogetafe.**

La distribución de los diferentes recintos se muestra en la Figura 17, donde se observan sobre las superficies rojas los espacios de la UPM, con sus respectivos nombres, salvo el Campus Madrid Centro que se muestra con sus superficies en amarillo.

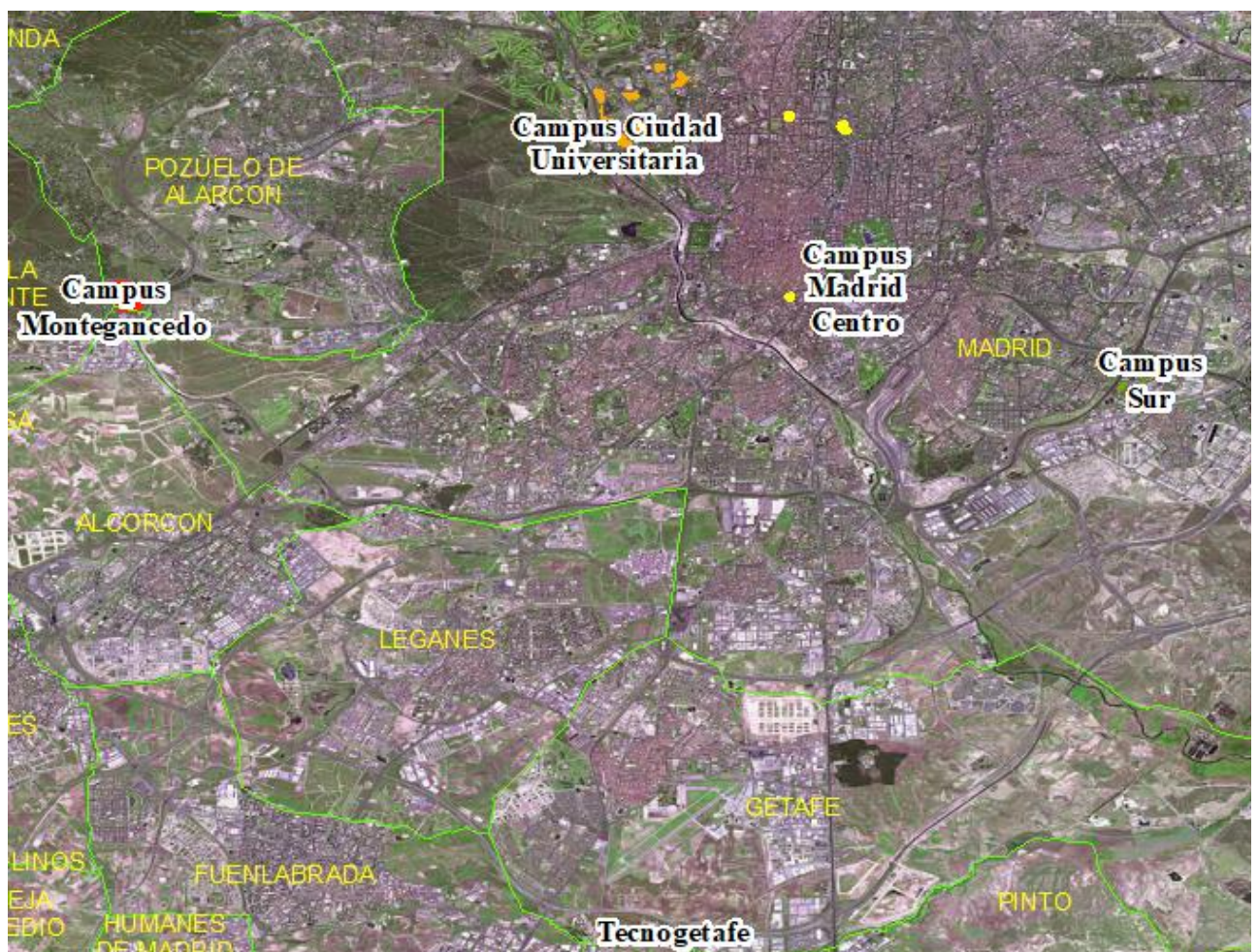


Figura 17. Distribución de los diferentes recintos de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

5.1.2. Campus Ciudad Universitaria

Según se recoge en el estudio medioambiental de Tornero Gómez (2000), este Campus nació como un proyecto para albergar los diferentes centros universitarios, en el año 1927 por orden del rey Alfonso XII. Este proyecto se desarrolló en respuesta a la tendencia creciente en países

avanzados a la creación de ciudades universitarias. La finalidad de estas instalaciones dotándola de una mejor coordinación de las actividades del mundo escolar, mediante la construcción de edificios adecuados a las modernas exigencias docentes, así como de espacios exclusivos e instalaciones complementarias, tales como: colegios mayores, campos de deporte, servicios generales, etc.

El proyecto cobró vida legal mediante un Real Decreto- Ley de 17 de mayo de 1927, por el que se dispuso la creación de una junta de la Ciudad Universitaria, presidida por el propio monarca, que se vinculó personalmente al proyecto.

El emplazamiento elegido por la junta para situar la Ciudad Universitaria, resulto ser a las afueras del entonces núcleo urbano de Madrid, pero en su inmediata proximidad y con buena comunicación con la ciudad. En las inmediaciones de los espacios naturales del monte de El Pardo, de la Casa de Campo y de la Dehesa de la Villa, teniendo como fondo la Sierra de Guadarrama.

La junta designó como arquitecto del proyecto a Don Modesto López Otero, que en 1929 organizaba la puesta en marcha del ambicioso proyecto, ultimando el plan general de urbanización y los proyectos de construcción más generales de instalaciones y servicios. En un principio la superficie total que debía abarcar la Ciudad Universitaria fue de 320 ha., hoy reducidas a 62,4 ha. de las que, conforme al plan de urbanización, no podía ser edificable más del 10%, supuesto que no parece haberse respetado.

Las obras se iniciaron ese mismo año, se popularizó un sorteo de Lotería nacional que se dedicó a financiarlas, aunque los ingresos que proporcionó resultaron insuficientes. Sin embargo, la iniciativa estaba ya en marcha y los gobiernos de la República prosiguieron desarrollándola y en el año 1936, antes del inicio de la guerra civil, la mayor parte de las edificaciones proyectadas se habían realizado y algunas, como el Hospital Clínico, se encontraban en avanzado estado de construcción. Colaboraron en la empresa organismos y entidades no estatales, como la Casa de Velázquez o la fundación Del Amo, que secundaron con entusiasmo la iniciativa.

La guerra civil afectó a la Ciudad Universitaria de forma muy considerable, puesto que el frente de batalla se situó en medio de ella, resultando algunos edificios compartidos, como el Hospital Clínico, en el cual se atendieron personas de ambos bandos. Los resultados de la contienda fueron devastadores para el recinto universitario, cuyos edificios resultaron malparados y la vegetación arrasada.

Una vez terminada la contienda, se procedió a comenzar con las obras de reconstrucción, se reorganizó la antigua junta (ley de 10 de febrero de 1940), y se ampliaron los edificios y las instalaciones, según las nuevas necesidades surgidas a lo largo de los años.

En el año 1943 se inauguraron las Facultades de Filosofía y Letras, Farmacia y Ciencias (Química); la Escuela de Arquitectura y de Ingenieros Agrónomos; el colegio Mayor Ximénez de Cisneros, el Pabellón de Gobierno, los Campos de Deportes y la Central Térmica. Dos años después se inauguraron la Escuela de Estomatología y de Ingenieros de Montes y los pabellones de Matemáticas y-físicas de la Facultad de Ciencias. Medicina se inauguró en 1947, siendo el mayor edificio de la Ciudad Universitaria.

Los daños originados por la guerra tuvieron especial efecto sobre la vegetación de la zona, que quedó arrasada, sin ningún vestigio de los árboles y arbustos que pudieron existir con anterioridad, resultando intensamente deforestados los terrenos del campus. Esto planeó la necesidad de proporcionar a la Ciudad Universitaria una ornamentación vegetal que contribuyera a hacer más grata su apariencia y que dotara a sus largos viales y extensas plazas de una cubierta arbórea que pudiera paliar los rigores del sol en los largos veranos madrileños.

La repoblación forestal de las zonas montuosas que no iban a ser urbanizadas se encomendó a la Escuela de Ingenieros de Montes. La repoblación se realizó fundamentalmente con pino piñonero, aunque también se utilizó en una gran proporción el pino carrasco. Acompañando a estas especies se plantaron bosquetes de cedros, de cipreses, de arizónicas y, en las vaguadas, de chopos. Gran parte de estas repoblaciones subsisten hoy, formando las exteriores masas verdes del cerro de Las Balas, el cerro de La Virgen Blanca, el arroyo de Puerta Verde y el gran espacio central que engloba las facultades de Ciencias de la Información y Filosofía. Para la ornamentación vegetal de plazas, jardines y viales se emplearon árboles de crecimiento muy rápido, pero de vida muy corta, como chopos y acacias, sobre todo para cubrir los largos viales. En la actualidad estos árboles, después de 60 años de vida, están llegando a la edad de su decadencia y muerte natural, en el momento de la redacción del documento de Tornero Gómez (2000), que actualizado a la fecha de redacción del proyecto sería aproximadamente de 80 años de vida.

Tal cual se ha expuesto previamente, el Campus de Ciudad Universitaria se encuentra integrado por las universidades siguientes: Universidad Complutense de Madrid (UCM) y Universidad Politécnica de Madrid (UPM), inicialmente y por la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), posteriormente. Estas tres universidades se encuentran integradas en el consorcio urbanístico de la Ciudad Universitaria de Madrid (Universidad Complutense de Madrid (UCM) 2019).

La disposición actual de las instalaciones de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) dentro del Campus Ciudad Universitaria se encuentra en la Figura 18.

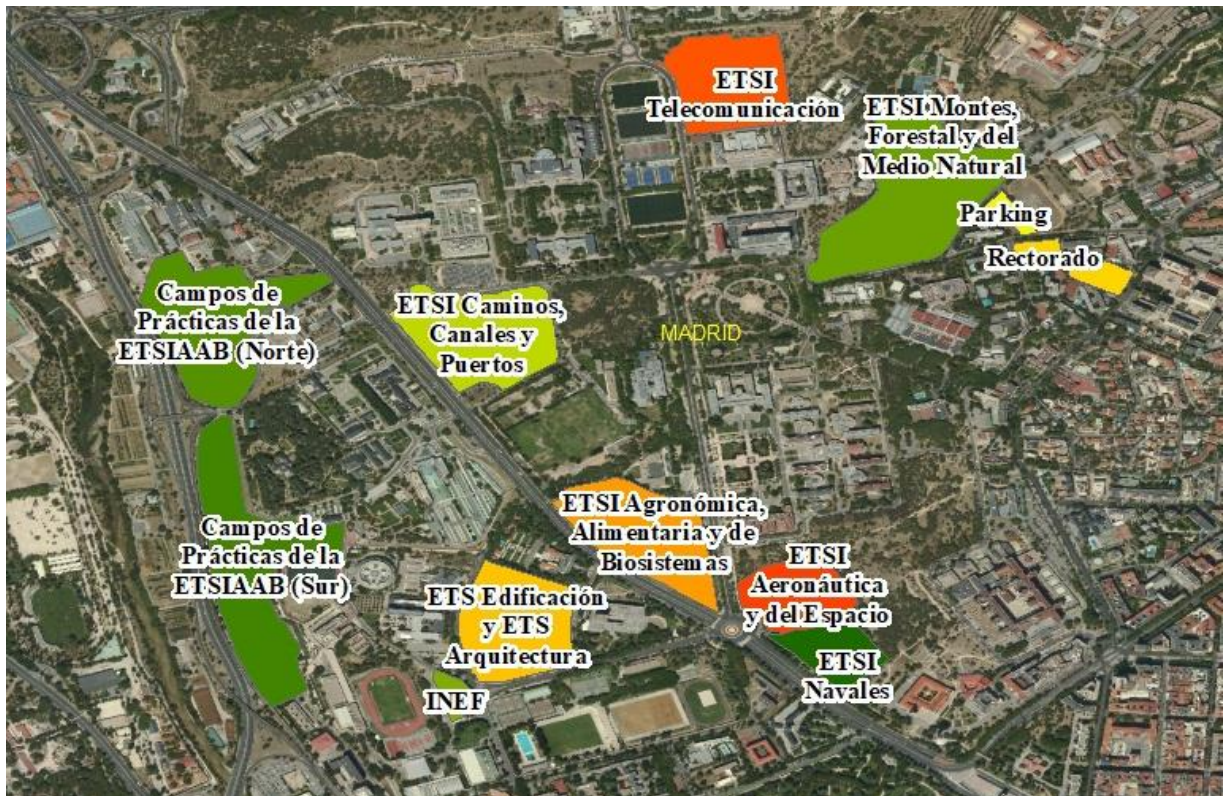


Figura 18. Distribución de las instalaciones de la UPM en el Campus Ciudad Universitaria. Los límites de las diferentes instalaciones se encuentran coloreados por diferentes tonalidades dispuestas al azar. Sobre los límites se encuentran las etiquetas nombrando los diferentes centros/ instalaciones.

5.1.2.1. Rectorado

El rectorado se encuentra emplazado en tres edificios diferentes: Rectorado A: ubicado en la calle Ramiro de Maeztu nº7; Rectorado B y C: ubicados en el Juan XXIII nº11.

5.1.2.2. Escuela Técnica Superior de Arquitectura

La enseñanza de la Arquitectura, de forma escolar, está vinculada a la creación de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando de Madrid que, a pesar de comenzar la enseñanza preparatoria en 1744, no se aprobaron sus Estatutos hasta 1757. La reforma de las enseñanzas artísticas en 1844 dio lugar a un transitorio “estudio especial de arquitectura” dentro de una nueva Escuela de Nobles Artes (1845).

Fue en 1848 cuando se creó una institución independiente la Escuela Especial de Arquitectura de Madrid, que contaba con cuatro años de duración exigía previamente un examen de ingresos y dos años en la llamada Escuela Preparatoria.

La Escuela presentó diversos emplazamientos: Real Casa de la Panadería de la Plaza Mayor, el antiguo Palacio de Goyeneche, el antiguo Colegio Imperial (Calle de los Estudios) y finalmente, la ubicación que ocupa desde 1936 en Ciudad Universitaria (Avenida Juan Herrera, nº4).

Dentro de esta Escuela destaca la Biblioteca, que a pesar de las pérdidas durante la Guerra Civil, sigue contando con un fondo bibliográfico de excepcional interés, enriquecido con los legados de Cebrián y Moya (ETSA Madrid 2009).

5.1.2.3. Escuela Técnica Superior de Edificación

Aunque la profesión de Aparejador (hoy Arquitecto Técnico) es una de las más antiguas del país, hasta 1855 no se creó de forma oficial. En 1895 se establece una nueva reglamentación de los estudios que se adscriben oficialmente a las Escuelas de Arquitectura. Hasta 1935 no resulta obligatoria la intervención del Aparejador en toda obra de Arquitectura. En 1955 se desvincula la Escuela Oficial de Aparejadores de la de Arquitectura.

Los primeros indicios de construcción de un edificio para la entonces Escuela Técnica de Aparejadores de Madrid, cuando en 1958 el Director General de Enseñanzas Técnicas se dirige al director de la Escuela, D. Fernando Madrazo y Torres para que proponga tres Arquitectos para el proyecto. Un año después se aprueba el proyecto de obra y entre 1960 y 1962 se lleva a cabo la construcción del edificio, en su actual dirección Avenida Juan de Herrera nº6.

En 1970 paso a formar parte de la Universidad Politécnica de Madrid, y en 2013 el nombre de la escuela pasó a ser el actual Escuela Técnica Superior de Edificación (Escuela Técnica Superior de Edificación- UPM 2019).

5.1.2.4. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio

La Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio nace con la unión de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos y la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Aeronáutica.

Los estudios superiores de aeronáutica tienen su origen en 1928 con la finalidad de satisfacer la urgente necesidad de dotar de profesionales más cualificados para las funciones que requería el creciente auge que experimentaban las primeras líneas aéreas españolas, con la creación de la Escuela Superior (E.S.) Aerotécnica.

Tras los años en que la E.S. Aerotécnica fue transformada en Academia Militar de Ingenieros Aeronáuticos (1939-1948), recuperó su carácter civil pasando a depender del Ministerio de Educación Nacional. Durante este tiempo también se creó la Escuela de Ayudantes de Aeronáuticos (1939), que estaba integrada en la Academia Militar de Ingenieros Aeronáuticos del Ejército del Aire.

En el año 1954 se asigna a la E.S. Aeronáutica la actual ubicación en Ciudad Universitaria (Plaza Cardenal Cisneros, nº3), pero hasta el curso 1961-1962 no se impartieron las primeras clases. En 1957 con la Ley de Ordenación de Enseñanzas Técnicas, la E.S. Aeronáutica paso a denominarse Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos (ETSIA), y la Escuela de Ayudantes de Aeronáuticos se denominó Escuela Técnica de Peritos Aeronáuticos.

Tras la Ley General de Educación de 1970 la Escuela Técnica de Peritos Aeronáuticos pasó a denominarse Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Aeronáutica (EUITA). En 1971 y 1972 se adscribieron a la UPM las ETSIA y la EUITA, respectivamente (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio 2017).

5.1.2.5. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas

Fue en 1855 cuando se creó la Escuela Central de Agricultura en la casa de campo llamada “La Flamenca” (Aranjuez). En esta se encontraban dos secciones: una científica, para los ingenieros agrónomos, y una tecnológica, destinada a los peritos agrícolas.

Con la ley de 11 de julio de 1866, se perfeccionó la enseñanza añadiendo una tercera sección para la formación de capataces agrícolas, para poner al alcance de los agricultores las técnicas operativas más avanzadas.

A partir de 1868, la Escuela cambió su nombre a Escuela General de Agricultura y también de emplazamiento, siendo el nuevo en Madrid en las fincas “La Florida” y “La Moncloa”. En 1875 se materializó el objetivo investigador creando la estación agronómica la escuela y servida por los profesores.

Desde 1876 se implementó un sistema de ingreso para la Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos, en el cual después de cursar diversas asignaturas de las distintas secciones de la Facultad de Ciencias, y superar un examen complementario.

Se cambió la denominación entre 1881 y 1931 al de Instituto Agrícola de Alfonso XII. Además, se ampliaron los objetivos de la escuela para servir de Centro de Propaganda de la Agricultura, la Ganadería y las Industrias Agrícolas. Se conservó como parte de la institución la Estación Agronómica, y en 1882 se creó el Museo Agronómico Nacional.

Tras la reforma de 1886, por la que se estableció la Escuela Preparatoria de Ingenieros y Arquitectos, se reformó la educación estableciendo tres años de preparación común y luego las asignaturas específicas. El Instituto Agrícola de Alfonso XII siguió integrando la Escuela General de Agricultura, la Granja Central de Experimentación y Propaganda y la Estación Agronómica.

La Escuela General de Agricultura y la Granja Central de Experimentación se unieron en 1903, para aportar más aspectos prácticos a la Escuela. De esta forma también se unieron al Instituto Agrícola de Alfonso XII, otros cinco centros de investigación y experimentación: la antigua Estación Agronómica y las de Patología Vegetal, Ampelografía y Enología, Pecuaria y la de Horticultura y Jardinería.

A partir de 1917, “La Florida” y “La Moncloa” pasaron a ser la zona seleccionada para edificar la Ciudad Universitaria de Madrid, reduciéndose progresivamente los campos de prácticas. Posteriormente, en 1923 se planteó un nuevo plan de estudios, publicado en 1924, aprobando el reglamento del Instituto Agrícola de Alfonso XII, que pasa a estar compuesto de las secciones de Enseñanza, Estaciones Especiales y Explotación; y el reglamento de la Sección de Enseñanza, integrada por el Escuela Especial de Ingenieros Agrónomos y la Escuela Profesional de Peritos Agrícolas.

Con la llegada de la República, se cambió el nombre a Instituto Nacional Agronómico, y pasó a depender del Ministerio de Instrucción Pública (1931).

Tras la Guerra Civil, poco quedó del Instituto Nacional Agronómico y se instaló en la casa señorial del Marqués de Molins, en la calle Amor de Dios. Reconstruida “la Florida” se reabrieron las clases

en el curso 1942-43. Mientras en 1940, surgió el Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas.

La demanda de titulados en el sector agrario generó la necesidad de instaurar dos niveles universitarios. Por lo que en el curso 1962-63 se inauguró la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola (EUITA).

Con la Ley de 1957, sobre Ordenación de las Enseñanzas Técnicas, además del acceso directo se establecieron dos cursos, uno selectivo y otro de iniciación, y cinco años restantes de carrera. En esta se establecieron cuatro especialidades: Mejora Rural y Maquinaria Agrícola, Fitotecnia y Zootecnia, Industrias Agrícolas, y Economía y Sociología Agraria. Además, se creó el grado de doctor.

La Ley de Reorganización de Enseñanzas Técnicas de 1964 limitó los estudios a cinco años. Tras esta en 1965 se establecieron cinco especialidades: Fitotecnia, Zootecnia, Ingeniería Rural, Industrias y Economía Agraria. Para obtener el grado de doctor se requería cursar dos años más y aprobar una tesis original.

En 1973 se constituyó por orden ministerial la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.

La actual Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas (ETSIAAB) surge con la integración de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola en 2014. Esta se encuentra en la Avenida Puerta de Hierro nº2 (Universidad Politécnica de Madrid 2019c).

Tras la reducción de terreno inicial de prácticas, quedan 16 hectáreas de terrenos de experimentación divididos en dos zonas: zonas norte y sur, colindantes a la M-30 por donde transcurre la calle Senda del Rey.

Dentro de la ETSIAAB se encuentra el itdUPM, que se encuentra en el recinto de la escuela, y el CEIGRAM, emplazado dentro del campo de prácticas de la ETSIAAB sur. Estos fueron creados en 2012 y 2007, respectivamente (UPM Sostenible 2018).

5.1.2.6. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural

La Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural (ETSMFMN) de la UPM nace de la fusión de dos escuelas: la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes (ETSIM) y la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal (EUITF).

La Escuela de Ingenieros de Montes nace en 1846, empleando como modelo las experiencias de la Escuela forestal alemana. La primera ubicación de esta fue el castillo de Villaviciosa de Odón. En 1870 se trasladó a la “Casa de Oficios” de San Lorenzo de El Escorial. A partir de 1914 y hasta 1945 se trasladó a distintos emplazamientos de Madrid, terminando en su actual ubicación en José Antonio Novais nº10 (1945-Actualidad). Por tanto, desde 1945 la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes en Ciudad Universitaria, impartándose las titulaciones de “Ingeniero de Montes” y “Doctor Ingeniero de Montes”.

Durante la guerra la Escuela sufrió una gran pérdida debido a un incendio que quemó gran parte del patrimonio, entre los que se encontraban: archivos, museo colecciones, aparatos y la biblioteca, compuesta por 30.000 títulos.

Por otro lado, la figura del ayudante de Ingenieros de Montes apareció mediante diferentes titulaciones: Peritos Agrónomos de Montes (hasta 1853), Ayudantes de Montes o de Auxiliares de Ordenación (hasta 1903), Auxiliares Facultativos de Montes (hasta 1940), Ayudantes de Montes (hasta 1957), Peritos de Montes (hasta 1964) y la finalmente la titulación de Ingeniero Técnico Forestal.

En 1960 se inaugura la Escuela Técnica de Peritos de Montes en Ciudad Universitaria, quedando en 1965 la titulación independiente de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes (Universidad Politécnica de Madrid 2019e).

Las instalaciones de la ETSIMFMN cuentan con un arboreto, una piscifactoría, invernaderos, laboratorios, biblioteca e instalaciones deportivas. De estas instalaciones hay que destacar el arboreto de Montes.

5.1.2.6.1. Arboreto de Montes

Tras terminar el edificio principal D. Luis de Villanueva y D. Pedro Bidagor, se detectó la necesidad de completar las instalaciones con edificios nuevos y con la creación de un parque forestal, que sirva de laboratorio para la Escuela.

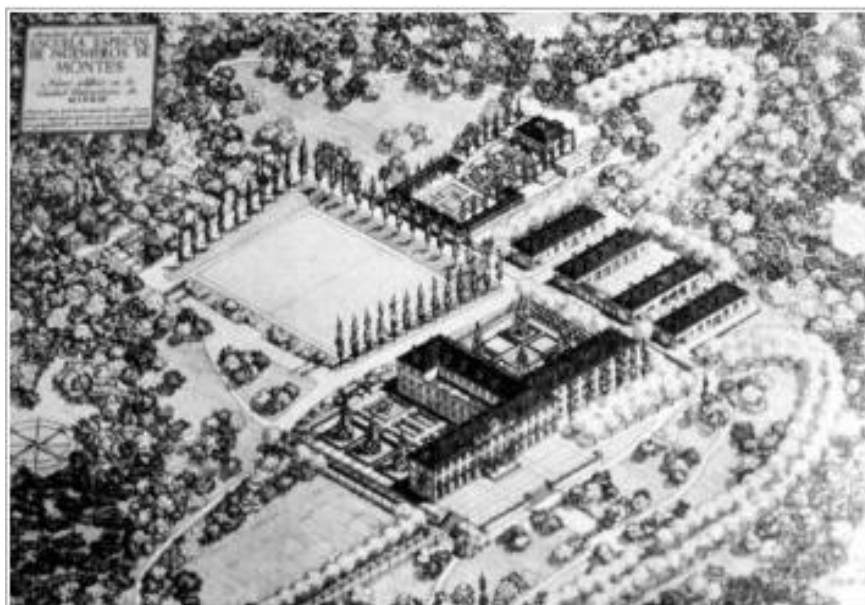


Figura 19. Axomática de la Escuela de Montes realizada por Villanueva y Bidagor en 1945. Fuente: Arboreto de Montes 2014.

El diseño del arboreto y de todos los jardines de Ciudad Universitaria, corrieron a cargo de D. Luis Ceballos y Fernández de Córdoba, en 1941.

El arboreto contribuyó a la regeneración forestal de la Ciudad Universitaria, dañada por la Guerra Civil, y servía para aproximar las especies de interés forestal a los alumnos.

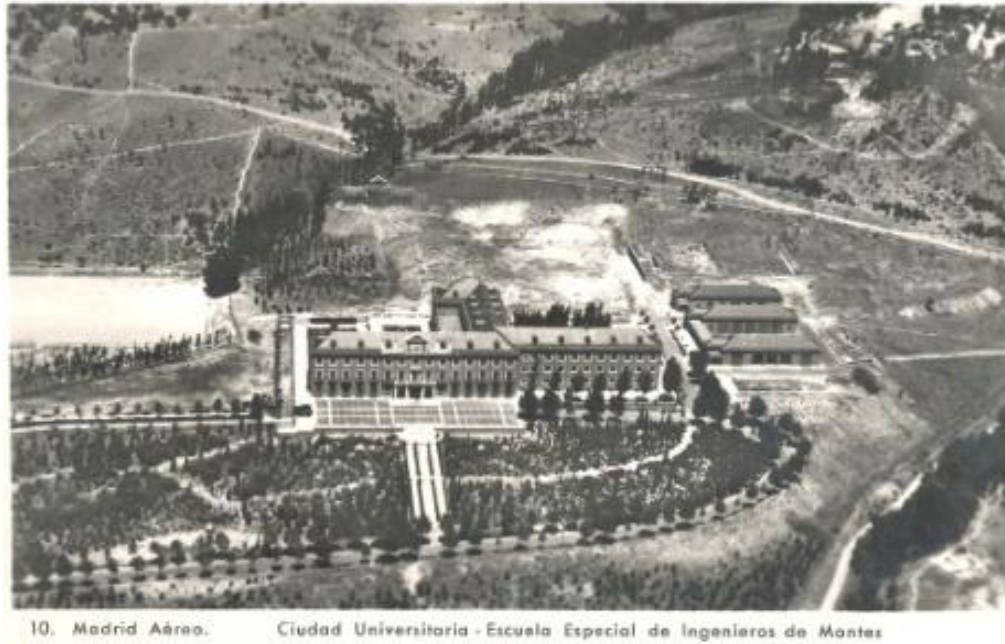


Figura 20. Visual aérea de la Escuela Especial de Ingenieros de Montes de Ciudad Universitaria. Fuente: Arboreto de Montes 2014.

El arboreto se encuentra diferenciado en tres partes: una con carácter boscoso transitable a través de sendas, una segunda con un ajardinamiento clásico en torno al edificio principal, y una tercera destinada a la aclimatación y cultivo. Actualmente, el arboreto cuenta con unas 400 especies de plantas vasculares, cantidad que aumenta anualmente, gracias a aportaciones de diferentes entidades (Arboreto de Montes 2014).

Los árboles se encuentran agrupados como (Díaz Caja et al. 2015):

- Alcornocal de *Quercus suber*, donde también destaca la presencia de encinas (*Quercus ilex subsp. ballota*), durillos (*Viburnum tinus*), jaras (*Cistus ssp.*), adelfas (*Nerium oleander*) o pinos piñoneros (*Pinus pinea*).
- Zona mixta, en esta zona predominan durillos (*Viburnum tinus*), adelfas (*Nerium oleander*) y aligustres (*Ligustrum lucidum* y *Ligustrum vulgare*). También destacan el pinsapo (*Abies pinsapo*), el pino canario (*Pinus canariensis*) y el pino carrasco (*Pinus halepensis*).
- Cedros, son bosquetes de *Cedrus deodara* principalmente, y de *Cedrus atlantica*, durillos o piracantas (*Pyracantha ssp.*).
- Chopera, varias especies del género *Populus*, predominando el álamo blanco (*Populus bolleana* o *Populus alba*).
- Eucaliptos, con varias especies del género, con mayor abundancia de *Eucalyptus globulus*.
- Abedules, se encuentran dos pequeñas cuadrículas de *Betula pendula*.
- Praderas, con diversidad de especies, donde destacan más negrillos (*Ulmus pumila*), arizónicas (*Cupressus arizonica*), álamos blancos (*Populus bolleana*) o lilos (*Syringa vulgaris*).

El Arboreto además de ser una colección de árboles, es un laboratorio al aire libre y un espacio formativo para los alumnos y usuarios. Su impacto en la fauna es importante porque en una ciudad donde el bosque urbano tiene pocos espacios, este es un refugio para cientos de aves. Las

aves se benefician de su abrigo y alimento en invierno y se refrescan en verano. También es la expresión del transcurso de las estaciones y parte del paisaje (Arboreto de Montes 2014).

5.1.2.7. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

La idea de fundar la escuela surgió a finales del siglo XVIII, desde entonces se creó la Dirección General de Caminos (1785), la Inspección General de Caminos y Canales (1799), y la Escuela de Caminos de Madrid.

Los estudios en la Escuela comenzaron en noviembre de 1802 en el Palacio del Buen Retiro, hasta su destrucción en 1808. La Guerra de la Independencia y otros acontecimientos hicieron desaparecer la Escuela y el Cuerpo de Ingenieros de Caminos en 1814. En 1820 se restituyeron, impartiendo clases en la calle Alcalá, hasta que volvió a interrumpirse en 1823.

En 1834 se reabre en el edificio de la Aduana Vieja, en la plazuela de La Leña, con un nuevo plan de estudios ampliado. El Reglamento del Cuerpo de Ingenieros de Caminos y el de la Escuela se publica dos años después.

A mediados de siglo comienza a reflejarse el alto nivel de preparación con obras como las primeras líneas de ferrocarril (Barcelona- Mataró y Madrid- Aranjuez) o la inauguración del Canal de Isabel II.

Los planes de estudio fueron sufriendo cambios, pero el de 1870 es destacable porque presenta que el objetivo de la Escuela es el de formar a los que iban a formar parte del Cuerpo Nacional de Ingenieros de Caminos y comprobar los conocimientos de los que pretendían obtener el título profesional de ingeniero.

En el año 1926 se concedió a la Escuela la autonomía respecto del Estado, lo que permitió mejorar la enseñanza, modernizar los medios docentes y potenciar los trabajos de investigación. Además, en 1933 se ofrecieron conferencias de importantes científicos (españoles y extranjeros), que proporcionaron un foco de expansión cultural, con influencia social, que beneficio la enseñanza y la difusión técnica.

La autonomía en la Escuela finalizó con la Ley de Ordenación de las enseñanzas Técnicas (1957, reformada en 1964), donde se adscribió al Ministerio de Educación Nacional. Con este cambio se incentivó la investigación y se promovió el título de Doctor Ingeniero.

El emplazamiento de la escuela también varió desde el caserón de la calle del Turco (1880-1889), al edificio de la calle Alfonso XII (1890-1968), a su actual ubicación en Ciudad Universitaria (Calle Profesor Aranguren nº3).

Tras la agrupación del Instituto Politécnico en 1966, las universidades volvieron a unificarse en 1970 con la Ley General de Educación en la Universidad Politécnica de Madrid. En el seno de la UPM se desarrolla su actividad actual bajo el nombre de Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (E.T.S. Ingenieros de Caminos Canales y Puertos 2013).

Dentro de esta Escuela se encuentra el Instituto de Ciencias de la Educación (ICE), dedicado a la formación del profesorado de la UPM en materia de educación e investigación (Universidad

Politécnica de Madrid 2019a), y el Centro de Investigación del Transporte (TRANSyT) creado en 2002 (UPM Sostenible 2018).

5.1.2.8. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación

La historia de las telecomunicaciones se remonta a los experimentos de Salvá i Campillo (1745), los del Brigadier Mathé y la expansión del telégrafo óptico (1844-64), el telégrafo eléctrico y la expansión de las comunicaciones a nivel mundial, etc.

La formación en telecomunicaciones se remonta al año 1852 con la creación de la Escuela de Aplicación de Telégrafos. Posteriormente, en 1913 se crea la Escuela de Estudios Superiores de Telecomunicación con tres niveles de estudio.

El Real Decreto de 22 de abril de 1920 crea el título de Ingeniero de Telecomunicación, al que solo pueden acceder los Oficiales del Cuerpo de Telégrafos, tras cuatro años de estudio después de una oposición de ingreso. En el R.D de 1931 se establecen las atribuciones al cargo.

Más tarde, en 1935 la creciente demanda de titulados obliga a modificar el sistema de acceso, permitiendo el acceso de cualquiera que desee cursar los estudios.

Con la ley de 1957, pasó a depender del Ministerio de Educación y Ciencia. Además, pasó a denominarse Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicaciones (ETSIT).

En 1965 se agruparon las Escuelas Técnicas Superiores de Madrid y se creó el Instituto Politécnico Superior de Madrid, contando con las escuelas de: Arquitectura; Aeronáuticos; Agrónomos; Caminos, Canales y Puertos; Industriales; Minas; Montes; Navales, y Telecomunicación. Finalmente, en 1971 se creó la Universidad Politécnica de Madrid.

La ETSIT en 1965 pasó de ubicación en Conde Peñalver a la que ocupa hoy en la Avenida Complutense nº30 de Madrid (ETSIT 2019).

Actualmente, la ETSIT aparte de ser la sede de la escuela tiene en sus instalaciones los siguientes institutos (Universidad Politécnica de Madrid 2019a):

- Instituto de Sistemas Optoelectrónicos y Microtecnología (ISOM): este se encuentra adscrito a la UPM desde el año 2000. Su objetivo es el desarrollo de proyectos en las áreas de optoelectrónica y micro/ nanotecnología. Además, la Central de Tecnología del ISOM pretende ofrecer sus servicios de tecnología, procesado y caracterización a la comunidad científica y tecnológica española y europea.
- Instituto de Energía Solar: este centro se creó en 1978 su destino es la conversión de energía solar. Actualmente, su objetivo es la conversión fotovoltaica de la energía solar como fuente de electricidad más importante.

5.1.2.9. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales

La Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales se origina en la antigua Academia de Ingenieros y Maquinistas de la Armada. El Cuerpo de Ingenieros de la Armada se creó en 1770. Posteriormente, en 1772 se crea la Academia de Ingenieros de la Armada, para formar al personal del cuerpo.

Es en el siglo XIX cuando aparece la figura de alumno oyente, con derecho a un certificado de estudios, pero no al acceso al Cuerpo de la Armada, aquí surge la profesión civil del Ingeniero Naval. La Asociación de Ingenieros Navales (de carácter civil y militar) fue la que ejerció mayor influencia para crear la Escuela Especial de Ingenieros Navales en 1933, dependiente del Ministerio de Instrucción Pública.

La escuela presenta una sede itinerante por varios edificios de Madrid, como el palacete de la calle O'Donnell, 26. La devastación tras la guerra obliga a reconstruir los medios productivos y entre ellos los ligados a la actividad marítima y a la construcción naval. Por ello, se plantea la necesidad de tener ingenieros cualificados, decidiéndose la construcción de un edificio en Ciudad Universitaria en 1948. La Escuela Especial de Ingenieros Navales pasó a denominarse en la actualidad Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales (Universidad Politécnica de Madrid 2019).

5.1.2.10. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (INEF)

La Ley 77/61 sobre Educación Física crea el Instituto Nacional de Educación Física (INEF). Para llevar a cabo lo estipulado la Universidad Central de Madrid cede terrenos en la Ciudad Universitaria, para construir el aulario, las instalaciones deportivas, la residencia de deportistas y alumnos, y todas las instalaciones necesarias.

Las clases comienzan en el curso de 1967 con un plan de estudios de cuatro años, con una selección de alumnos basada en una prueba de conocimientos generales, unas pruebas físicas y una entrevista.

La ley de Cultura Física y del Deporte de 1980, señala que los Institutos Nacionales de Educación Física son Centros de Enseñanza Superior para la formación, especialización y perfeccionamiento del Profesorado de Educación Física.

Con el Real decreto 790/1981 se planteó una nueva regulación de los INEF, ampliando la duración de sus enseñanzas a cinco años y reconociendo la equivalencia de sus titulaciones a las universitarias. Desde entonces las enseñanzas comprenden dos ciclos universitarios, el primero de tres años y el segundo de dos, obteniendo los títulos de Diplomado y Licenciado en Educación Física, respectivamente.

En 1982 se adscribe INEF a la UPM bajo Orden Ministerial de Educación y Ciencia, temporalmente.

Más tarde, con el Real Decreto 1423/1992 se autorizó al Gobierno a adecuar las enseñanzas a lo establecido en la Ley de Reforma Universitaria de 1983, ampliando el acceso al tercer ciclo universitario.

Un año después, el Real Decreto 1670/1993 establece las directrices para los nuevos planes de estudio. También se modificó el nombre de la titulación de Licenciado en Educación Física por la de Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.

En 1998, se desvincula definitivamente al INEF del CSD. Además, se adscriben las funciones y servicios estatales transferidos en materia del Instituto Nacional de Educación Física y las enseñanzas a la Dirección General de Universidades. Además, se adscribe INEF a la UPM con un

periodo transitorio. Finalmente, en 2003 se termina el proceso de adscripción a la UPM (Universidad Politécnica de Madrid 2019m).

5.1.3. Campus Madrid Centro

El Campus Madrid Centro se encuentra constituido por cuatro escuelas distribuidas en las proximidades del centro de Madrid.: E.T.S. de Ingeniería Civil, la E.T.S. de Ingeniería y Diseño Industrial, la E.T.S. de Ingenieros de Minas y Energía, y la E.T.S. de Ingenieros Industriales.

Los centros del Campus Madrid Centro se encuentran distribuidos en las proximidades del centro de Madrid, en concreto se encuentran emplazados tal como se encuentran en la Figura 21.



Figura 21. Distribución del Campus Madrid Centro.

5.1.3.1. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil

La E.T.S. de Ingeniería Civil se encuentra ubicada en la calle Alfonso XII, nº 3 y 5, junto al parque del Retiro y forma parte del recinto al que pertenecen el Observatorio Astronómico, el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), la Dirección General de Programación

Económica y Control Presupuestario, la Gerencia de Infraestructuras y Equipamiento de Educación y Ciencia y el Instituto Isabel la Católica (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil 2019).

La E.T.S. de Ingeniería Civil, anterior EUIT (Escuela Universitaria de Ingenieros Técnicos) de Obras Públicas, fue creada por Claudio Moyano en 1857 bajo el nombre de Escuela de Ayudantes de Obras Públicas.

En un principio al estar destinada a la formación de funcionarios, dependió del Ministerio de Fomento y después del Ministerio de Obras Públicas, hasta que en 1957 comienza a depender del Ministerio de Educación Nacional, con la denominación de Escuela de Peritos de Obras Públicas. Finalmente, en 1972 se integró en la Universidad Politécnica de Madrid (Universidad Politécnica de Madrid 2019d).

5.1.3.2. Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial

La Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial (ETSIDI) se encuentra emplazada en el nº 3 de la calle Ronda de Valencia, en las cercanías de la glorieta de Embajadores y del Museo Nacional y Centro de Arte Reina Sofía (Universidad Politécnica de Madrid 2019g).

El origen de la actual ETSIDI se remonta a 1790. Las denominaciones empleadas en la ETSIDI han sido sucesivamente: Real Conservatorio de Artes, Escuela de Artes Industriales, Escuela Industrial de Madrid, Escuela Superior de Trabajo, Escuela de Peritos Industriales y Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial, hasta la nomenclatura actual.

Al igual que las nomenclaturas las ubicaciones de la ETSIDI han variado a lo largo de los años. En primer lugar, se ubicó en el Observatorio Astronómico del Retiro; después en la calle San Mateo nº5 (clases, oficinas y biblioteca) y en la calle Embajadores nº68 (talleres); desde 1932 se emplazó en el edificio de los P.P. de la Compañía de Jesús (Calle Alberto Aguilera, 25); y en 1939 fue trasladado al antiguo Instituto Quevedo (calle Flor Alta, 8) donde se instalaron las clases, oficinas y algún taller, la biblioteca y otras instalaciones fueron emplazadas en las calles Marqués de Leganés nº 5 y Dos Amigos nº2.

Finalmente, en 1943 se propuso la construcción de un nuevo edificio en su actual emplazamiento, al cual se trasladaron en octubre de 1956 (Universidad Politécnica de Madrid 2019f).

5.1.3.3. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía

La Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía (E.T.S.I. de Minas) se encuentra en la calle Ríos Rosas nº21 (Universidad Politécnica de Madrid 2019i).

Las enseñanzas de la Ingeniería de Minas se implantan en España en 1777, en la Academia de Minas en Almadén. A lo largo de este mismo siglo, se presenta la necesidad de estudiar los minerales desde su composición química y sus estructuras cristalográficas, gracias a lo cual se descubrieron el wolframio y el vanadio.

En 1835 se modifica el emplazamiento de la Escuela de Minas a Madrid, quedando la de Almadén como escuela práctica. En 1893, finalmente se emplazó en su localización actual después de tener diferentes emplazamientos.

Los planes de estudios se fueron modificando con los avances en la investigación de nuevas tecnologías. Al principio en 1857 y 1890 se comenzó por incluir Ciencias Básicas y Aplicadas y la especialización en Laboreo de Minas, Metalurgia, Geología y Electrotecnia. Posteriormente en los planes de estudios siguientes (1910, 1942, 1957, 1964, 1974, 1983, 1996) se fueron incorporando las nuevas tecnologías. Finalmente, se ha ido aumentando la oferta educativa, mediante nuevas titulaciones (ETSIME-UPM 2019).

5.1.3.4. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales

La Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII) se encuentra ubicada en la calle José Gutiérrez Abascal nº2, en el Paseo de la Castellana, junto al Museo Nacional de Ciencias Naturales. Además de las instalaciones educativas dentro de la ETSII se encuentra el Instituto de Fusión Nuclear (DENIM) (Universidad Politécnica de Madrid 2019k).

La Escuela se fundó con el Real Decreto de 4 de septiembre de 1850 por el que se crea el Real Instituto Industrial de Madrid. En este se impartían las enseñanzas de Ingeniero Mecánico y Químico, otorgando a los estudiantes que cursaban ambas el título de Ingeniero Industrial.

Tras la desaparición de la Escuela en 1867, se reabrió en 1901 como la Escuela Central de Ingenieros Industriales de Madrid y se estableció en la calle Fuencarral. La ubicación se cambió finalmente a la actual en el Paseo de la Castellana, tras observar el aumento del número de alumnos.

En 1957 se aprueba la Ley de Enseñanzas Técnicas y se reforma el plan de estudios. En este nuevo plan se suprime el examen de ingreso y se implementan dos cursos introductorios (Selectivo y de Iniciación), además de cinco años de carrera y un proyecto final. En este momento la escuela comienza a llamarse Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid.

En 1964 se modifica el plan de estudios teniendo una duración de cinco años. En 1971 se introduce en la Universidad Politécnica de Madrid. En 1976 se vuelve a aumentar la duración del plan de estudios a seis años. En 2000 se modificó el plan de estudios hasta que en 2010 se adapta la titulación al Plan Bolonia (Espacio Europeo de Educación Superior) (ETSII-UPM 2019).

5.1.4. Campus Montegancedo

El Campus Montegancedo se sitúa en los términos municipales de Boadilla del Monte, Pozuelo de Alarcón y Alcorcón (Madrid), tal como se puede observar en la Figura 22.

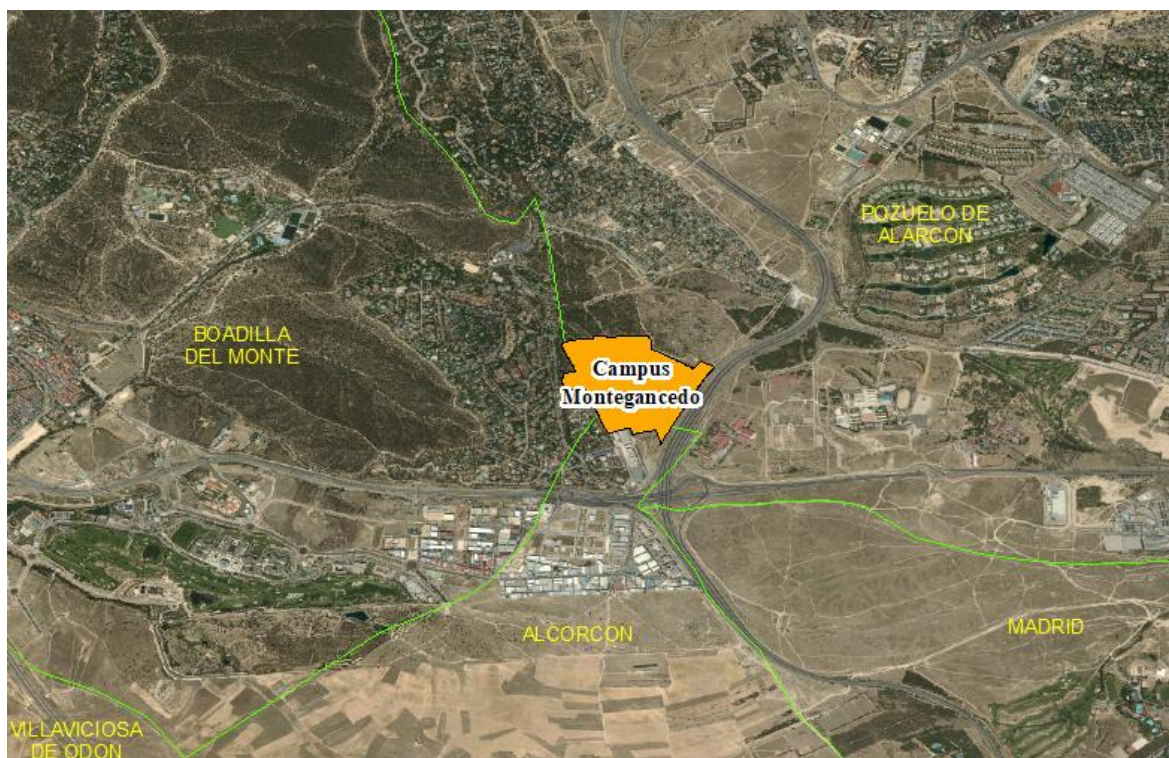


Figura 22. Emplazamiento del Campus Montegancedo.

Según catastro los años de construcción de las instalaciones son del año 1985 (Escuela Técnica Superior de Ingenieros Informáticos) y del año 2012 el resto de las instalaciones. El Campus se encuentra integrado por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Informáticos y por diferentes centros de investigación.

5.1.4.1. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Informáticos

El Instituto de Informática de Madrid se creó por Decreto en 1969, dependiente del Ministerio de Educación y Ciencia. Tras diversos cambios en los planes de estudios, en 1974 se emite un informe sobre los estudios de Informática.

La Facultad de Informática de Madrid se creó en 1976. Los planes de estudios del instituto pasaron a ser planes a extinguir dentro de la facultad, en 1977 se dictaron las normas para la implantación de las enseñanzas en las Facultades de Informática que comenzaron en 1977 (Universidad Politécnica de Madrid 2019b).

5.1.4.2. Centros de Investigación

Los centros de investigación que se encuentran en el Campus son los siguientes (Universidad Politécnica de Madrid 2019b):

1. Centro de Investigación en Biotecnología y Genómica de Plantas (CBGP) tiene como finalidad contribuir al desarrollo sostenible de los sectores agrícola, forestal y medioambiental a través de la Bio- Economía Basada en el Conocimiento (KBBE) y aumentar la competitividad de la investigación y producción en estas áreas. En este se encuentran colaborando la UPM y el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), y fue creado en 2005 (UPM Sostenible 2018).

2. Centro de Tecnología Biomédica (CTB) es un centro tecnológico y de investigación que tiene como finalidad: abordar grandes retos científicos de salud y biomedicina; facilitar el desarrollo de productos de tecnología biomédica para su transferencia a la industria; y configurar un entorno propicio para la formación de nuevos investigadores y profesionales del campo. En este se desarrolla investigación en distintos grupos de trabajo.
3. Instituto de Microgravedad “Ignacio Da Riva”: es un Instituto Universitario de Investigación cuyas actividades de I+D están centradas en la tecnología aeroespacial, la aerodinámica experimental y la energía eólica.
4. Centro de Domótica Integral (CeDINT-UPM): la misión de este centro de I+D es constituirse como referencia y soporte científico- tecnológico actuando como impulsor de innovación y facilitando la transferencia tecnológica a las empresas de su entorno.

5.1.5. Campus Sur

Este Campus se encuentra ubicado en el km 7 de la carretera de Valencia, el año de su construcción se presenta en torno al año 1972. Este Campus se encuentra constituido por la E.T.S. de Ingeniería de Sistemas Informáticos, la E.T.S. de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación, la E.T.S. en Topografía, Geodesia y Cartografía, el Instituto de Investigación del Automóvil (INSIA), el Centro Superior de Diseño de Moda de Madrid (centro adscrito a la UPM) y el Centro de Investigación en Tecnologías Software y Sistemas Multimedia para la Sostenibilidad. Además, Campus Sur consta de una biblioteca y de instalaciones deportivas. Las diferentes instalaciones pueden observarse en la Figura 23.



Figura 23. Distribución de las instalaciones del Campus Sur. Para esta ilustración de los límites se emplean diferentes colores (aleatorios) para apreciarlos mejor.

5.1.5.1. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sistemas Informáticos

La Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sistemas Informáticos (ETSISI) se creó en 1978, y desde su creación ha sido el Centro de referencia de la Ingeniería Técnica Informática en España.

Tras la reciente construcción del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) ha permitido ampliar la oferta educativa, ofreciendo máster y doctorado por primera vez (ETSISI 2019).

5.1.5.2. Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación

La Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación (ETSIST) se creó en 1913 como Escuela General de Telegrafía, donde se enseñaban los conocimientos para desempeñar en España los servicios de telecomunicación.

En 1920 se impartían tres grados: elemental, medio (actual Ingeniero Técnico de Telecomunicación) y superior (actual Ingeniero de Telecomunicación). En 1930, se crea la Escuela Oficial de Telecomunicación, donde se impartían los estudios de: Oficial Técnico de Instalaciones y Aparatos; Radiotelegrafistas, Radiotelefonistas y Peritos de Radiocomunicación; e Ingeniero de Telecomunicación.

En 1946 se establecen las enseñanzas de Ayudantes de Telecomunicación con dos especialidades: Radio, y Líneas y Centrales.

Con la ley de 20 de julio de 1957, sobre Ordenación de las Enseñanzas Técnicas, todas las Escuelas Técnicas pasan a depender del Ministerio de Educación Nacional, como Escuelas de Ingenieros y de Peritos de Telecomunicación.

Los planes de estudios sufrieron más cambios a lo largo de los años, concretamente en los años 1964, 1966, 1992, 1995, 1998, 2006 y 2008. Tras las modificaciones en 2009 se propone la siguiente oferta educativa en grados: Grados en Ingeniería Electrónica de Comunicaciones, en Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación, en Ingeniería de Sonido e Imagen y en Ingeniería Telemática, y un doble grado en Ingeniería Electrónica de Comunicaciones e Ingeniería Telemática, además de una selecta oferta de titulaciones de Máster y doctorado.

En 1972 la escuela se traslada a su actual ubicación en Campus Sur y se integra en la Universidad Politécnica de Madrid (Universidad Politécnica de Madrid 2019h).

5.1.5.3. Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía

La creación de la actual Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía fue impulsada por el Instituto Geográfico y Catastral (IGC). Siendo en 1954 cuando se creó la Escuela de Topografía, dependiente del Ministerio de Educación Nacional. La misión de esta Escuela ha sido la formación de Topógrafos, habilitando a sus titulados, para el libre ejercicio de la profesión y para ingresar como funcionarios en el Cuerpo Nacional de Topógrafos Ayudantes de Geografía y Catastro.

En el año 1971 se integra en la Universidad Politécnica de Madrid y se implementa con carácter general en el curso 1972-73, del primer curso de enseñanzas de nivel universitario dentro del

nuevo Plan de Estudios. Este se modificó en 1990 y finalmente en 2007 con la actualización de las titulaciones al plan Bolonia (Universidad Politécnica de Madrid 2019j).

5.1.5.4. Instituto de Investigación del Automóvil (INSIA)

El Instituto de Investigación del Automóvil (INSIA) es un instituto de investigación creado en 1993, adscrito a la ETSI Industriales, que forma parte del Parque Científico y Tecnológico de la UPM (INSIA 2015).

El INSIA dispone del personal investigador con alta cualificación, con más de 25 años de experiencia en proyectos de I+D+i relacionados con el mundo de la automoción, la seguridad de los vehículos y tráfico y más recientemente con su impacto ambiental.

El Instituto cuenta con relevantes estudios de accidentología, transporte, seguridad pasiva en autobuses, autocares y vehículos industriales, biomecánica aplicada a la protección de ocupantes y peatones en accidentes, sistemas inteligentes e ingeniería de vehículos. Asimismo, está autorizado como laboratorio oficial para realizar ensayos de homologación de vehículos y componentes en diversos reglamentos y directivas (autobuses y autocares, estabilidad, neumáticos, asientos, sistemas de retención) y reformas de importancia (Universidad Politécnica de Madrid 2019n).

5.1.5.5. Centro Superior de Diseño y Moda de Madrid (CSDMM)

El Centro Superior de Diseño y Moda de Madrid (CSDMM) nace como iniciativa de la Cámara de Comercio e Industria de Madrid en 1984.

Actualmente, es un centro de enseñanzas superiores de carácter privado, adscrito a la UPM desde 1985.

Desde 1986 el CSDMM se dedica a la enseñanza, investigación y actualización formativa en el campo de la creación, gestión, producción y promoción de la moda (CSDMM 2012).

5.1.5.6. Centro de Investigación en Tecnologías Software y Sistemas Multimedia para la Sostenibilidad (CITSEM)

El Centro de Investigación en Tecnologías Software y Sistemas Multimedia para la Sostenibilidad (CITSEM) se creó en 2011 con el fin de fortalecer y promover la I+D+i y la captación de talento investigador en el Campus Sur de la UPM (CITSEM 2019).

Este centro se encuentra integrado por tres grupos de trabajo:

- Grupo de diseño electrónico y microelectrónico (GDEM)
- Grupo de Tecnología Software y Sistemas (SYST)
- Grupo de Aplicaciones Multimedia y Acústica (GAMMA)

5.1.6. Tecnogetafe

Tecnogetafe es un Parque Científico y Tecnológico para empresas tecnológicamente avanzadas e innovadoras. La misión principal es facilitar la cooperación y la transferencia de conocimientos entre el sector empresarial y los centros tecnológicos. Sus instalaciones se encuentran ubicadas en Getafe y Pinto (CISET. Centro de Innovación 2019), como se puede observar en la Figura 24.

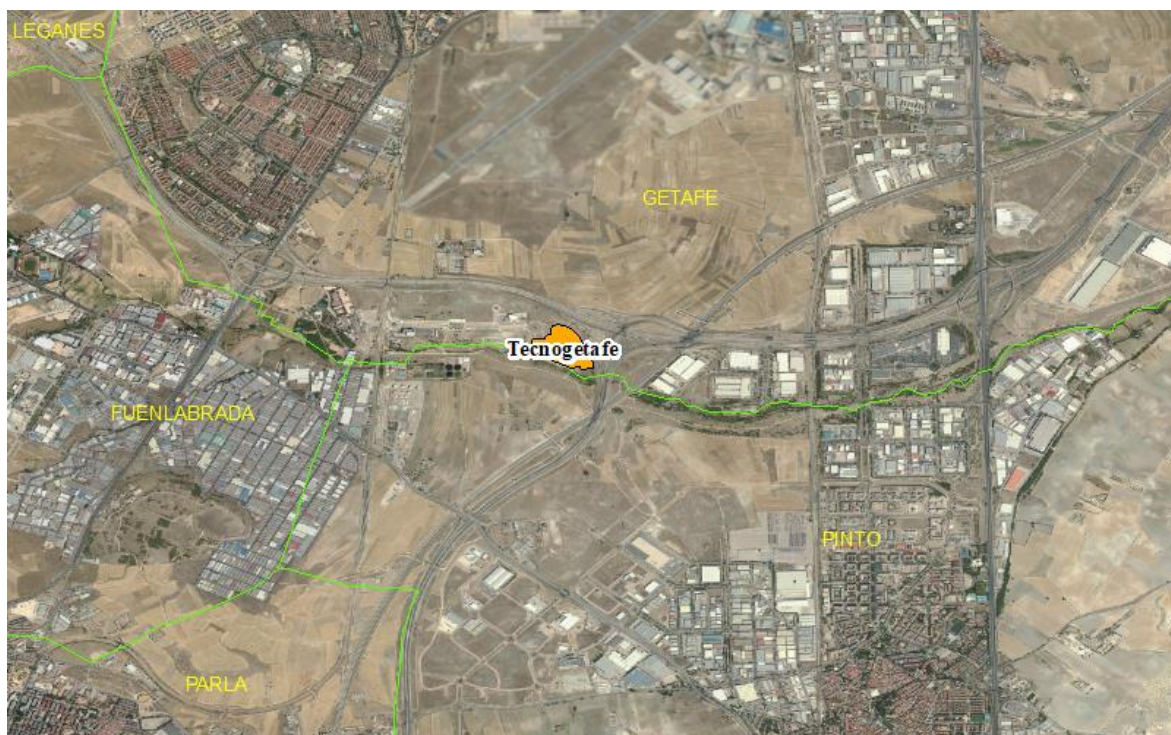


Figura 24. Emplazamiento de las instalaciones de Technogetafe.

Las empresas que se instalan en este parque tecnológico deben ser innovadoras y contar con un importante desarrollo de I+D. Lo que supone una gran motivación para la instalación de la UPM en esta infraestructura. La UPM cuenta con 10 edificios en las instalaciones, en los cuales se encuentran un edificio de servicios centrales, y los Centros Tecnológicos de Minas, Aeronáutico e Industrial.

El Centro Tecnológico Industrial está integrado por el Laboratorio Central Oficial de Electrotecnia (LCOE), con sus divisiones de baja tensión y compatibilidad Electromagnética, vehículos y alta tensión, y los Laboratorios de Energía Solar térmica e Hidrógeno.

En el Centro Tecnológico Aeronáutico se encuentran los laboratorios de Materiales Avanzados Aeronáuticos, de Turbomaquinaria y Aeroacústica. Además, se incluye el Centro de Investigación sobre Control de Tráfico Aéreo, como una agrupación de interés económico entre AENA y la UPM.

Finalmente, en el Centro Tecnológico de Minas se encuentran los laboratorios José de Madariaga (LOM), de Ensayos de Materiales para la Construcción, de Petróleos Gómez Pardo (UPM-FGP) y de Ensayos de Inflamabilidad (Technogetafe 2019).

5.2.CARTOGRAFÍA

Una vez cartografiados los límites de la UPM con la ayuda de catastro, se hubieron de corregir los límites de las siguientes escuelas tras la visita a campo:

- INEF, dentro de catastro se incluyen en los límites de esta escuela los límites del Consejo Superior de Deportes., el cual cede sus pistas de deportes a la escuela para poder llevar a cabo sus actividades deportivas.
- E.T.S.I Industriales cuyo edificio se encuentra integrado en el edificio del Museo de Ciencias Naturales, sin encontrarse los límites de no visitar directamente las instalaciones, y aun así no queda completamente clara la delimitación.
- La E.T.S.I Navales presenta una de sus zonas delimitadas con vallas sin incluir dentro de los límites de catastro.
- Para delimitar la E.T.S.I Civil se encontraron dificultades para conocer los límites debido a presentar diversos vallados en las instalaciones. Para acceder a las instalaciones se tiene una entrada peatonal con escaleras, cerrada al comienzo de las escaleras y al final, debido a esto los terrenos que se encuentran entremedias no se conoce la pertenencia porque según catastro solo una parte de este terreno pertenece a la escuela. Por tanto, se toma la decisión de exceptuarlo de los límites.
- La E.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos, a pesar de tener aparentemente bien delimitados los márgenes de las instalaciones, no se encuentra cerrado mediante vallas para garantizar la evaluación del total del arbolado de la UPM.
- Los límites de Campus Sur no se encuentran estipulados en ningún sitio, y a pesar de inventariar todos los terrenos que se han delimitado en este proyecto. Aparentemente según la información recogida por parte de los jardineros de Campus Sur, las isletas, los montículos y demás parterres de elementos viarios son mantenidos por parte de este personal.
- Los límites del Campus Montegancedo no se encuentran bien definidos según catastro, estimando el tipo de vegetación, las ortofotos y las visuales de StreetView, a parte de las dos parcelas en las cuales se encuentran instalaciones de la UPM, se introducen tres zonas de esquina dentro de los límites.

Aparición de terrenos extra, tal como se define en la metodología se toma como referencia la existencia de escuelas e instalaciones de la UPM para considerar dentro de catastro, pero tras hablar con el personal apareció otra zona a inventariar, el parking situado entre la ETSI de Montes, Forestal y del Medio Natural y el Rectorado. Al parecer según la información recogida en campo al conversar con los bedeles, jardineros y demás, se puso en mi conocimiento la transacción que la UPM y la UCM realizaron en torno a unos terrenos, recibiendo la UPM este Parking.

Una vez realizados los cambios se muestran en la Tabla 9 las superficies (ha) de cada centro e instalación de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

Tabla 9. Superficies estimadas para las instalaciones o centros de la UPM.

Instalación/ centro	Superficie (ha)
Biblioteca- Campus Sur	2,19
Campos de prácticas de agrónomos (Norte)	7,48
Campos de prácticas de agrónomos (Sur)	8,75
Campus Montegancedo	48,66
ETS Arquitectura- ETS Edificación	5,66
ETSI Aeronáutica y del espacio	3,39
ETSI Agronómica, alimentaria y de Biosistemas	6
ETSI Caminos, Canales y Puertos	6,49
ETSI Civil	0,51
ETSI Diseño Industrial	0,76
ETSI Industriales	2,13
ETSI Minas	0,99
ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural	9,86
ETSI Navales	2,29
ETSI Telecomunicación	5,27
ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía	1,45
ETSI y Sistemas de Telecomunicación	4,54
INEF	0,63
INSIA	3,78
Instalaciones deportivas Campus Sur	3,56
Parking del Rectorado	0,49
Rectorado	1,38
Tecnogetafe	10,12

5.3.INVENTARIO

Los datos del inventario de arbolado, junto con los valores de absorción de carbono de cada pie se recogen en los anexos 2 (ANEXO 2: INVENTARIO PIE A PIE), 3 (ANEXO 3: INVENTARIO A TRAVÉS DE SENSORES REMOTOS) y 4 (ANEXO 4: REVISIÓN DE INVENTARIOS PREVIOS). Además de la posterior representación del arbolado en el ANEXO 5: MAPAS DE ABSORCIÓN DE CO₂.

El inventario se llevó a cabo en diferentes días tal como se muestra la Tabla 10.

Tabla 10. Fecha del inventario de cada zona.

Centro/ Instalación	Fecha	Centro/ Instalación	Fecha
Biblioteca- Campus Sur	29/08/2019- Mañana	ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural	2013
Campos de prácticas de agrónomos (Norte)	23/09/2019	ETSI Navales	17/09/2019 y 18/09/2019
Campos de prácticas de agrónomos (Sur)	11/09/2019 y 12/09/2019	ETSI Telecomunicación	27/08/2019
Campus Montegancedo	20/10/2019	ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía	30/08/2019
ETS Arquitectura- ETS Edificación	13/09/2019, 16/09/2019 y 17/09/2019	ETSI y Sistemas de Telecomunicación	29/08/2019- Tarde
ETSI Aeronáutica y del espacio	18/09/2019 y 19/09/2019	INEF	13/09/2019
ETSI Agronómica, alimentaria y de Biosistemas	19/09/2019 y 20/09/2019	INSIA	30/08/2019
ETSI Caminos, Canales y Puertos	28/08/2019	Instalaciones deportivas Campus Sur	30/08/2019
ETSI Civil	03/09/2019	Parking del Rectorado	05/09/2019
ETSI Diseño Industrial	03/09/2019	Rectorado	26/08/2019
ETSI Industriales	04/09/2019	Tecnogetafe	-
ETSI Minas	03/09/2019		

Los resultados del inventario se describen a continuación.

5.3.1. Revisión de inventarios previos

Tras la investigación a cerca de inventarios previos se consiguieron los datos del Proyecto Fin de Carrera de 2013 “Catálogo vegetal del Arboreto de la E.T.S.I Montes. Directrices para su conservación”, de M^a Luisa Pérez Fernández, empleado como base para el cálculo de las absorciones de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del Arboreto de Montes, del Proyecto Fin de Carrera de 2015 de David Díaz Caja “Arboreto de Montes: Cálculo y Gestión de las absorciones de Gases de Efecto Invernadero”. En este catálogo se inventarían todos los pies que se encuentran dentro del arboreto, independientemente del tamaño de estos.

A pesar de ello, hay algunos pies que no presentan toda la información necesaria para poder emplearlos en el cálculo de la Contrahuella de Carbono (diámetro, altura y especie), estos pies son exceptuados de su cálculo, tal como se muestra más adelante.

Dentro de este Catálogo para facilitar la elaboración del inventario, el Arboreto se dividió en cuatro zonas que a su vez presenta ciertas subdivisiones:

- Zona A: subdividida en 11 zonas (color azul).
- Zona B: con 9 subdivisiones (color rojo).
- Zona C: subdividida en 8 zonas (color amarillo).
- Zona D: con 19 subzonas (color verde).

Tras la revisión se puede decir que:

- El Arboreto cuenta con 6136 individuos
- El Arboreto presenta en 10 ha 196 especies diferentes, lo que indica una gran riqueza florística.
- Dentro de los datos se encuentra que hay 60 pies son identificar o con identificación dudosa, 27 pies identificados no disponen de datos de diámetro y 9 pies identificados carecen de datos de altura y diámetro.

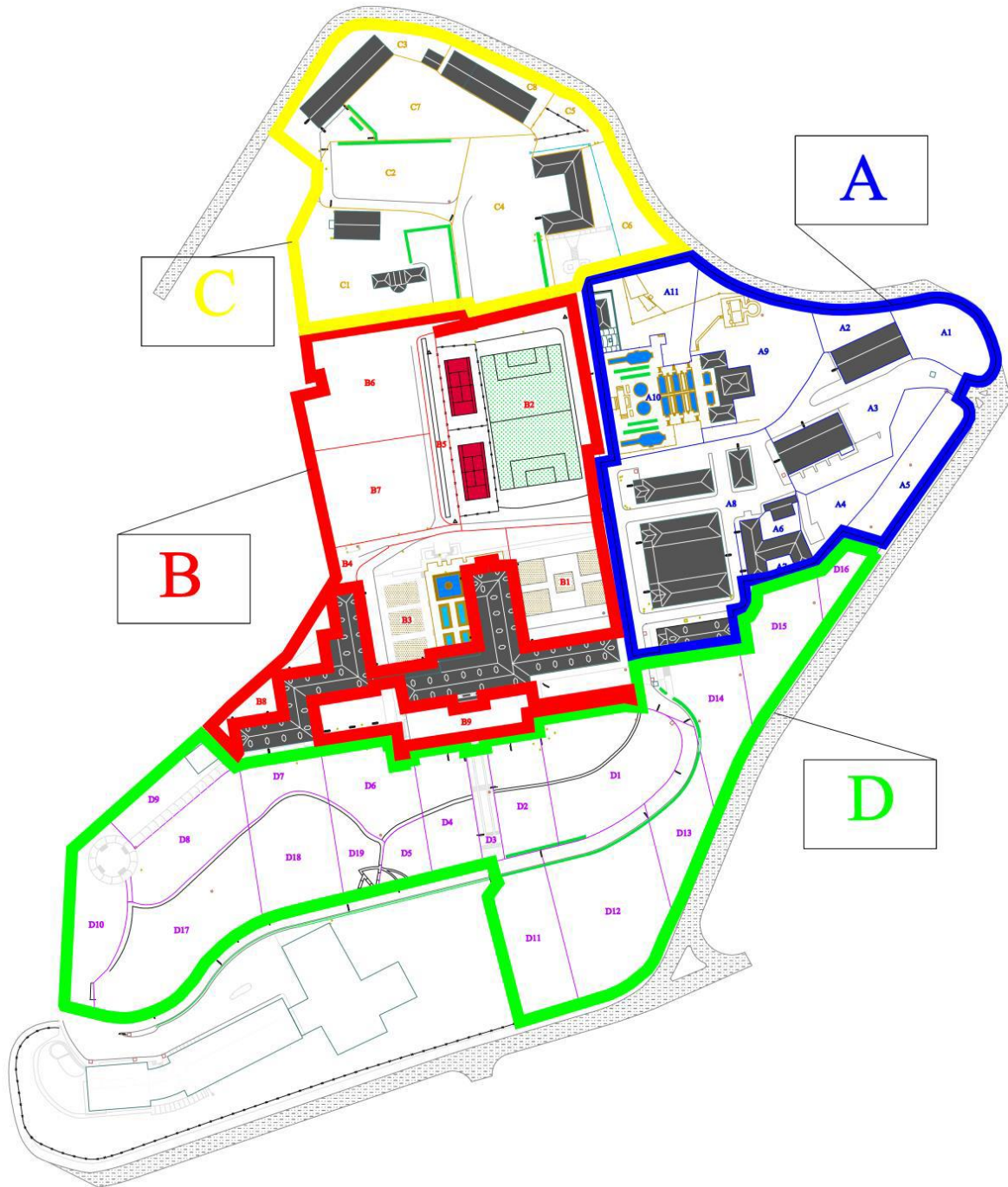


Figura 25. Zonificación del Arboreto. Fuente: Elaborado de Díaz Caja et al. 2015, modificado de Pérez Fernández y Escribano Bombín 2013.

5.3.2. Inventario pie a pie

El inventario pie a pie se realizó para todo el Campus Ciudad Universitaria, Campus Madrid Centro y Campus Sur.

Dentro de este inventario hay que destacar los problemas que se encontraron durante el inventario. Para comenzar no fue posible inventariar el Instituto universitario de investigación del automóvil (INSIA) debido a que las instalaciones se encuentran valladas y con acceso restringido. También se encontraron problemas de acceso dentro de los recintos del campo de prácticas de agrónomos, debido al cierre con candado de algunos de ellos, y la falta de visibilidad para estimar los diámetros y alturas de algunos pies. El problema de acceso dentro de los campos de prácticas es similar al problema encontrado con la E.T.S.I. Civil y una pequeña zona dentro de la ETSIAAB con el cierre de una de sus instalaciones Finalmente, destacar la existencia de la zona de protección del Palacio de la Moncloa, dentro de terrenos de la Universidad Politécnica de Madrid, como son el pinar de la E.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos y parte de los campos de prácticas de la ETSIAAB.

Durante el inventario también se observó el estado del arbolado, de forma general se encontraron daños por podas y tratamientos agresivos.

Las especies de crecimiento rápido de forma general presentan problemas de chancros, cavidades u hongos. Concretamente en el chopo se aprecia la presencia de *Valsa sórdida*, chancro de los chopos, cuyo cuerpo de fructificación son alargados y anaranjados. Estos problemas se ven incrementados por el aumento de los episodios de fuertes vientos, que provocan caídas de árboles, tal como sucedió en el episodio de fuertes vientos de principios de 2019.

La zona de pinar de la ETSI Caminos, Canales y Puertos es demasiado densa, con pies con alto coeficiente de esbeltez.

En escuelas como la ETSI Telecomunicación o la ETS Arquitectura y ETS Edificación se encuentran un número elevado de árboles muertos en pie. En el primer caso se trata de ejemplares de cedros que en el caso de caer no presentarían graves problemas en la población. En el segundo, son chopos que se encuentran en una zona céntrica de la escuela, y que por ello pueden presentar un peligro potencial para los transeúntes.

Además de todo se detectaron chancros debidos a un exceso de insolación en el tronco, en los castaños de indias (*Aesculus hippocastanum*) de la ETS Arquitectura y ETS Edificación. Este daño se encontró en otras zonas.

Aun así, se puede destacar de forma positiva la formación de plátanos que se encuentra en la ETSI Naval, por su estructura y tratamientos.

5.3.3. Inventario a través de sensores remotos

Como se ha definido en los materiales y métodos este se realiza en diferentes fases: representación de árboles, descarga y procesado de los datos LiDAR y la estimación de diámetros y alturas.

Para la estimación de los diámetros una vez se conocen las alturas se han hallado las curvas de regresión descritas a continuación:

- Encina (*Quercus ilex*): para esta especie se emplea una línea de tendencia potencial (Figura 26):

$$D_n = 1,333h^{1,483}$$

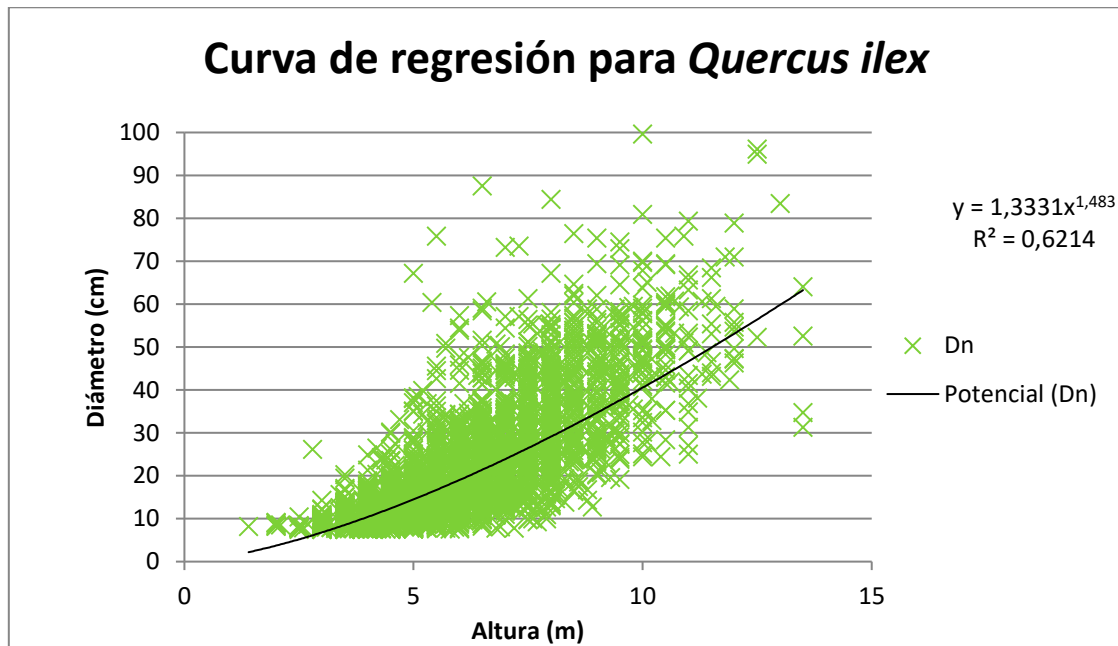


Figura 26. Curva de regresión para la encina (*Quercus ilex*). Fuente: Elaboración propia.

- Pino piñonero (*Pinus pinea*): para esta especie lo que mejor se ajusta es una curva de tipo potencial (Figura 27):

$$D_n = 3,763h^{0,966}$$

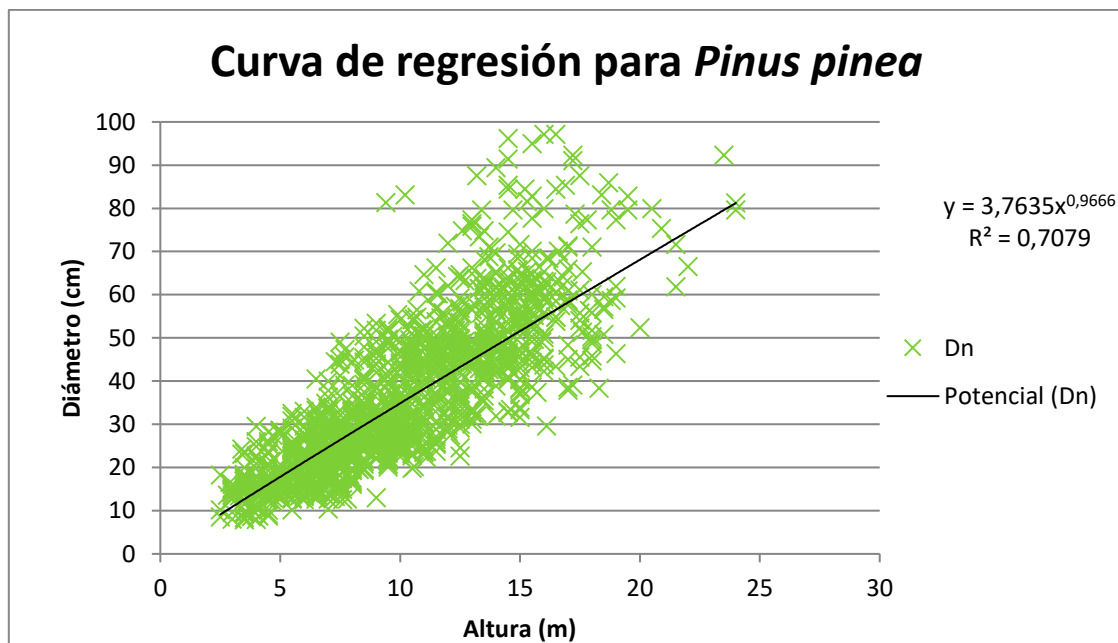


Figura 27. Curva de regresión para el pino piñonero (*Pinus pinea*). Fuente: Elaboración propia.

- *Populus alba*: la curva de esta especie se ajusta mejor para una función polinómica (Figura 28):

$$D_n = 0,057h^2 - 0,702h + 54,48$$

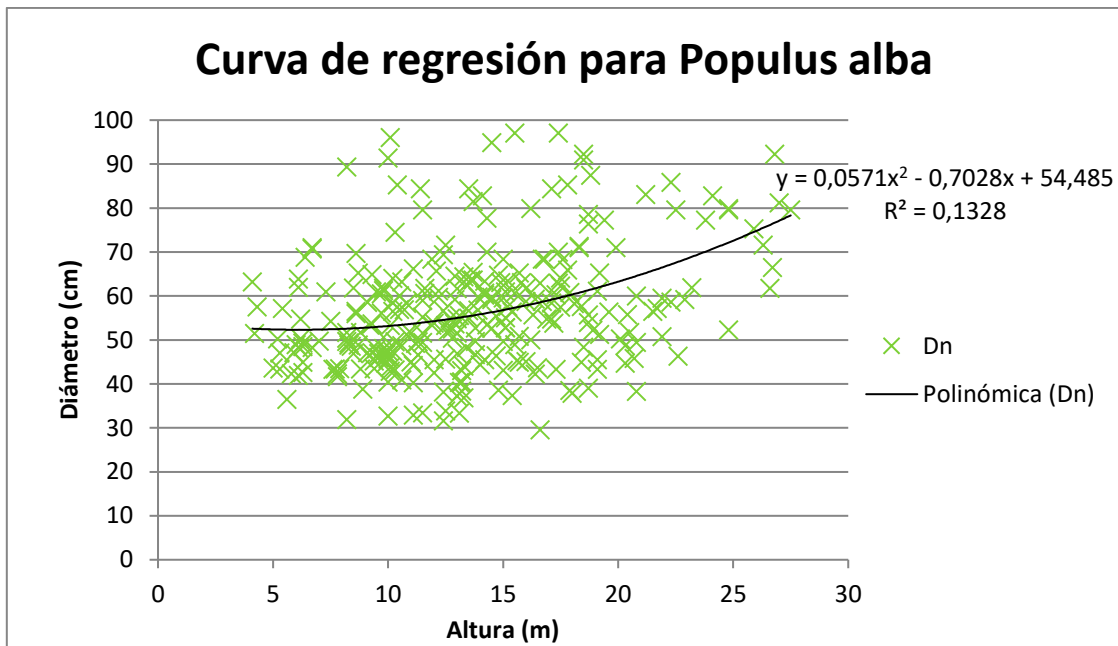


Figura 28. Curva de regresión para *Populus alba*. Fuente: elaboración propia.

- Olmo (*Ulmus* sp.): la línea de tendencia que mejor ajusta al olmo es polinómica (Figura 29):

$$D_n = 0,102h^2 - 0,041h + 10,91$$

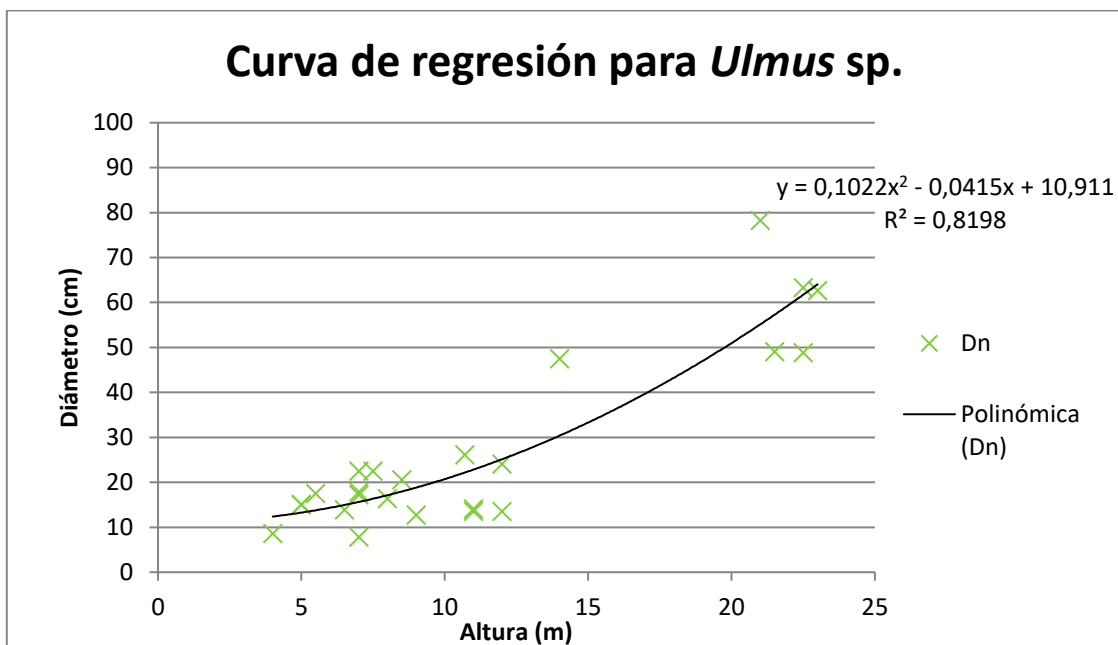


Figura 29. Curva de regresión para el Olmo (*Ulmus* sp.). Fuente: elaboración propia.

- Olivo (*Olea europaea*): la curva de regresión que mejor se ajusta es la potencial (Figura 30):

$$D_n = 9,519h^{0,459}$$

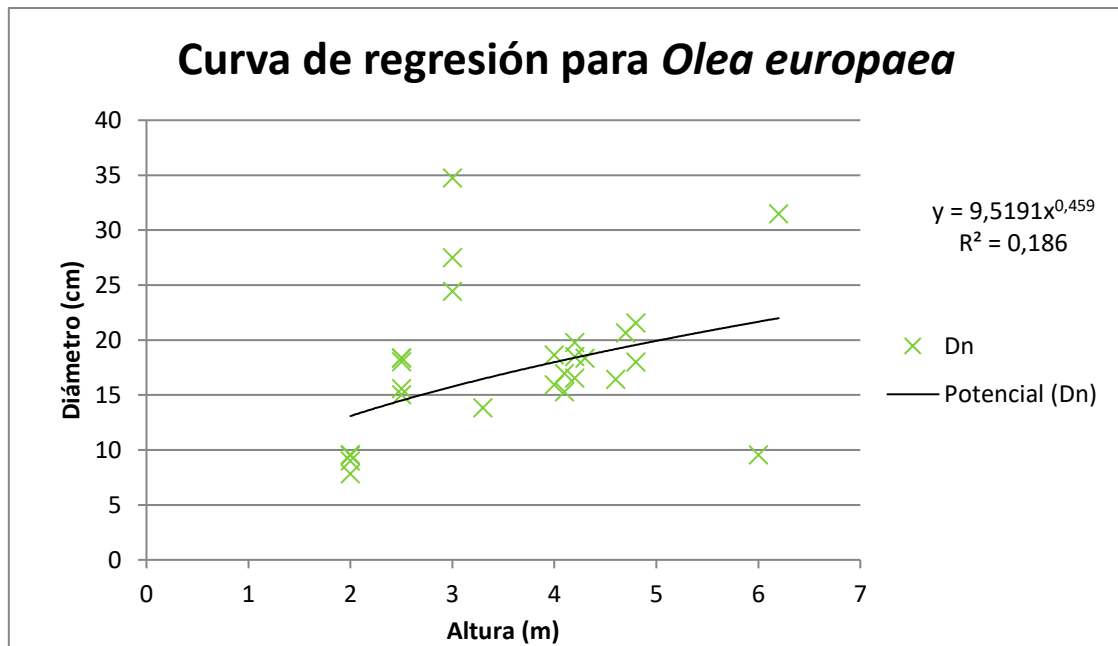


Figura 30. Curva de regresión para el Olivo (*Olea europaea*). Fuente: elaboración propia.

- *Cupressus arizonica*: la mejor línea de tendencia para esta especie es la polinómica, pero al emplearla para hallar los diámetros genera valores negativos, por lo que se toma la función potencial (Figura 31):

$$D_n = 1,809h^{1,1911}$$

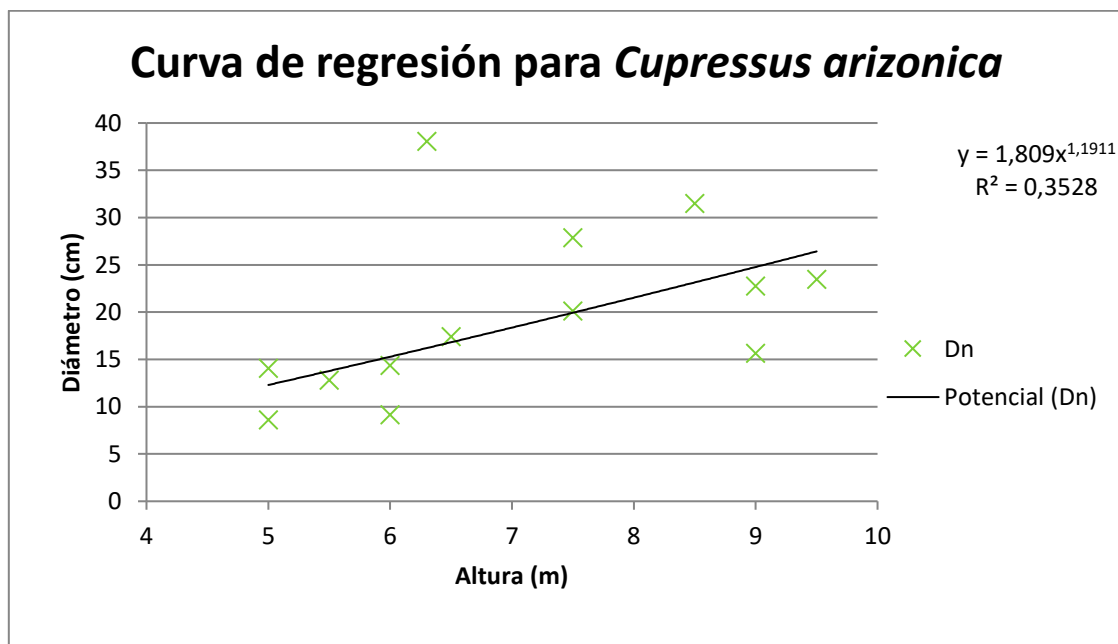


Figura 31. Curva de regresión para *Cupressus arizonica*. Fuente: elaboración propia.

- Cedro (*Cedrus* sp.): para el cedro debido a la escasa representación en el IFN3, solo un pie, se toman los datos propios del inventario, finalmente la curva elegida es potencial (Figura 32):

$$D_n = 2,548h^{1,097}$$

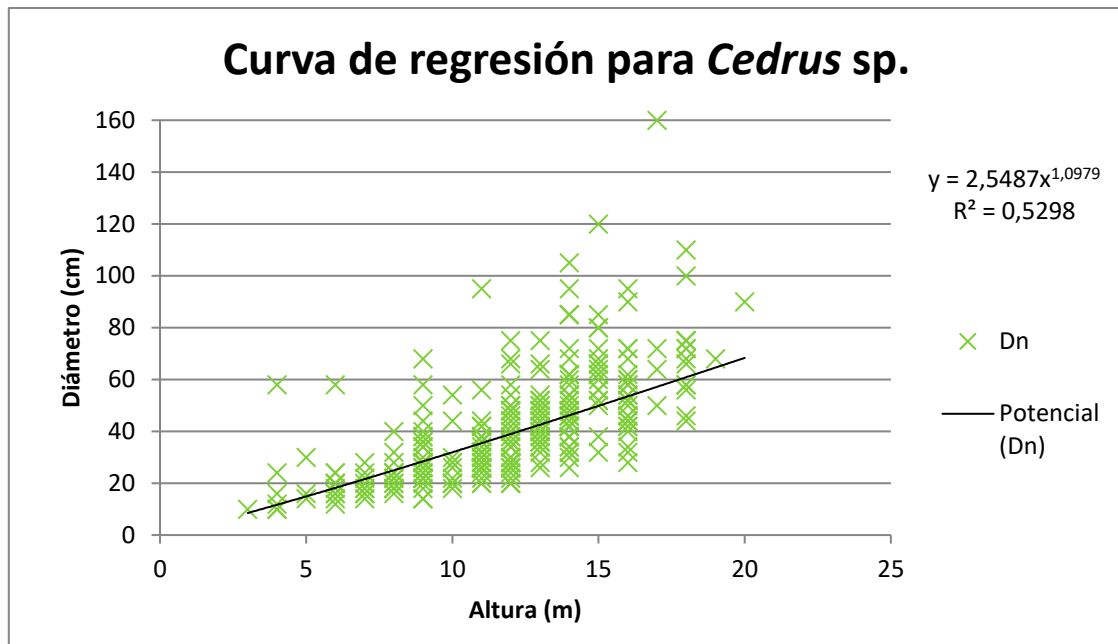


Figura 32. Curva de regresión para *Cedrus* sp.. Fuente: elaboración propia.

- *Cupressus sempervirens*: para esta especie la regresión que mejor ajusta es la polinómica (Figura 33):

$$D_n = -0,080h^2 + 2,990h - 1,386$$

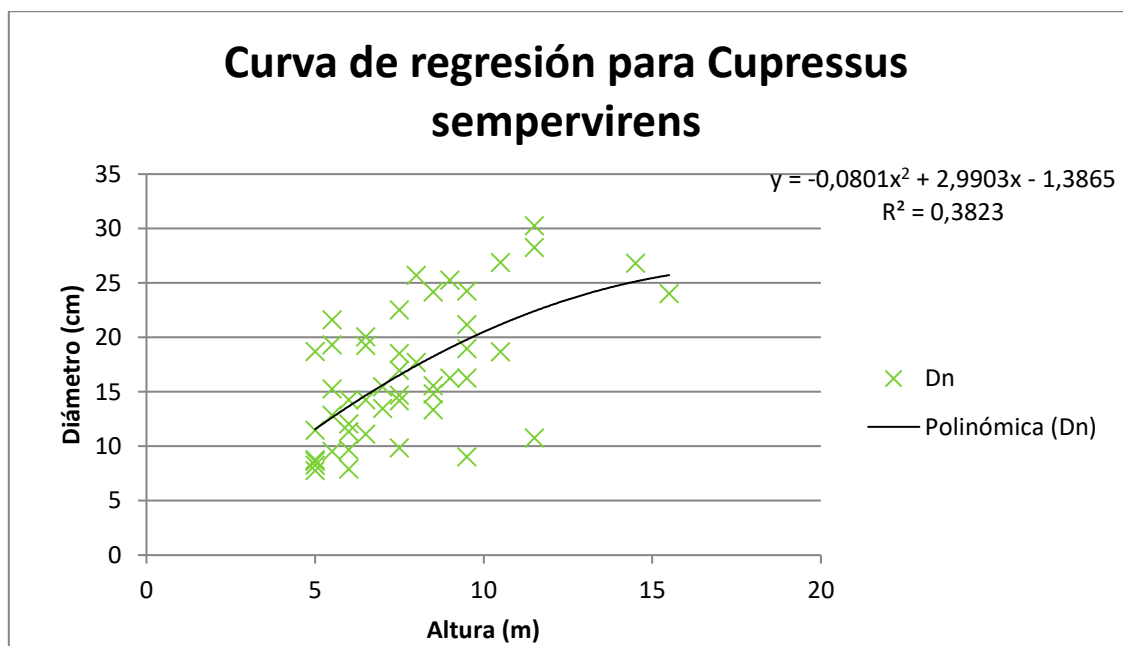


Figura 33. Curva de regresión para *Cupressus sempervirens*. Fuente: elaboración propia.

5.3.1. Inventario Tecnogetafe

El Parque Científico y Tecnológico Tecnogetafe no ha sido inventariado debido a la escasa vegetación visualizada a través de la ortofoto más actualizada. Se contabilizaron menos de 40 árboles de porte aparentemente no muy elevado, y puesto que una de las finalidades de este proyecto es la contabilización de contrahuella de carbono, se estimó que los costes de huella de

carbono directos e indirectos serían suficientemente elevados para no realizar la visita. Además, como la precisión del método de estimación por sensores es baja cuando se presenta bajo número de pies se decidió que el método tampoco sería efectivo para esta zona.

5.3.2. Inventario

Los resultados unificados del inventario se muestran a continuación.

Los datos según tipo de inventario se recogen en la Tabla 11 y la Figura 34. El total de pies inventariados es 11.920 pies en las tres metodologías empleadas. Cabe destacar el inventario pie a pie con 4.899 pies estudiados, y el número de pies evaluados durante la revisión de inventarios con 3.438 pies en la ETSIMFMN.

Tabla 11. Datos del inventario según el tipo de inventario.

Tipo de Inventario	nº pies
Pie a pie	4899
Sensores remotos	3583
Revisión de inventarios	3438
Total de pies inventariados	11920

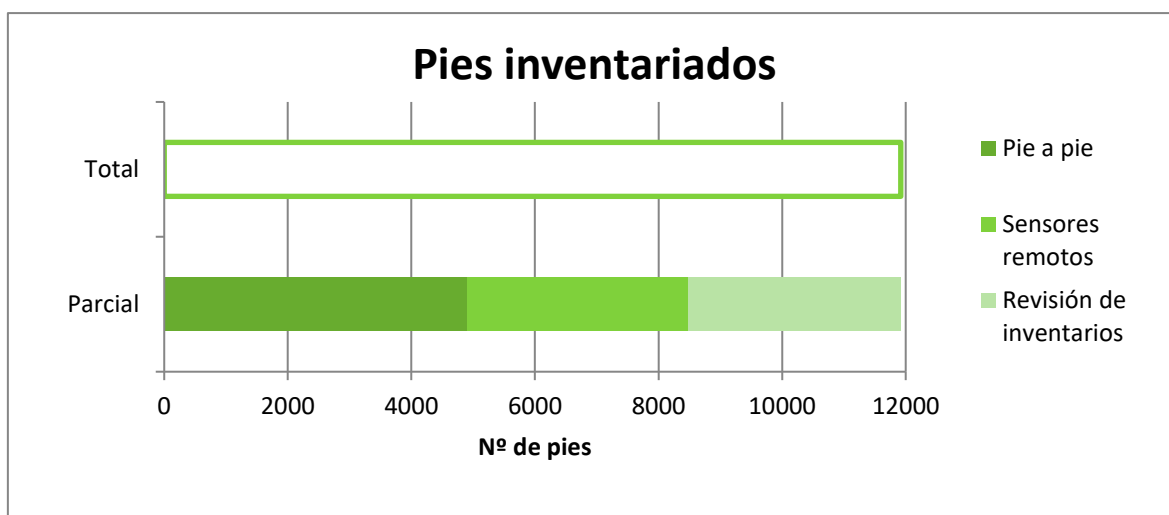


Figura 34. Representación gráfica de los datos del inventario en relación con la metodología de inventario.

Los datos de inventario según el campus se muestran en la Tabla 12 y la Figura 35. Del total de pies inventariados (11.920 pies), destaca Montegancedo con 3.583 pies procedentes mayoritariamente de regeneración natural, encinas en estado adherado, y el Campus Ciudad Universitaria donde la mayoría de los 7.148 pies inventariados pertenecen a la ETSIMFMN.

Tabla 12. Resultados del inventario según el campus.

Campus	Nº de pies
Campus Ciudad Universitaria	7148
Campus Sur	1050
Campus Madrid Centro	139
Campus Montegancedo	3583
Tecnogetafe	0
Total	11920

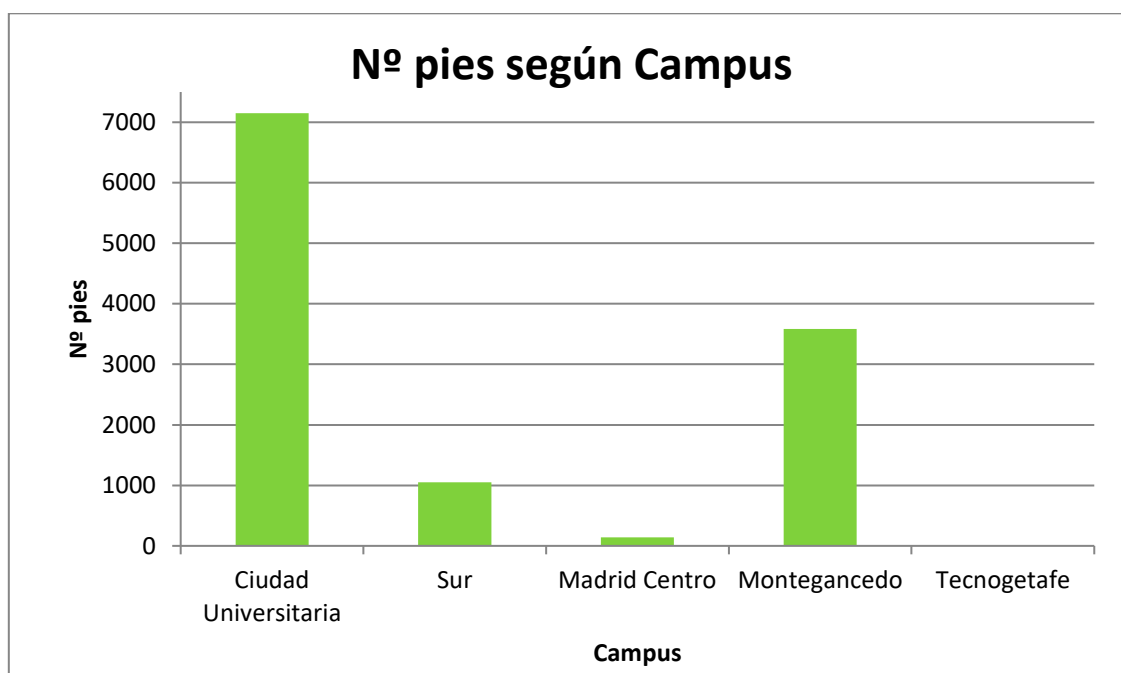


Figura 35. Representación gráfica de los resultados del inventario según el Campus.

Los datos de inventario según el centro o la instalación se muestran en la Tabla 13 y la Figura 36. El número de pies de la ETSIMFMN 3.438 es el valor más destacable, esto se debe al diferente rango de pies inventariados, es decir, se inventarían todos los pies no solo los pies de más de 8 cm de diámetro y 2 m de altura, y a la finalidad del arboreto de la escuela como espacio formativo. También destaca que la ETSIAAB no es de las primeras escuelas en número de pies, en el recinto de la escuela, a pesar de ser una de las escuelas destacadas por su bosque urbano.

Tabla 13. Resultados de inventario en función del centro o la instalación.

Centro/ Instalación	Nº de pies	Centro/ Instalación	Nº de pies
Biblioteca- Campus Sur	183	ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural	3438
Campos de prácticas de agrónomos (Norte)	523	ETSI Navales	399
Campos de prácticas de agrónomos (Sur)	290	ETSI Telecomunicación	354
Campus Montegancedo	3583	ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía	163
ETS Arquitectura- ETS Edificación	594	ETSI y Sistemas de Telecomunicación	426
ETSI Aeronáutica y del espacio	423	INEF	20
ETSI Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas	360	INSIA	0
ETSI Caminos, Canales y Puertos	529	Instalaciones deportivas Campus Sur	278
ETSI Civil	8	Parking del Rectorado	72
ETSI Diseño Industrial	g10	Rectorado	146
ETSI Industriales	107	Tecnogetafe	0
ETSI Minas	14		
TOTAL		11920	

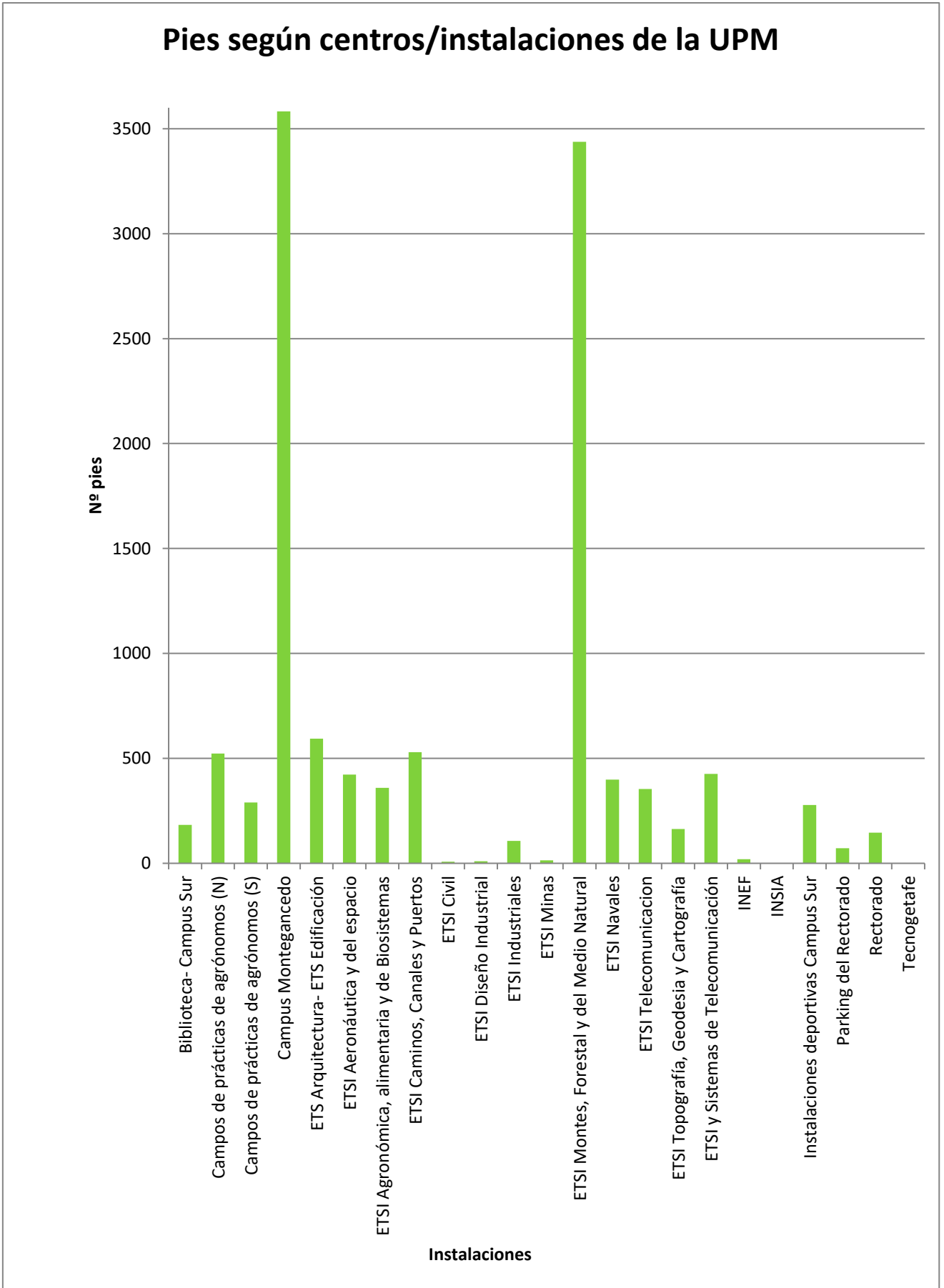


Figura 36. Representación gráfica de los resultados del inventario según los centros o instalaciones.

Los pies inventariados según las diferentes especies encontradas en durante el inventario se muestran en la Tabla 14 y la Figura 37. En la Tabla 14 se muestran todas las especies con la cantidad de pies de cada una, y en la Figura 37 se muestran igualmente las especies con su cantidad de pies, pero en este caso aquellas especies de menos de 50 pies se agrupan para visibilizar mejor la situación de las especies.

Se puede destacar primero que la diferencia en la persona que realiza el inventario da más o menos detalles del nombre de la especie, es el caso por ejemplo de la encina que en el inventario del arboreto se denomina por la variedad *Quercus ilex ssp. ilex* o *Quercus ilex ssp. ballota*, o del plátano (*Platanus orientalis var. acerifolia*). Conociendo esto se observa la predominancia de encina debido a la alta presencia de forma natural en el Campus Montegancedo. Además, destaca la alta presencia de especies de baja presencia en la UPM. También se encuentra alta presencia de *Pinus pinea*, *Cupressus sempervirens*, *Cupressus arizonica*, *Ulmus pumila* o *Platanus orientalis*.

Tabla 14. Número de pies por especie/ género.

Especie/ Género	Nº pies	Especie/ Género	Nº pies	Especie/ Género	Nº pies
Abies alba	12	Fraxinus ornus	1	Populus simonii	1
Abies concolor	2	Fraxinus sp.	11	Prunus armeniaca	3
Abies masjoanis	1	Ginkgo biloba	3	Prunus avium	75
Abies nordmanniana	5	Gleditsia triacanthos	224	Prunus cerasifera	51
Abies pinsapo	8	Hibiscus rosa-sinensis	1	Prunus cerasifera var. pissardi	2
Acacia dealbata	10	Ilex aquifolium	12	Prunus domestica	17
Acacia melanoxylon	10	Juglans regia	40	Prunus dulcis	72
Acer campestre	160	Juniperus chinensis	1	Prunus laurocerasus	17
Acer japonicum	1	Juniperus communis	1	Prunus lusitanica	17
Acer monspessulanum	4	Juniperus oxycedrus	1	Prunus mahaleb	5
Acer negundo	37	Juniperus phoenicea	5	Prunus padus	5
Acer opalus var. granatense	2	Juniperus sp.	3	Prunus persica	5
Acer palmatum	2	Juniperus virginiana	4	Prunus serrulata	2
Acer platanoides	22	Koelreuteria paniculata	27	Prunus sp.	26
Acer pseudoplatanus	35	Laburnum anagyroides	7	Prunus spinosa	3
Acer saccharum	1	Lagerstroemia indica	13	Pseudotsuga menziesii	1
Acer sp.	15	Larix decidua	1	Punica granatum	6
Actinidia chinensis	1	Laurus nobilis	68	Pyrus sp.	15
Aesculus carnea	5	Ligustrum japonicum	191	Quercus canariensis	31

<i>Aesculus hippocastanum</i>	51	<i>Ligustrum lucidum</i>	57	<i>Quercus castaneifolia</i>	1
<i>Ailanthus altissima</i>	253	<i>Liquidambar formosa</i>	1	<i>Quercus coccifera</i>	4
<i>Albizia julibrissin</i>	4	<i>Liquidambar styraciflua</i>	21	<i>Quercus faginea</i>	13
<i>Amelanchier ovalis</i>	2	<i>Liriodendron tulipifera</i>	1	<i>Quercus humilis</i>	7
<i>Amorpha</i> sp.	2	<i>Lonicera xylosteum</i>	1	<i>Quercus ilex</i>	3024
<i>Arbutus menziesii</i>	2	<i>Magnolia grandiflora</i>	54	<i>Quercus ilex</i> ssp. <i>ballota</i>	162
<i>Arbutus unedo</i>	145	<i>Magnolia soulangeana</i>	1	<i>Quercus ilex</i> ssp. <i>ilex</i>	2
<i>Betula pendula</i>	17	<i>Malus pumila</i>	1	<i>Quercus petraea</i>	4
<i>Brachychiton acerifolium</i>	2	<i>Malus</i> sp.	48	<i>Quercus pyrenaica</i>	6
<i>Broussonetia papyrifera</i>	5	<i>Melia azedarach</i>	28	<i>Quercus robur</i>	21
<i>Buxus sempervirens</i>	3	<i>Morus</i> sp.	52	<i>Quercus rubra</i>	14
<i>Capparis spinosa</i>	9	<i>Nerium oleander</i>	13	<i>Quercus suber</i>	137
<i>Caragana</i> sp.	1	<i>Olea europaea</i>	90	<i>Robinia pseudoacacia</i>	118
<i>Carpinus Betulus</i>	3	<i>Olea europaea</i> var. <i>europaea</i>	17	<i>Robinia</i> sp.	4
<i>Castanea sativa</i>	11	<i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i>	1	Rosaceae	1
<i>Casuarina</i>	2	<i>Parrotia</i> sp.	1	<i>Salix</i> sp.	3
<i>Casuarina cunninghamiana</i>	1	<i>Paulownia</i> sp.	135	<i>Sequoia sempervirens</i>	1
<i>Catalpa bignonioides</i>	4	<i>Phillyrea angustifolia</i>	4	<i>Sequoiadendron giganteum</i>	4
<i>Cedrus atlantica</i>	56	<i>Phillyrea latifolia</i>	8	<i>Sophora japonica</i>	59
<i>Cedrus deodara</i>	123	<i>Phillyrea media</i>	7	<i>Sorbus aria</i>	1
<i>Cedrus</i> sp.	376	<i>Phoenix canariensis</i>	11	<i>Sorbus aucuparia</i>	3
<i>Celtis australis</i>	50	<i>Photinia serratifolia</i>	5	<i>Sorbus domestica</i>	67
<i>Ceratonia siliqua</i>	1	<i>Picea abies</i>	9	<i>Sorbus mougeotii</i>	1
<i>Cercis siliquastrum</i>	27	<i>Picea pungens</i>	2	<i>Syringa vulgaris</i>	37
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	9	<i>Picea</i> Sp.	1	<i>Tamarix</i> sp.	18
<i>Chamaerops humilis</i>	3	<i>Pinus canariensis</i>	3	<i>Taxus baccata</i>	16
<i>Citrus sinensis</i>	1	<i>Pinus coulteri</i>	1	<i>Tetraclinis articulata</i>	3
<i>Cornus mas</i>	7	<i>Pinus excelsa</i>	1	<i>Thuja occidentalis</i>	13
<i>Cornus sanguinea</i> ssp. <i>sanguinea</i>	4	<i>Pinus halepensis</i>	270	<i>Thuja plicata</i>	8
<i>Corylus avellana</i>	6	<i>Pinus insignis</i>	1	<i>Tilia cordata</i>	2
<i>Cotinus coggygria</i>	19	<i>Pinus nigra</i>	7	<i>Tilia platyphyllos</i>	10

Crataegus monogyna	57	Pinus pinaster	53	Tilia sp.	43
Cupressus arizonica	702	Pinus pinea	1142	Trachycarpus fortunei	2
Cupressus sempervirens	601	Pinus sp.	6	Ulmus glabra	13
Cydonia oblonga	3	Pinus sylvestris	82	Ulmus laevis	1
Diospyros kaki	1	Pinus uncinata	1	Ulmus minor	2
Elaeagnus angustifolia	16	Pistacia lentiscus	4	Ulmus pumila	628
Erica arborea	2	Pistacia terebinthus	1	Ulmus sp.	110
Eriobotrya japonica	1	Pistacia vera	15	Viburnum lantana	4
Eucalyptus camaldulensis	4	Pittosporum tobira	42	Viburnum opalus	2
Eucalyptus globulus	3	Platanus orientalis	534	Viburnum tinus	3
Euonymus europaeus	2	Platanus orientalis var. acerifolia	100	Vitex agnus-castus	17
Fagus sylvatica	4	Platycladus orientalis	76	Vitis vinifera	1
Ficus carica	12	Populus alba	246	Zelkova ulmifolia	2
Fraxinus angustifolia	26	Populus bolleana	153	Ziziphus jujuba	1
Fraxinus excelsior	3	Populus nigra	22		

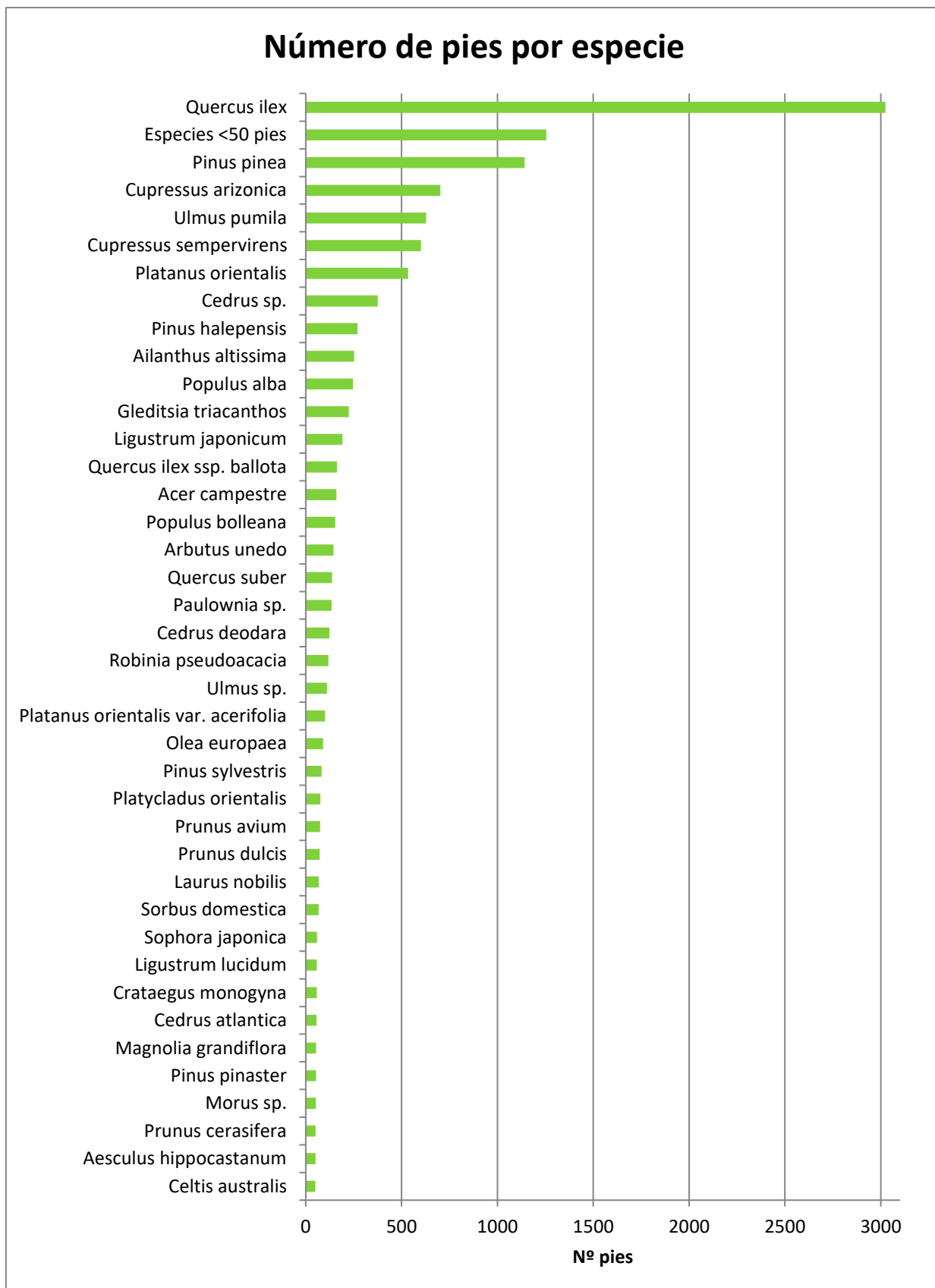


Figura 37. Representación gráfica de los pies por especie.

En la Tabla 15 se muestra el número de pies por cada familia, cabe denotar la presencia de 15 cuya representación en pies es de menos de 10 pies, de un total de 48 familias.

Tabla 15. Número de pies por familia.

Familia	Nº pies	Familia	Nº pies	Familia	Nº pies
Actinidiaceae	1	Ebenaceae	1	Oleaceae	453
Altingiaceae	22	Elaeagnaceae	16	Palmaceae	3
Anacardiaceae	39	Ericaceae	149	Paulowniaceae	135
Apocynaceae	13	Fabaceae	467	Pinaceae	2164
Aquifoliaceae	12	Fagaceae	3442	Pittosporaceae	42
Aracaceae	11	Ginkgoaceae	3	Platanaceae	634
Arecaceae	2	Hamamelidaceae	1	Rhamnaceae	1
Betulacea	26	Juglandaceae	43	Rosaceae	505
Bignoniaceae	4	Lamiaceae	17	Rutaceae	1
Buxaceae	3	Lauraceae	68	Salicaceae	422
Capparaceae	9	Lythraceae	19	Sapindaceae	362
Caprifoliaceae	10	Magnoliaceae	56	Simaroubaceae	253
Casuarinaceae	3	Malvaceae	58	Tamaricaceae	18
Celastraceae	2	Meliaceae	28	Taxaceae	16
Cornaceae	11	Moraceae	69	Ulmaceae	806
Cupressaceae	1432	Myrtaceae	7	Vitaceae	1

En la Figura 38 se presenta de forma sectorial las familias encontradas durante el inventario que se muestran en la Tabla 15. En este se agrupan en una categoría las familias cuya presencia es de menos de 70 pies. Sobresale notablemente la presencia de las familias: fagaceae (29%), pinaceae (18%) y cupressaceae (12%).

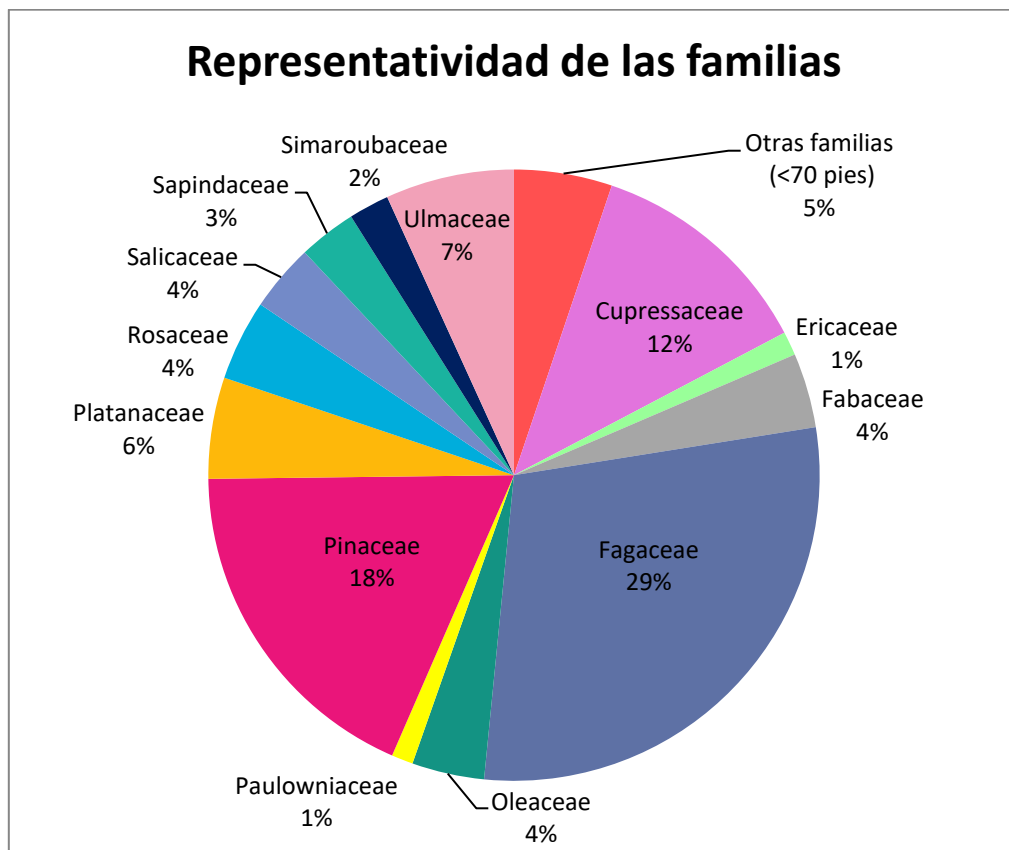


Figura 38. Representación gráfica sectorial de la representatividad de las familias de árboles en la UPM.

La densidad de las zonas de bosque urbano (pies/ ha) en los diferentes campus se muestra en la Tabla 16 y la Figura 39, tal como se observa las instalaciones que más densidad tienen son las de la ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural con 348,68 pies/ ha, y las que menor densidad tienen son las de la ETSI Diseño Industrial con 13,16 pies/ ha.

Tabla 16. Densidad de pies en las diferentes instalaciones y centros de la UPM.

Instalación/ centro	Superficie (ha)	Densidad (pies/ ha)
Biblioteca- Campus Sur	2,19	83,56
Campos de prácticas de agrónomos (Norte)	7,48	69,92
Campos de prácticas de agrónomos (Sur)	8,75	33,14
Campus Montegancedo	48,66	73,63
ETS Arquitectura- ETS Edificación	5,66	104,95
ETSI Aeronáutica y del espacio	3,39	124,78
ETSI Agronómica, alimentaria y de Biosistemas	6	60
ETSI Caminos, Canales y Puertos	6,49	81,51
ETSI Civil	0,51	15,69
ETSI Diseño Industrial	0,76	13,16
ETSI Industriales	2,13	50,23
ETSI Minas	0,99	14,14
ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural	9,86	348,68
ETSI Navales	2,29	174,24
ETSI Telecomunicación	5,27	67,17
ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía	1,45	112,41
ETSI y Sistemas de Telecomunicación	4,54	93,83
INEF	0,63	31,75
INSIA	3,78	0
Instalaciones deportivas Campus Sur	3,56	78,09
Parking del Rectorado	0,49	146,94
Rectorado	1,38	105,8
Tecnogetafe	10,12	0

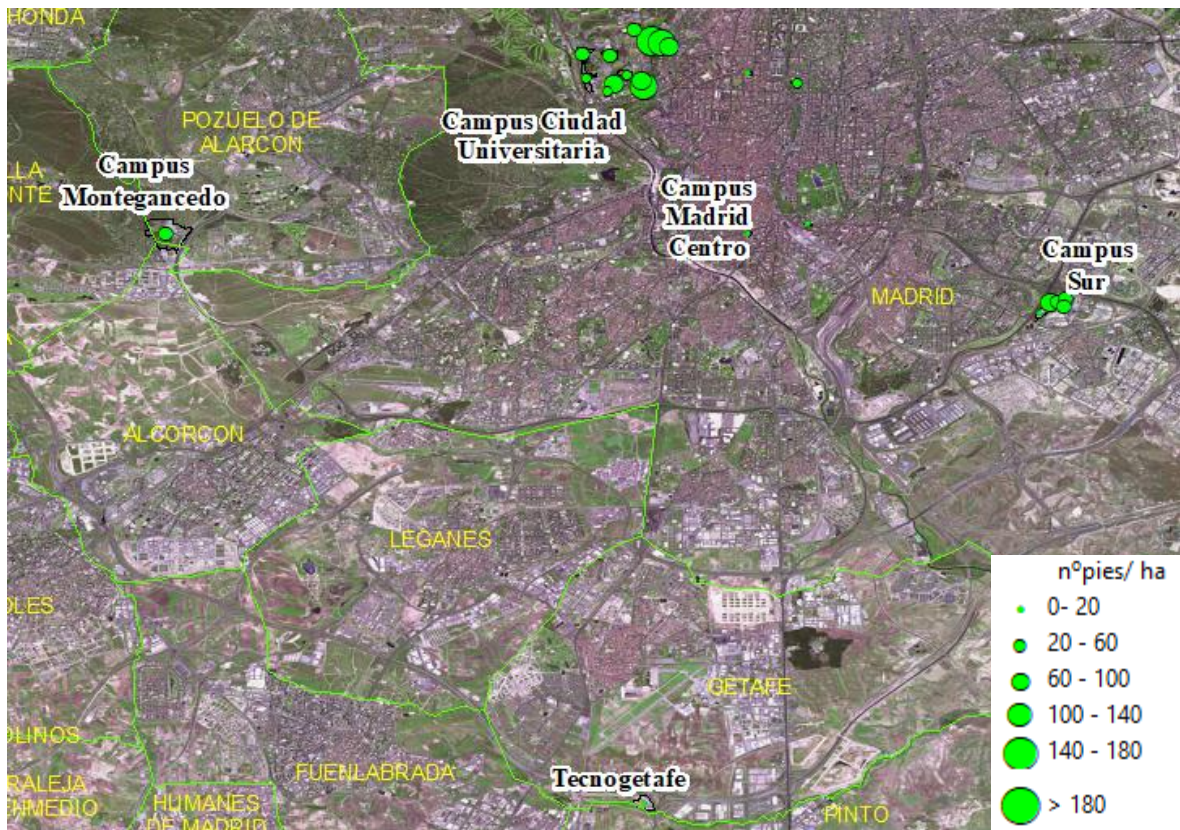


Figura 39. Representación gráfica de la densidad (pies/ ha).

En cuanto a la diversidad de especies encontradas se detectaron los siguientes resultados para los diferentes campus, tal como se muestra en la Tabla 17 y la Figura 40. Se encuentra que la mayor diversidad se encuentra en el Campus Ciudad Universitaria con hasta 191 especies de las 195 que se encuentran en la UPM.

Tabla 17. Especies dependiendo del campus.

Campus	Especies
Campus Ciudad Universitaria	191
Campus Sur	43
Campus Madrid Centro	22
Campus Montegancedo	8
Tecnogetafe	0
Total	195

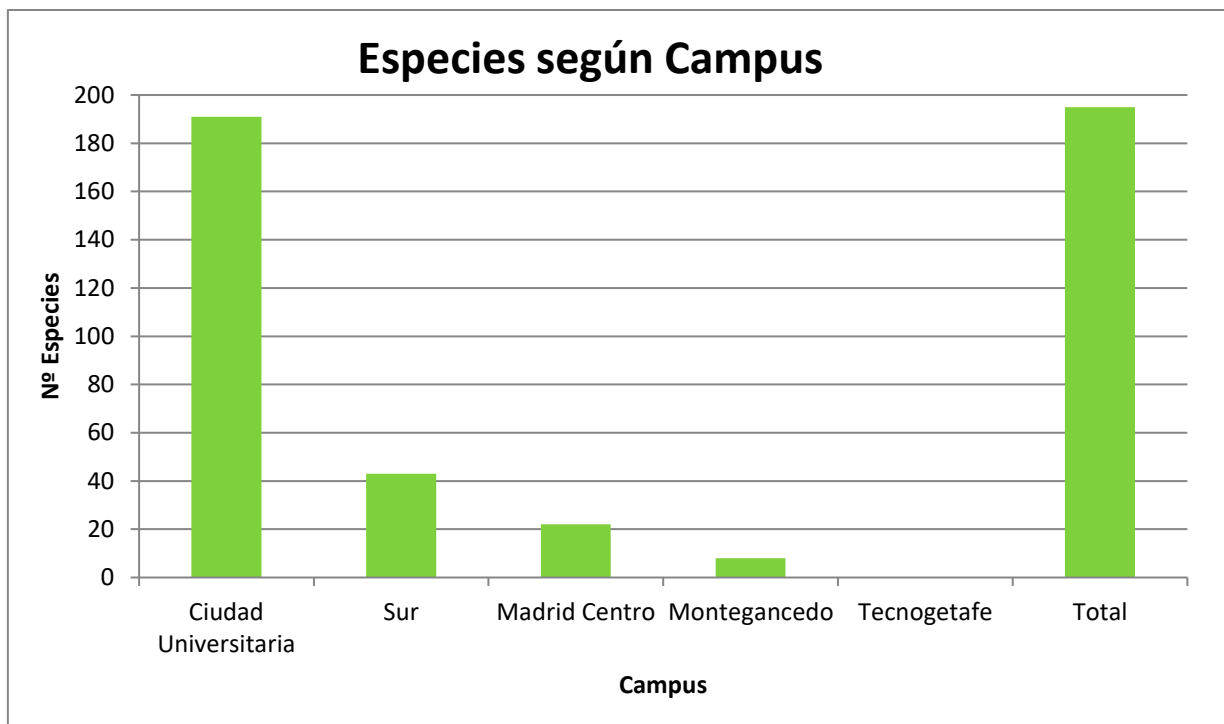


Figura 40. Representación gráfica de las especies dentro de cada campus.

La distribución de especies dentro de los centros o las instalaciones se muestra en la Tabla 18 y la Figura 41. Como se observa en la Tabla 18, la Figura 41 y la Figura 42, las instalaciones de la UPM con mayor diversidad son las de la ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural con 154 especies, seguido con gran diferencia por la ETSI Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas, que cuenta con 48 especies.

Tabla 18. Variedad de especies dentro de los diferentes centros/ instalaciones.

Centros/ Instalaciones	Especies	Centros/ Instalaciones	Especies
Biblioteca- Campus Sur	13	ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural	154
Campos de prácticas de agrónomos (Norte)	42	ETSI Navales	18
Campos de prácticas de agrónomos (Sur)	44	ETSI Telecomunicación	22
Campus Montegancedo	8	ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía	20
ETS Arquitectura- ETS Edificación	30	ETSI y Sistemas de Telecomunicación	31
ETSI Aeronáutica y del espacio	29	INEF	7
ETSI Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas	48	INSIA	0
ETSI Caminos, Canales y Puertos	25	Instalaciones deportivas Campus Sur	16
ETSI Civil	1	Parking del Rectorado	4
ETSI Diseño Industrial	7	Rectorado	21
ETSI Industriales	9	Tecnogetafe	0
ETSI Minas	6		

Especies según centros/instalaciones de la UPM

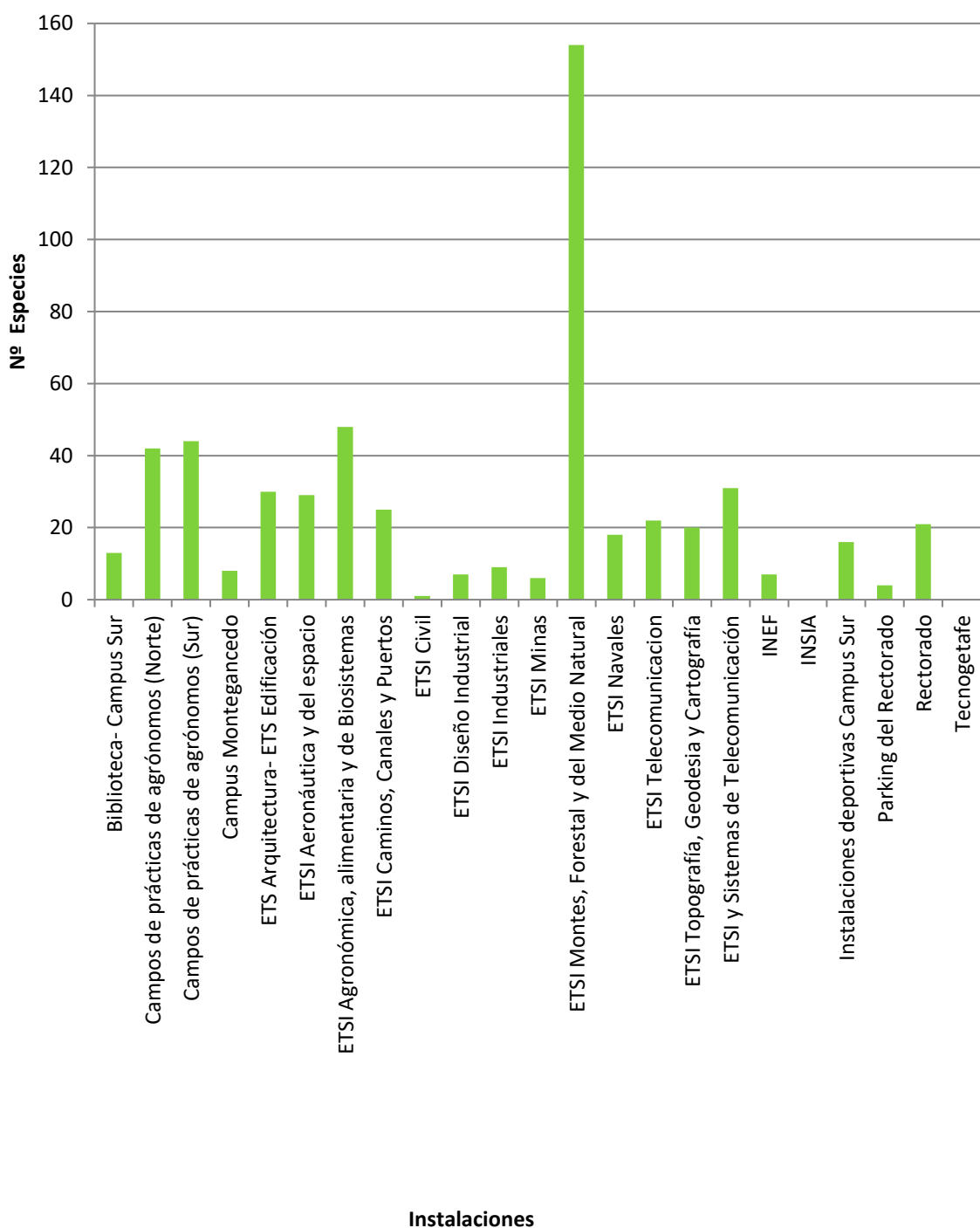


Figura 41. Representación gráfica de las especies en función de los centros/ instalaciones.

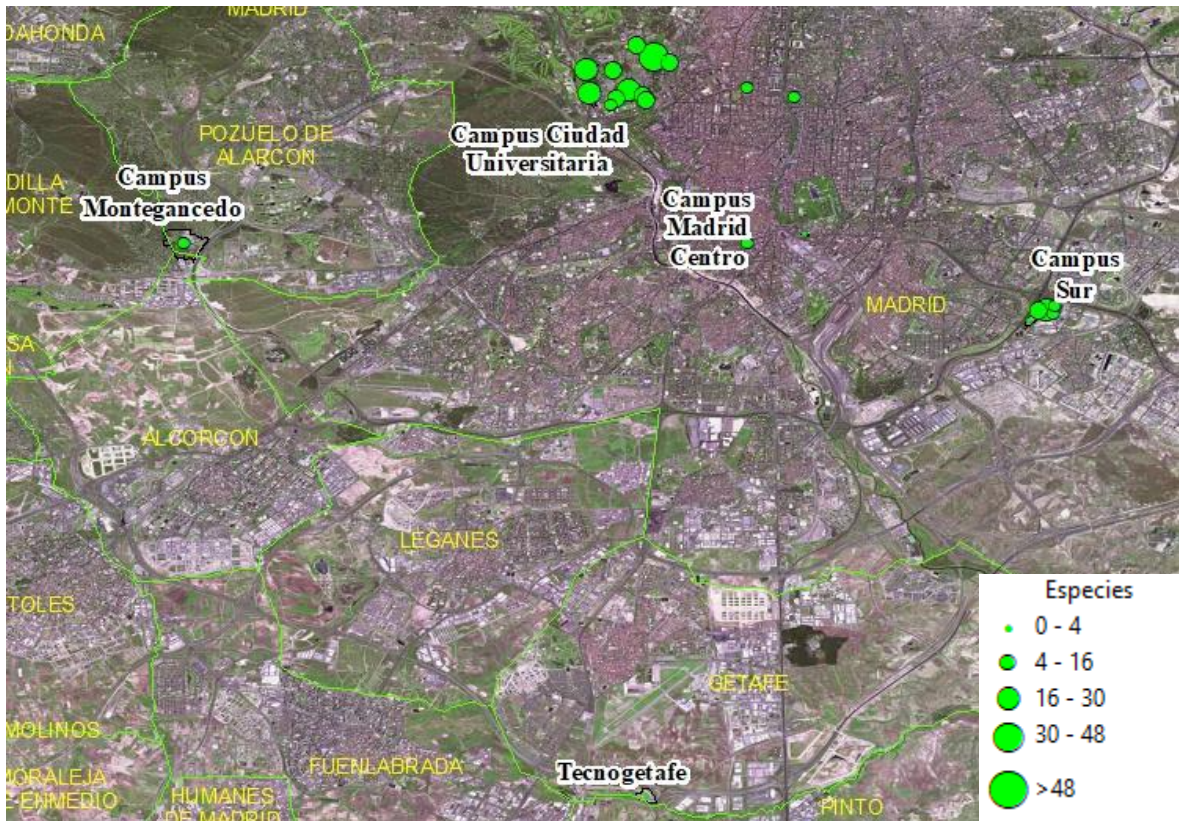


Figura 42. Representación de la distribución de especies por instalaciones/ centros.

A continuación, se muestra la distribución de edades de los diferentes campus o centros, a partir de la distribución diamétrica de los pies.

Para el Campus Montegancedo se decide considerar las instalaciones como una sola unidad debido a su carácter naturalizado y homogéneo, por lo que se incluyen todos los pies en una sola figura. Tal como se observa en la Figura 43 y la Tabla 19 se trata de una zona que se encuentra con diferentes clases de edad, contando con abundante regeneración, aunque con pies relativamente jóvenes.

Tabla 19. Número de pies por clase diamétrica de Campus Montegancedo.

Clase diamétrica	Nº pies	Clase diamétrica	Nº pies
0-5	245	65-70	0
5-10	711	70-75	0
10-15	944	75-80	1
15-20	846	80-85	0
20-25	425	85-90	0
25-30	211	90-95	0
30-35	85	95-100	0
35-40	45	100-105	0
40-45	39	105-110	0
45-50	11	110-115	0
50-55	13	115-120	0
55-60	6	120-125	0
60-65	1	>125	0

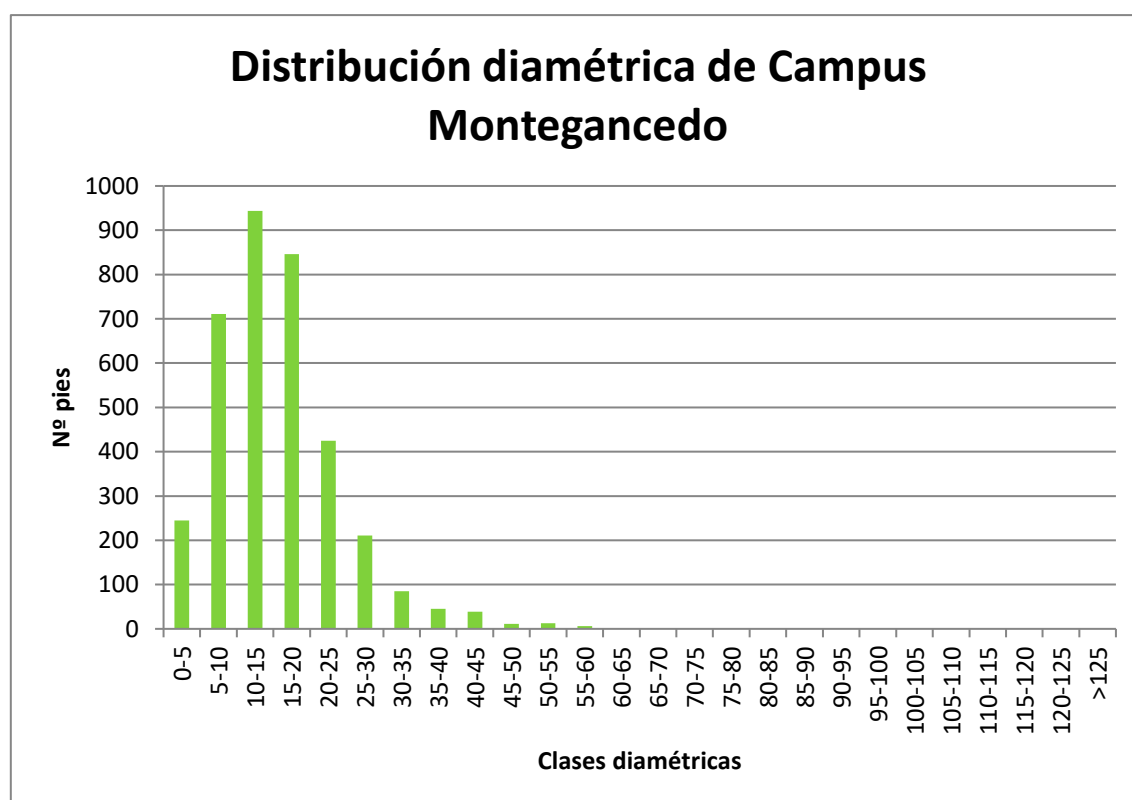


Figura 43. Representación gráfica de la distribución diamétrica de Campus Montegancedo.

El Campus Sur al igual que en Montegancedo se consideran los centros e instalaciones como una sola unidad de gestión debido a la similitud de distribución de especies y de edad de la vegetación. En la Figura 44, con los datos de la Tabla 20, se puede definir la falta de regeneración, con una población más envejecida que en el Campus Montegancedo.

Tabla 20. Número de pies por clase diamétrica en el Campus Sur.

Clase diamétrica	Nº pies	Clase diamétrica	Nº pies
0-5	0	65-70	14
5-10	24	70-75	14
10-15	86	75-80	1
15-20	89	80-85	1
20-25	211	85-90	2
25-30	119	90-95	5
30-35	136	95-100	1
35-40	73	100-105	0
40-45	94	105-110	0
45-50	51	110-115	0
50-55	67	115-120	0
55-60	33	120-125	0
60-65	28	>125	1

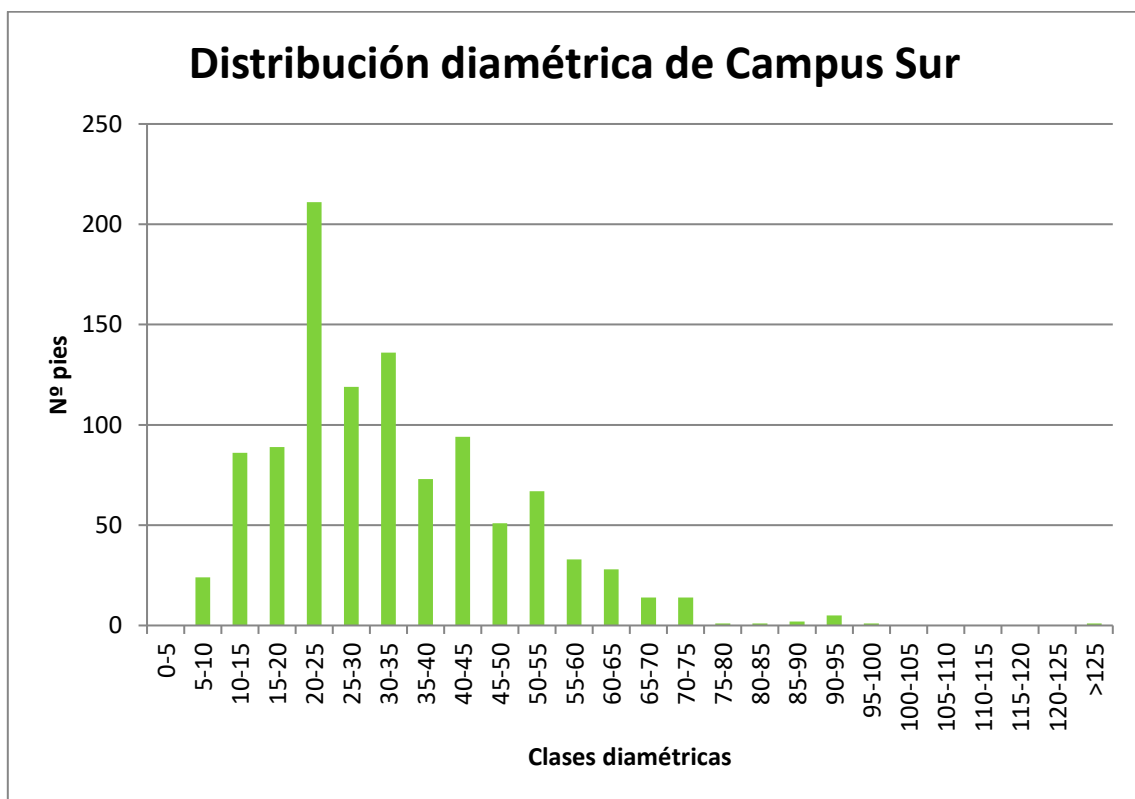


Figura 44. Representación gráfica de la distribución diamétrica de Campus Sur.

El Campus Madrid Centro a pesar de no estar próximos son centros que tienen la misma distribución, zonas pequeñas, con escasas zonas de bosque urbano y con estructuras bastante similares (Tabla 21 y Figura 45). En el caso de la ETSI Diseño Industrial destaca la presencia de escasos pies pequeños de reciente plantación. La ETSI Civil presenta menor número de pies regenerados de Ailanto con lo que se destaca la única presencia de esta planta invasora. La ETSI

Minas presenta arbolado de grandes dimensiones con escasa regeneración, careciendo de espacio para poder reemplazar la vegetación llegado el momento. La ETSI de Diseño Industrial presenta mayor arbolado emplazado en la zona de parking de la escuela, con pies maduros de *Platanus orientalis* y con abundante vegetación de jardinería.

Tabla 21. Número de pies por clase diamétrica del Campus Madrid Centro.

Clase diamétrica	ETSI Civil	ETSI Diseño Industrial	ETSI Industriales	ETSI Minas
0-5	0	0	0	0
5-10	4	0	2	0
10-15	2	0	17	0
15-20	2	3	8	1
20-25	0	5	17	3
25-30	0	1	7	0
30-35	0	0	18	0
35-40	0	0	10	0
40-45	0	1	17	2
45-50	0	0	5	1
50-55	0	0	4	1
55-60	0	0	0	0
60-65	0	0	1	1
65-70	0	0	0	1
70-75	0	0	1	0
75-80	0	0	0	0
80-85	0	0	0	0
85-90	0	0	0	1
90-95	0	0	0	0
95-100	0	0	0	0
100-105	0	0	0	0
105-110	0	0	0	0
110-115	0	0	0	0
115-120	0	0	0	0
120-125	0	0	0	3
>125	0	0	0	0

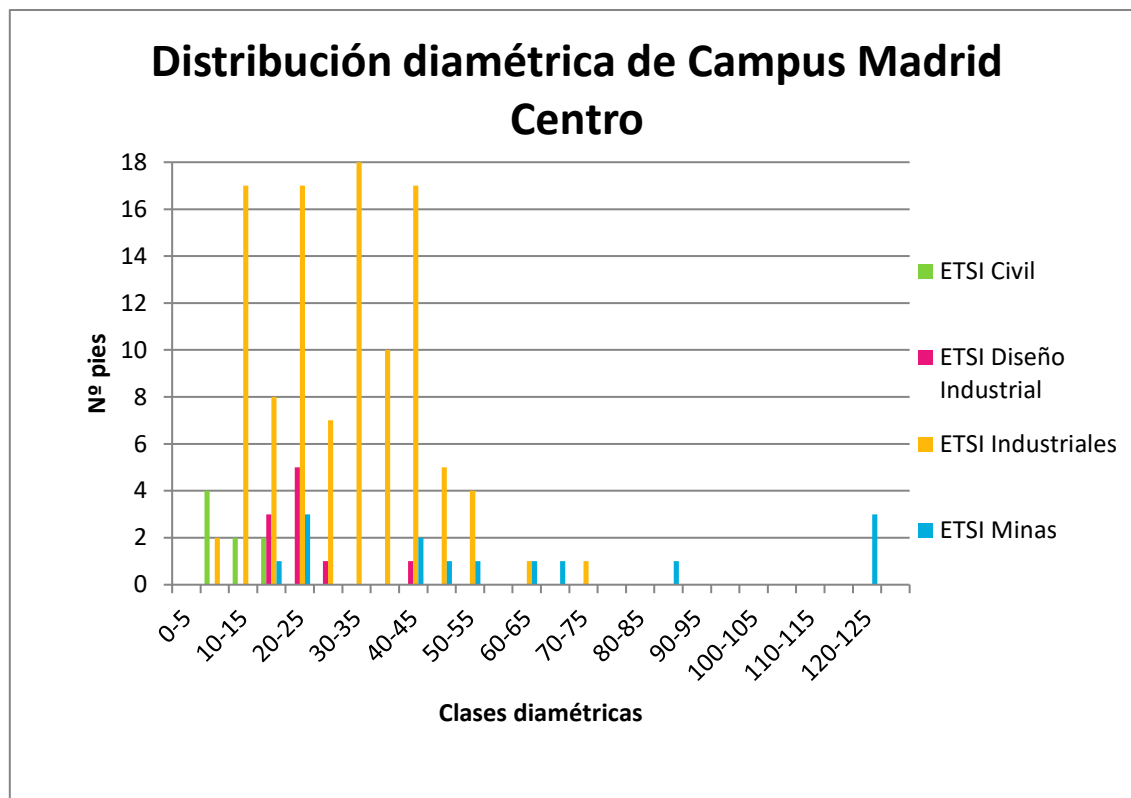


Figura 45. Representación gráfica de la distribución diamétrica de Campus Madrid Centro.

Para el Campus Ciudad Universitaria, se toman los datos de forma independiente para cada escuela o instalación, debido a las diferencias estructurales encontradas.

En el rectorado de la UPM se encuentra la siguiente distribución diamétrica (Tabla 22 y Figura 46), con escasa regeneración, siendo los pies pequeños especies de jardinería de escaso crecimiento de diámetro.

Tabla 22. Número de pies de cada clase diamétrica del Rectorado de la UPM.

Clase diamétrica	Nº pies	Clase diamétrica	Nº pies
0-5	0	65-70	0
5-10	6	70-75	0
10-15	35	75-80	0
15-20	27	80-85	0
20-25	34	85-90	0
25-30	11	90-95	0
30-35	15	95-100	0
35-40	7	100-105	0
40-45	4	105-110	0
45-50	4	110-115	0
50-55	2	115-120	0
55-60	0	120-125	0
60-65	1	>125	0

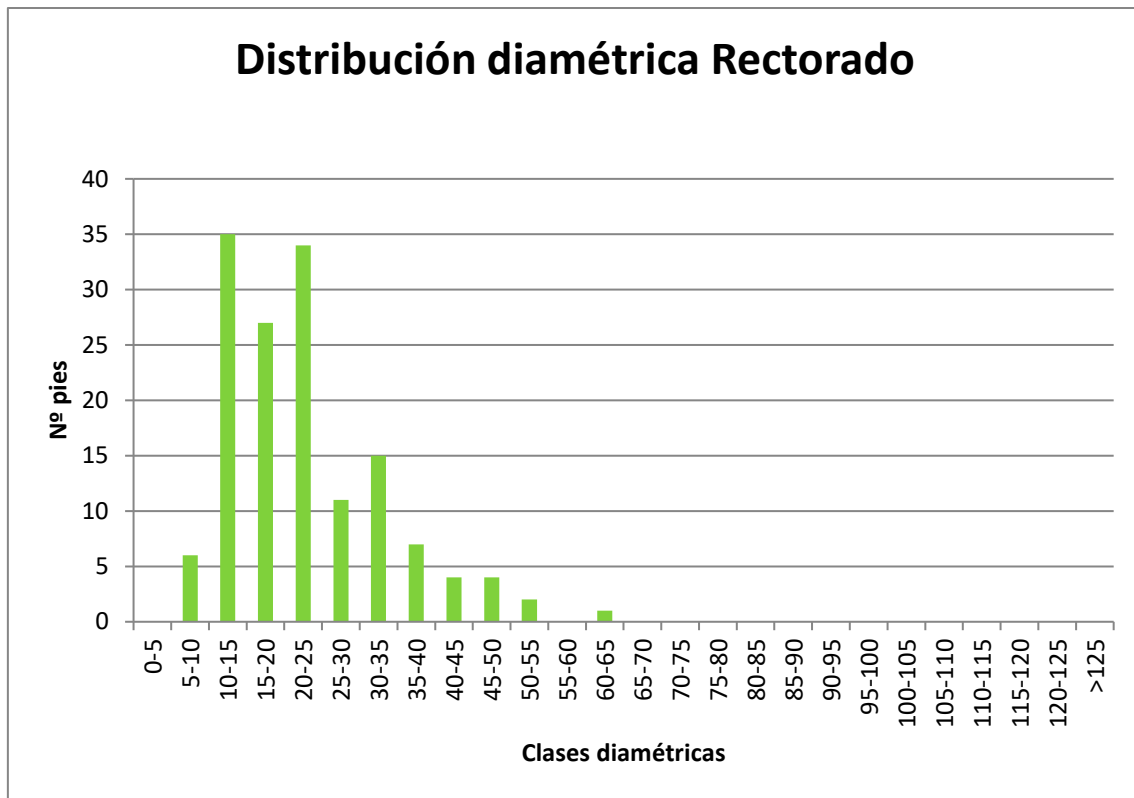


Figura 46. Representación gráfica de la distribución diamétrica del Rectorado de la UPM.

La distribución diamétrica (Tabla 23 y Figura 47) del Parking Rectorado, es claramente de edad avanzada y con posibles problemas a la hora de intentar reemplazar la vegetación en un futuro por el escaso espacio sin asfaltar.

Tabla 23. Número de pies de cada clase diamétrica del Parking del Rectorado de la UPM.

Clase diamétrica	Nº pies	Clase diamétrica	Nº pies
0-5	0	65-70	0
5-10	0	70-75	0
10-15	4	75-80	0
15-20	6	80-85	0
20-25	22	85-90	1
25-30	20	90-95	0
30-35	13	95-100	1
35-40	1	100-105	0
40-45	2	105-110	0
45-50	0	110-115	0
50-55	1	115-120	0
55-60	0	120-125	0
60-65	1	>125	0



Figura 47. Representación gráfica de la distribución diamétrica Parking del Rectorado de la UPM.

La ETS Arquitectura y la ETS de Edificación se toman juntas debido a la inexistencia de barrera física entre ellas que determine donde comienza una y donde la otra. En la Tabla 24 y la Figura 48 se puede observar variedad de edades según las clases diamétricas, pero aun así en las instalaciones se encuentran pies de gran tamaño con decaimiento de algunas zonas como los chopos de las instalaciones o la zona de arizónicas. Además de esto se encuentra un exceso de zonas asfaltadas que impiden el buen desarrollo de los pies, en los aparcamientos, etc.

Tabla 24. Número de pies de cada clase diamétrica de la ETS Arquitectura y la ETS Edificación.

Clase diamétrica	Nº pies	Clase diamétrica	Nº pies
0-5	0	65-70	9
5-10	6	70-75	1
10-15	88	75-80	6
15-20	97	80-85	2
20-25	106	85-90	3
25-30	53	90-95	1
30-35	60	95-100	3
35-40	43	100-105	0
40-45	49	105-110	1
45-50	21	110-115	1
50-55	23	115-120	1
55-60	7	120-125	1
60-65	12	>125	0

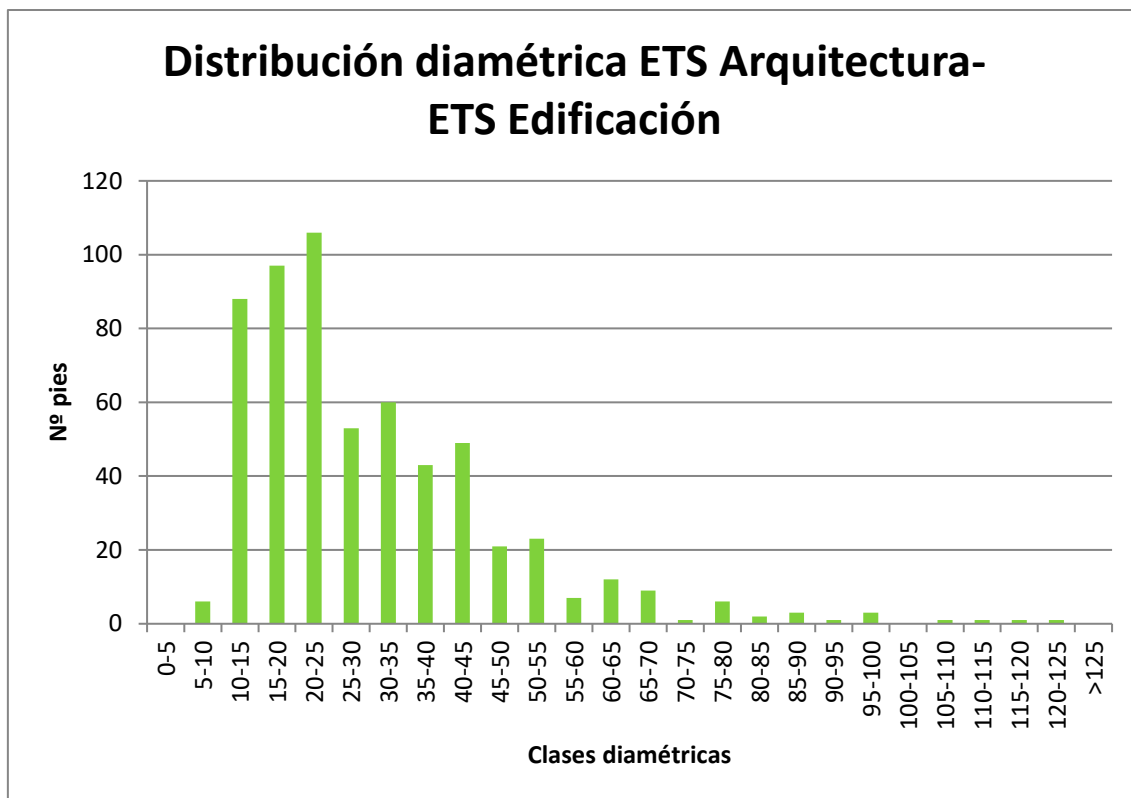


Figura 48. Representación gráfica de la distribución diamétrica de la ETS Arquitectura y la ETS Edificación.

La ETSI Aeronáuticos y del Espacio presenta una distribución de edades bastante heterogénea con pies de diferentes edades, aun así predominan los pies de grandes dimensiones (Tabla 25 y Figura 49).

Tabla 25. Número de pies de cada clase diamétrica de la ETSI Aeronáuticos y del Espacio.

Clase diamétrica	Nº pies	Clase diamétrica	Nº pies
0-5	0	65-70	1
5-10	25	70-75	1
10-15	63	75-80	0
15-20	61	80-85	0
20-25	57	85-90	0
25-30	61	90-95	0
30-35	63	95-100	0
35-40	29	100-105	0
40-45	30	105-110	0
45-50	12	110-115	0
50-55	11	115-120	0
55-60	4	120-125	1
60-65	4	>125	0

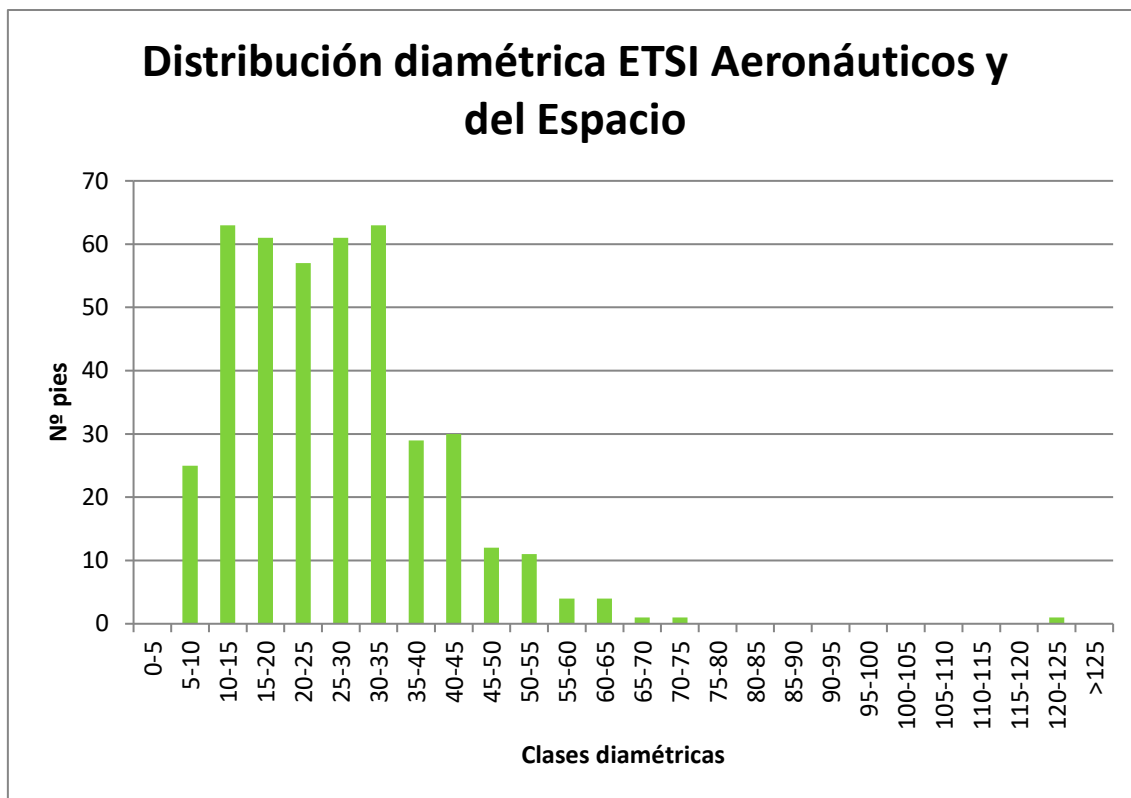


Figura 49. Representación gráfica de la distribución diamétrica de la ETSI Aeronáuticos y del Espacio.

La ETSI Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas se caracteriza por ser la segunda escuela con mayor número de especies, además de tener grandes zonas de césped sin arbolado. Tal como se puede observar en la Tabla 26 y la Figura 50, hay variedad de edades dentro de esta escuela, debido a la posible reposición de especies y al empleo de diferentes especies de jardinería para diversificar las zonas.

Tabla 26. Número de pies de cada clase diamétrica de la ETSI Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas.

Clase diamétrica	Nº pies	Clase diamétrica	Nº pies
0-5	0	65-70	3
5-10	35	70-75	4
10-15	76	75-80	4
15-20	53	80-85	2
20-25	52	85-90	1
25-30	34	90-95	1
30-35	41	95-100	0
35-40	17	100-105	1
40-45	15	105-110	0
45-50	6	110-115	1
50-55	8	115-120	0
55-60	1	120-125	0
60-65	4	>125	1

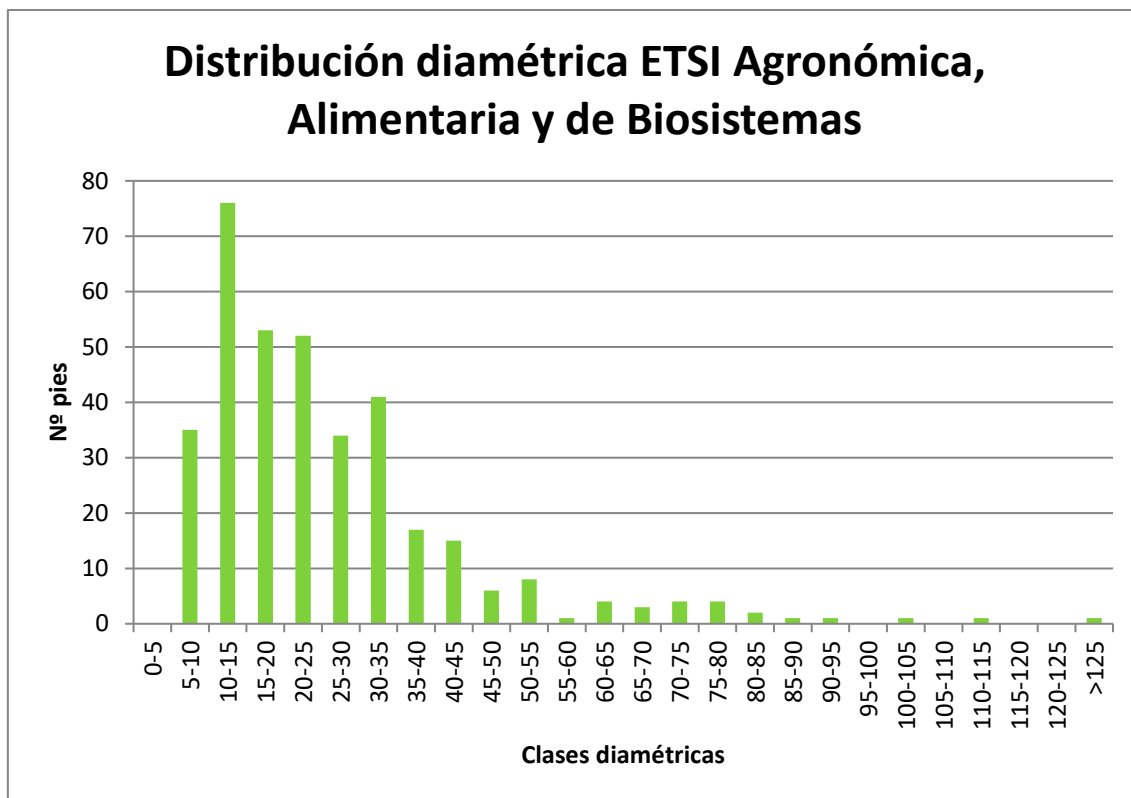


Figura 50. Representación gráfica de la distribución diamétrica de la ETSI Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas.

Los campos de prácticas de la ETSIAAB se toman en conjunto por el empleo de especies similares con estructura en forma de alineaciones. En estas zonas los pies de pequeñas dimensiones son por lo general el ailanto (planta invasora), olmo y arizónicas, dispuestas como separación con otros terrenos. Además, se destacan los cultivos agronómicos arbóreos (olivos y frutales), fuera de esto los demás pies son de grandes dimensiones (Tabla 27 y Figura 51).

Tabla 27. Número de pies de cada clase diamétrica de la Campos de prácticas de la ETSIAAB.

Clase diamétrica	Nº pies		Clase diamétrica	Nº pies	
	Norte	Sur		Norte	Sur
0-5	0	0	65-70	9	2
5-10	12	1	70-75	7	0
10-15	85	44	75-80	4	2
15-20	82	43	80-85	4	0
20-25	135	84	85-90	4	0
25-30	44	27	90-95	2	0
30-35	46	33	95-100	0	2
35-40	17	9	100-105	2	0
40-45	23	18	105-110	0	0
45-50	12	7	110-115	0	0
50-55	19	9	115-120	0	0
55-60	10	3	120-125	1	0
60-65	5	6	>125	0	0

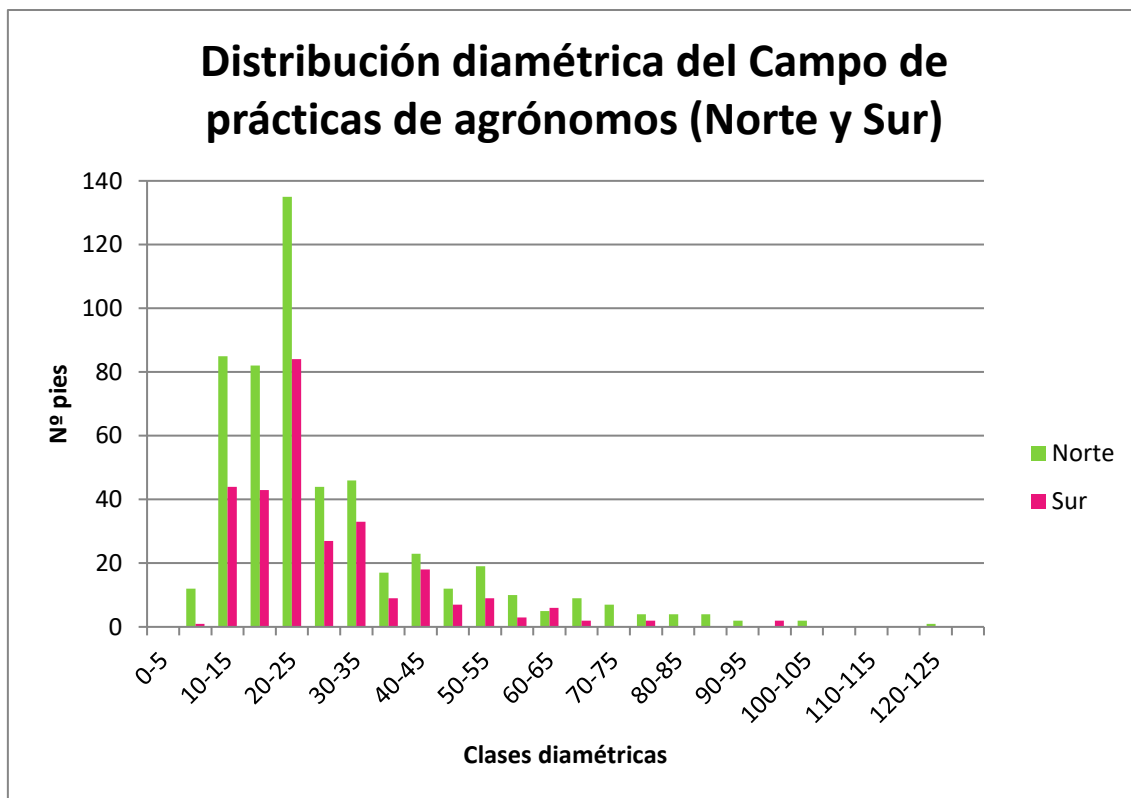


Figura 51. Representación gráfica de la distribución diamétrica de los Campos de prácticas de la ETSIAAB.

La ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural destaca por ser el centro con mayor número de pies 3.438, donde se puede resaltar la clase diamétrica 5-10 cm. En este rango diamétrico se encuentra la mayoría de los pies 1.951 pies (Tabla 28 y Figura 52), con especies de jardinería de porte menor como *Syringa vulgaris* o *Crataegus monogyna*. La distribución de edades por lo general muestra una estructura de monte normal con representación de todas las edades. En esta escuela se observa una distribución de clases donde se destaca la presencia de pies pequeños.

Tabla 28. Número de pies de cada clase diamétrica de la ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural.

Clase diamétrica	Nº pies	Clase diamétrica	Nº pies
0-5	7	65-70	14
5-10	1951	70-75	12
10-15	352	75-80	6
15-20	252	80-85	2
20-25	205	85-90	0
25-30	133	90-95	3
30-35	131	95-100	2
35-40	94	100-105	0
40-45	90	105-110	0
45-50	58	110-115	0
50-55	41	115-120	0
55-60	24	120-125	0
60-65	14	>125	0

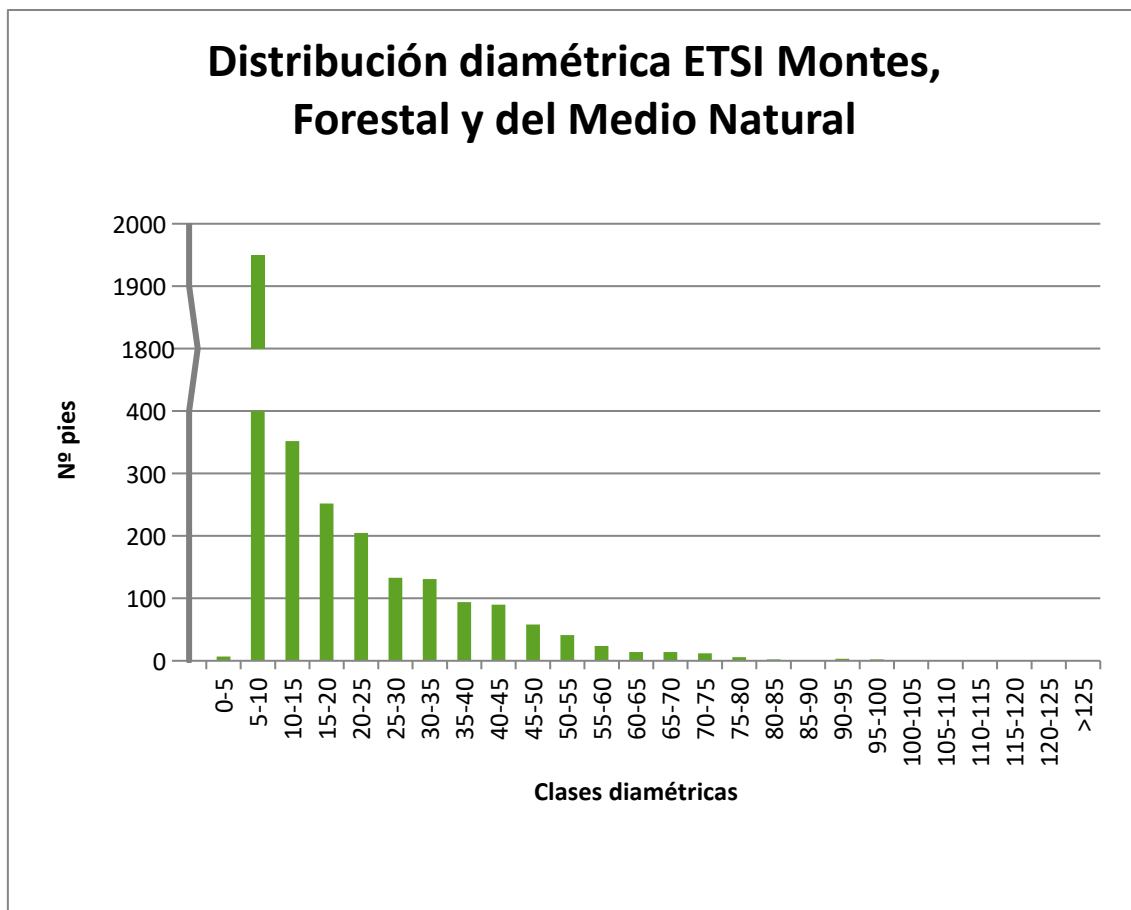


Figura 52. Representación gráfica de la distribución diamétrica de la ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural.

La ETSI Caminos, Canales y Puertos (Tabla 29 y Figura 53) presenta déficit de regeneración, con pies grandes, y se destaca el pinar con pies pequeños de 80 años con mucha densidad

Tabla 29. Número de pies de cada clase diamétrica de la ETSI Caminos, Canales y Puertos.

Clase diamétrica	Nº pies	Clase diamétrica	Nº pies
0-5	0	65-70	3
5-10	2	70-75	0
10-15	36	75-80	0
15-20	45	80-85	0
20-25	93	85-90	2
25-30	71	90-95	0
30-35	73	95-100	0
35-40	85	100-105	1
40-45	50	105-110	0
45-50	22	110-115	1
50-55	18	115-120	1
55-60	13	120-125	1
60-65	11	>125	1

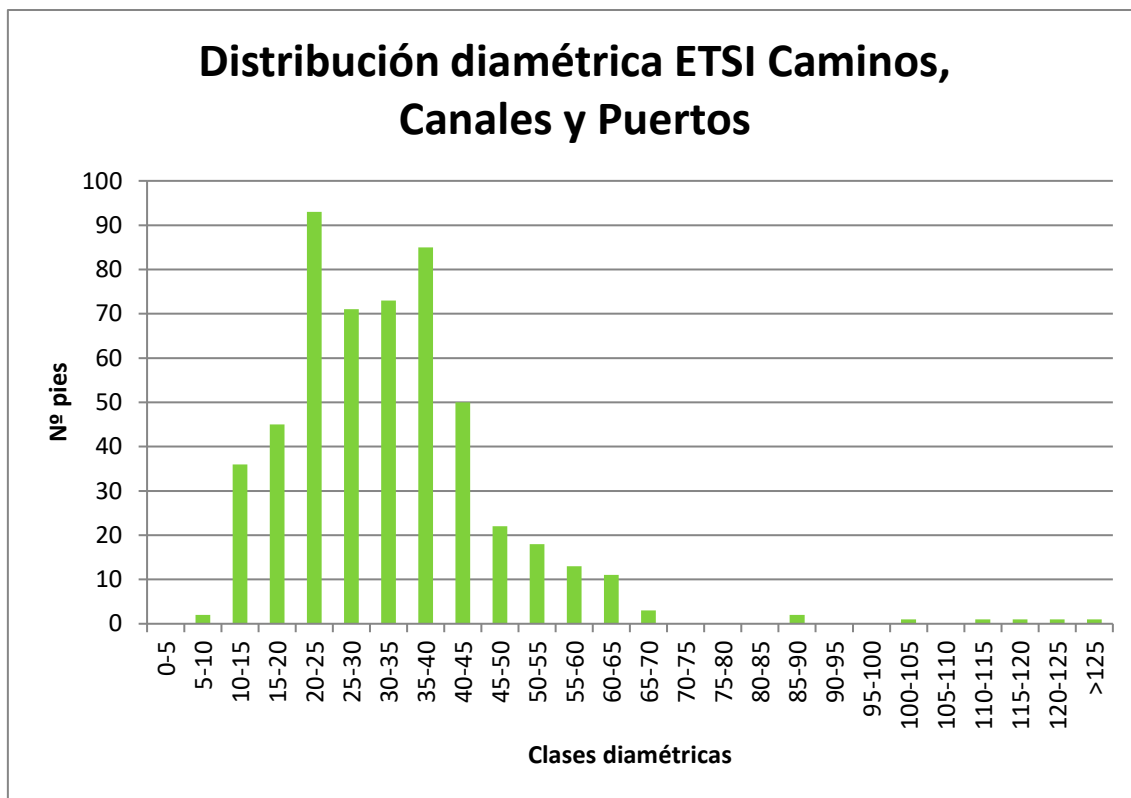


Figura 53. Representación gráfica de la distribución diamétrica de la ETSI Caminos, Canales y Puertos.

La ETSI Telecomunicación (Tabla 30 y Figura 54) presenta escasa regeneración, donde destacan los pinos, chopos y cedros de grandes dimensiones, con tocones en las zonas de pinar. Además, se observa en la zona Este en la cual se encuentra el bosque de cedros no se puede definir completamente el límite de la zona y se destaca el mal estado del arbolado en esa zona.

Tabla 30. Número de pies de cada clase diamétrica de la ETSI Telecomunicación.

Clase diamétrica	Nº pies	Clase diamétrica	Nº pies
0-5	0	65-70	9
5-10	8	70-75	5
10-15	45	75-80	6
15-20	22	80-85	6
20-25	47	85-90	3
25-30	28	90-95	7
30-35	29	95-100	2
35-40	18	100-105	1
40-45	37	105-110	0
45-50	21	110-115	2
50-55	18	115-120	0
55-60	17	120-125	4
60-65	18	>125	1

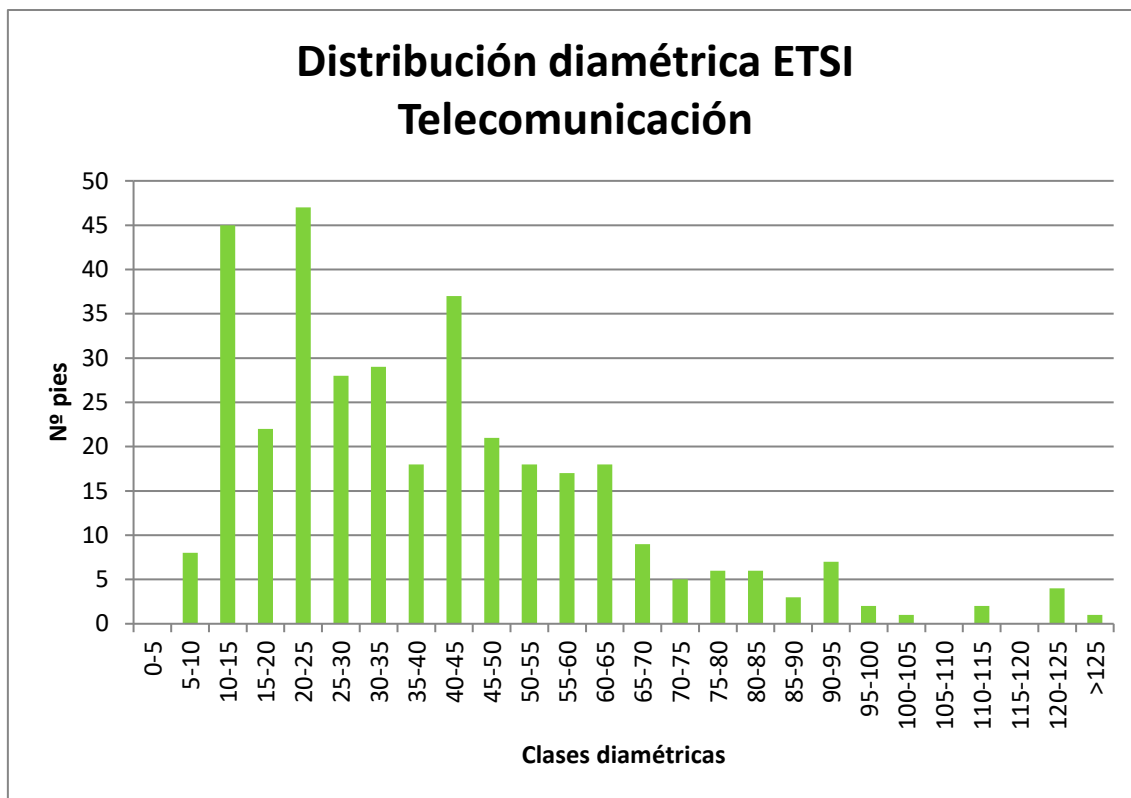


Figura 54. Representación gráfica de la distribución diamétrica de la ETSI Telecomunicación.

La ETSI Navales (Tabla 31 y Figura 55) presenta una estructura aparentemente regular con regeneración en la zona Sureste de la escuela del pinar. Pero la zona delantera de la escuela presenta arbolado de grandes dimensiones y con estructura muy regular de *Platanus orientalis* con poda dispuesta para tener un gran desarrollo de copas. El problema de esta estructura es la dificultad de reemplazar los pies cuando comience su decaimiento.

Tabla 31. Número de pies de cada clase diamétrica de la ETSI Navales.

Clase diamétrica	Nº pies	Clase diamétrica	Nº pies
0-5	0	65-70	5
5-10	12	70-75	4
10-15	37	75-80	0
15-20	14	80-85	1
20-25	34	85-90	0
25-30	38	90-95	0
30-35	67	95-100	1
35-40	40	100-105	0
40-45	79	105-110	0
45-50	25	110-115	0
50-55	18	115-120	0
55-60	13	120-125	0
60-65	11	>125	0

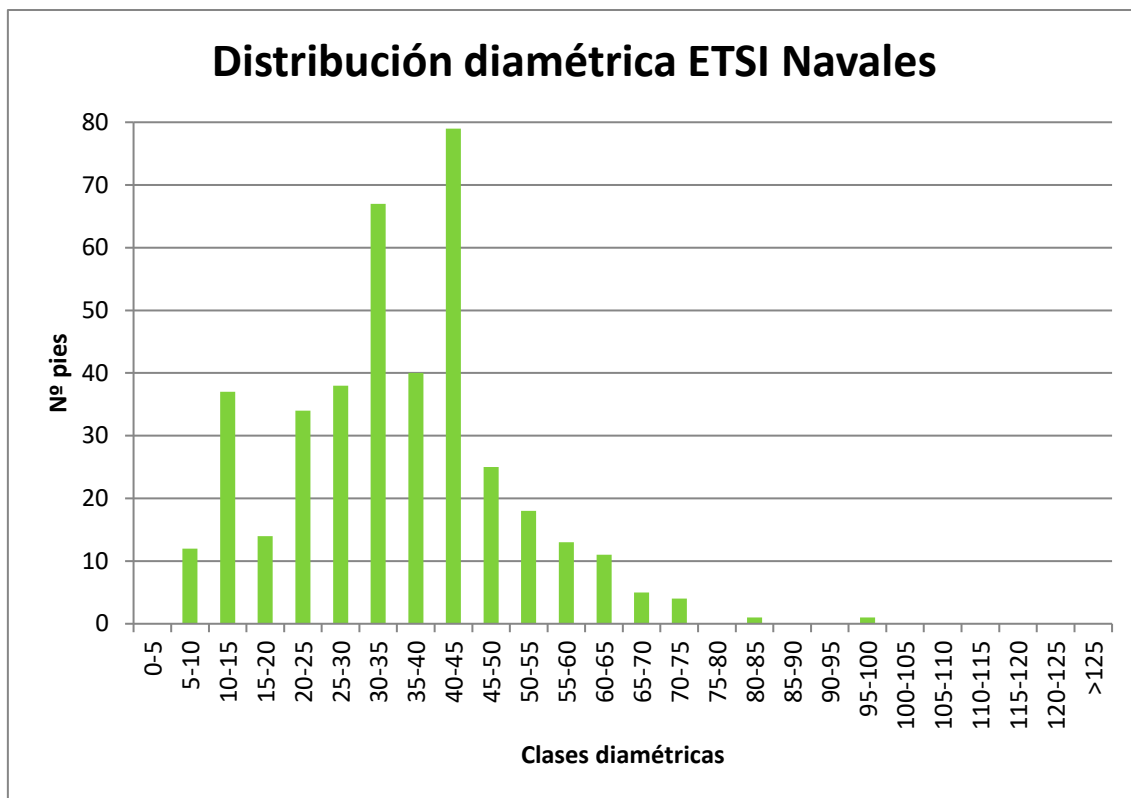


Figura 55. Representación gráfica de la distribución diamétrica de la ETSI Navales.

El caso de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (INEF) (Tabla 32 y Figura 56) se presenta una distribución donde destacan los pies de grandes dimensiones con apenas espacio para poder sustituir los chopos y olmos que se encuentran en las pequeñas zonas ajardinadas del centro.

Tabla 32. Número de pies de cada clase diamétrica de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (INEF).

Clase diamétrica	Nº pies	Clase diamétrica	Nº pies
0-5	0	65-70	0
5-10	0	70-75	1
10-15	1	75-80	1
15-20	0	80-85	1
20-25	1	85-90	2
25-30	0	90-95	1
30-35	1	95-100	1
35-40	1	100-105	0
40-45	1	105-110	0
45-50	1	110-115	0
50-55	2	115-120	1
55-60	3	120-125	0
60-65	1	>125	0

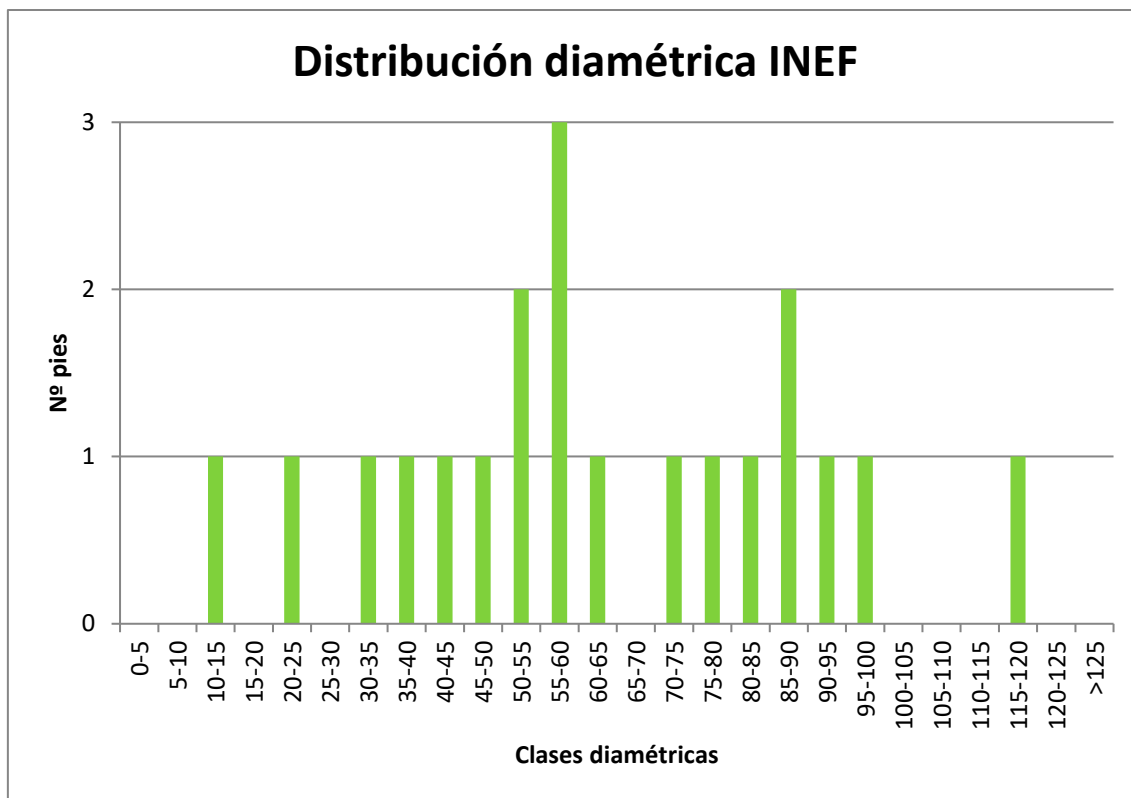


Figura 56. Representación gráfica de la distribución diamétrica de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (INEF).

Durante el inventario además de tomar los diámetros, las alturas y las especies, se toman las coordenadas con el programa TreePlotter tomando como referencia para su localización el centro de la copa según se aprecia en la foto aérea. Debido a esto algunos pies al representarlos con los límites de las instalaciones de la UPM parecen estar fuera de las instalaciones pero la base de los pies permanecen dentro de los límites, tal como se aprecia en algunos mapas del ANEXO 5: MAPAS DE ABSORCIÓN DE CO₂.

5.3.3. Síntesis

El inventario se realizó con tres metodologías diferentes: pie a pie, mediante sensores remotos y con una revisión de inventario, dando como resultado la medición de 11.920 pies, distribuidos en cuatro campus (Campus Sur, Campus Ciudad Universitaria, Campus Madrid Centro y Campus Montegancedo). Con 195 especies diferentes presentes en el inventario.

Además, se puede destacar el estado envejecido y en decaimiento gran parte de las zonas arboladas dentro de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

La superficie gestionada por la UPM asciende a 1136,38 ha con un total de 11.920 pies, con una diversidad de 195 especies.

5.4. CÁLCULO DE LA CONTRAHUELLA DE CARBONO

Los valores de absorción de carbono de cada pie, junto con los se recogen en los datos del inventario de arbolado anexos 2 (ANEXO 2: INVENTARIO PIE A PIE), 3 (ANEXO 3: INVENTARIO A TRAVÉS DE SENSORES REMOTOS) y 4 (ANEXO 4: REVISIÓN DE INVENTARIOS PREVIOS).

También se puede observar gráficamente la absorción de CO₂ con el ANEXO 5: MAPAS.

5.4.1. Exclusión de árboles en el cálculo de la contrahuella de carbono

Como se ha mencionado en la metodología algunos árboles se excluyen del cálculo de la contrahuella de carbono.

En la Tabla 33 se encuentran los árboles con identificación dudosa.

Tabla 33. Árboles sin contabilizar por falta de información de especie.

Zona	Código	Especie	h(m)	d(cm)	Zona	Código	Especie	h(m)	d(cm)
A4	30	NI	4,5	5	D6	80	NI (=cotoneaster)	2,5	5
A8	3	Rosaceae?NI	1,8	5	D6	96	NI2	0,2	5
A10	9	N.I.	2,5		D6	110	NI3	3,5	5
A11	10	NI	0,5	5	D6	112	NI= 110	2	5
B2	33	NI	7	26,1	D8	8	NI	1,5	5
B3	17	CUPRESACEA confundida con arar	3,5	5,7	D8	9	NI	1,7	5
B4	12	NI	0,5	5,1	D8	12	NI(hoja x tres)	3,5	5
B4	13	NI	0,5	12,4	D8	19	NI	1,7	5
B4	14	NI	0,5	11,8	D8	20	NI	2,3	5
B5	13	NI	2	4,5	D8	21	NI	1,5	5
B6	84	NI	4	6,7	D8	22	NI	3	5
B8	34	NI	11,5	23,1	D8	28	NI= q 12	3,5	5
C1	12	N.I.	2,5	4,5	D8	30	NI= q 12	2,4	5
C1	13	N.I.	2,5	4,5	D8	147	NI2(tallo rojizo)	1	5
C2	13	N.I.	1,5	5	D9	24	NI	5,5	13,1
C2	14	N.I.	0,5	5	D10	1	NI	5	7,3
C2	15	N.I.	2	5	D10	7	NI	5	8,3
D1	63	NI	1,5	0	D10	9	NI	2	5
D1	64	NI	3	0	D10	157	NI(Juniperus?)	2,5	5
D1	92	NI	0,5	14	D10	158	NI	0,3	5
D1	121	NI	2	14	D14	10	NI(pinchuda)	2	5
D1	122	NI	2	14	D15	13persica	4	10,8
D1	123	NI	1,5	14	D15	63	NI	14	18,5
D2	48	NI	6,5	10,5	D16	9	NI	10	19,4
D4	12	NI	2	5	D17	6	NI	1	5
D4	121	NI	1,7	5	D17	24	NI(similar a sabina)	1,7	5
D4	175	Leguminosa?	3	5,1	D17	59	NI(corteza eucalipto)	3	5
D4	176	Leguminosa?	2	5	D17	95	NI(hoja x 3)	2	5
D6	15	NI (Prunus)	2,5	5	D17	169	NI(tallo verdoso)	1,6	5

D6	74	NI (parecida a cotoneaster)	3	5	D17	183	NI	2	5
-----------	----	-----------------------------	---	---	------------	-----	----	---	---

Aquellos árboles con falta de diámetro y/o altura se encuentran en la Tabla 34.

Tabla 34. Árboles sin contabilizar con datos insuficientes de diámetro y/o altura.

Zona	Código	Especie	h(m)	d(cm)	Zona	Código	Especie	h(m)	d(cm)
A9	123	Magnolia soulangeana			D10	27	Cupressus sempervirens	13,5	
A9	124	Tilia platyphyllos			D10	28	Cupressus sempervirens	4	
A10	3	Thuja plicata	1		D10	29	Cupressus sempervirens	3	
A10	6	Enebro?	1,5		D10	30	Cupressus sempervirens	11,5	
A10	7	Enebro?	1		D10	31	Cupressus sempervirens	16,5	
A10	8	Thuja plicata	1		D10	32	Cupressus sempervirens	12,5	
A10	10	Thuja plicata	1		D10	33	Cupressus sempervirens	13,5	
A10	11	Thuja plicata	1		D10	34	Cupressus sempervirens	9,5	
A10	12	Thuja plicata	1		D10	35	Cupressus sempervirens	8	
A10	13	Laurus nobilis	2		D10	36	Cupressus sempervirens	14	
A10	14	Juglans regia	1		D10	37	Cupressus sempervirens	16	
A10	15	Juglans regia	1,5		D14	1	Platanus orientalis var. Acerifolia		
A10	16	Juglans regia	3		D14	2	Platanus orientalis var. Acerifolia		
A10	17	Quercus faginea	4,5		D14	3	Platanus orientalis var. Acerifolia		
D1	82	Sorbus mongeotti	2		D14	4	Platanus orientalis var. Acerifolia		
D4	174	Acer campestre	2,5		D14	5	Platanus orientalis var. Acerifolia		
D10	25	Cupressus sempervirens	14		D14	27	Platanus orientalis var. Acerifolia		
D10	26	Cupressus sempervirens	9		D14	28	Platanus orientalis var. Acerifolia		

En total se excluyen de los cálculos de absorciones de carbono 96 pies por déficit de información.

5.4.2. Resultados

Las absorciones de carbono se muestran en a nivel campus, instalaciones o centros y especies.

En la Tabla 35 y la Figura 57 se muestra la captura de carbono (tn) para cada campus. El Campus que más destaca dentro de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) es el Campus de Ciudad Universitaria con 7.642,63 toneladas de carbono absorbido durante todo su desarrollo, seguido a gran distancia por los Campus Montegancedo y Sur, y con una pequeña absorción del Campus Madrid Centro con 258,95 toneladas absorbidas.

Tabla 35. Captura de carbono (tn) en cada campus de la UPM.

Campus	Captura de carbono (tn)
Ciudad Universitaria	7642,63
Madrid Centro	258,95
Montegancedo	1477,01
Sur	1661,12
Tecnogetafe	0
Total	11039,71

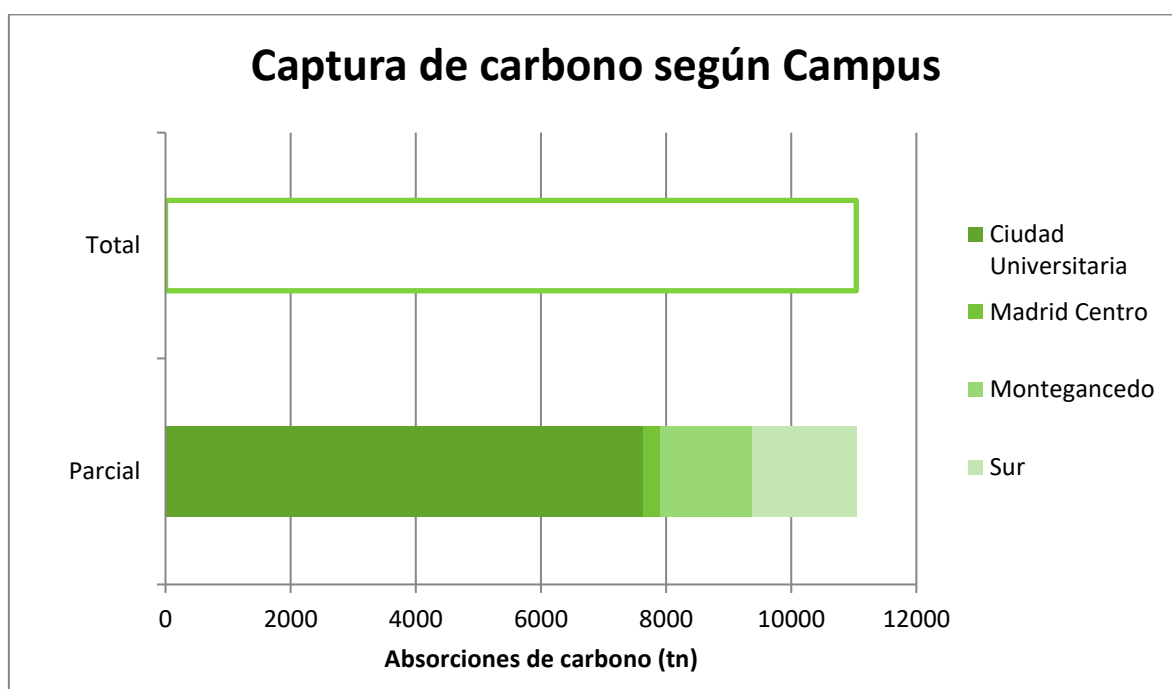


Figura 57. Representación gráfica de la captura de carbono según el Campus.

La captura de carbono según los centros o las instalaciones se muestra en toneladas en la Tabla 36 y la Figura 58. La escuela que más CO₂ absorbe es la ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural con una absorción de 1.742,80 toneladas de carbono, seguida por el Campus Montegancedo (1.477,01 toneladas), la ETSI Caminos, Canales y Puertos (1.097,36 toneladas) y la ETSI Telecomunicación (1.075,04 toneladas). Las escuelas que menos absorben la ETSI Civil con tan solo 1,27 toneladas de carbono absorbidas y la ETSI Diseño Industrial con 6,05 toneladas absorbidas.

Tabla 36. Captura de carbono (tn) en los centros o instalaciones de la UPM.

Centros/ Instalaciones	Captura carbono (tn)
Biblioteca- Campus Sur	368,63
Campos de prácticas de agrónomos (Norte)	788,36
Campos de prácticas de agrónomos (Sur)	285,22
Campus Montegancedo	1477,01
ETS Arquitectura- ETS Edificación	813,28
ETSI Aeronáutica y del espacio	451,97
ETSI Agronómica, alimentaria y de Biosistemas	351,08
ETSI Caminos, Canales y Puertos	1097,36
ETSI Civil	1,28
ETSI Diseño Industrial	6,05
ETSI Industriales	184,49
ETSI Minas	67,14
ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural	1742,80
ETSI Navales	705,34
ETSI Telecomunicación	1075,04
ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía	233,93
ETSI y Sistemas de Telecomunicación	840,28
INEF	105,39
INSIA	0
Instalaciones deportivas Campus Sur	218,28
Parking del Rectorado	107,65
Rectorado	119,15
Tecnogetafe	0
Total	11039,71

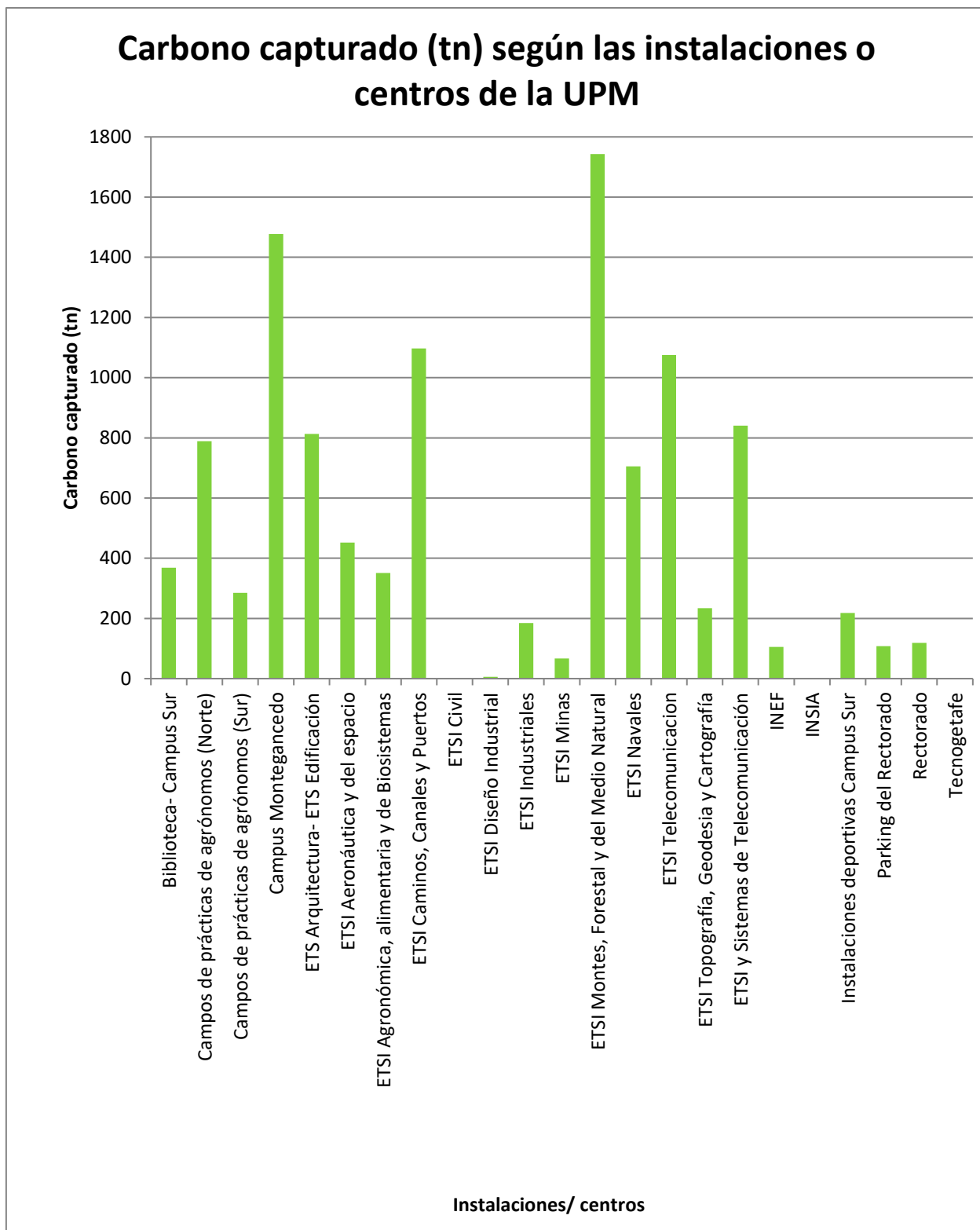


Figura 58. Representación gráfica de la captura de carbono (tn) en el centro o las instalaciones de la UPM.

El carbono capturado en kilogramos por especie se muestra en la Tabla 37. Las especies que han absorbido más carbono hasta ahora son el pino piñonero (*Pinus pinea*) con 2.859,73 toneladas, *Ulmus pumila* con 12.781,19 toneladas, *Platanus orientalis* con 11.013,27 toneladas o *Quercus ilex* con 10.774,33 toneladas de carbono absorbidas.

Tabla 37. Captura de carbono (kg) por especie.

Especie	Captura carbono (kg)	Especie	Captura carbono (kg)	Especie	Captura carbono (kg)
Abies alba	9544,11	Fraxinus excelsior	1281,27	Populus simonii	687,61
Abies concolor	63,50	Fraxinus ornus	44,50	Prunus armeniaca	1131,01
Abies masjoanis	5,89	Fraxinus sp.	5763,79	Prunus avium	2940,50
Abies nordmanniana	176,99	Ginkgo biloba	924,27	Prunus cerasifera	23241,73
Abies pinsapo	10738,54	Gleditsia triacanthos	69874,82	Prunus cerasifera var. pissardi	754,19
Acacia dealbata	2639,35	Hibiscus rosa-sinensis	145,21	Prunus domestica	5648,07
Acacia melanoxylon	689,31	Ilex aquifolium	1687,04	Prunus dulcis	35331,57
Acer campestre	18240,40	Juglans regia	7088,99	Prunus laurocerasus	1074,20
Acer japonicum	211,52	Juniperus chinensis	2519,30	Prunus lusitanica	5768,56
Acer monspessulanum	262,60	Juniperus communis	6,25	Prunus mahaleb	106,24
Acer negundo	42406,07	Juniperus oxycedrus	143,82	Prunus padus	99,38
Acer opalus var. granatense	477,17	Juniperus phoenicea	33,96	Prunus persica	1602,30
Acer palmatum	81,81	Juniperus sp.	6,25	Prunus serrulata	1091,98
Acer platanoides	6848,96	Juniperus virginiana	5399,10	Prunus sp.	6338,55
Acer pseudoplatanus	10843,80	Koelreuteria paniculata	2124,30	Prunus spinosa	42,32
Acer saccharum	411,51	Laburnum anagyroides	300,24	Pseudotsuga menziesii	470,38
Acer sp.	1827,98	Lagerstroemia indica	1052,40	Punica granatum	314,04
Actinidia chinensis	130,39	Larix decidua	2,66	Pyrus sp.	15592,21
Aesculus carnea	3502,74	Laurus nobilis	11266,97	Quercus canariensis	5468,72
Aesculus hippocastanum	47183,22	Ligustrum japonicum	11929,53	Quercus castaneifolia	689,30
Ailanthus altissima	234543,62	Ligustrum lucidum	23324,13	Quercus coccifera	104,35
Albizia julibrissin	1739,33	Liquidambar formosa	103,22	Quercus faginea	2006,30
Amelanchier ovalis	82,22	Liquidambar styraciflua	4520,70	Quercus humilis	1470,53
Amorpha sp.	82,76	Liriodendron tulipifera	41,79	Quercus ilex	1077433,75
Arbutus menziesii	374,04	Lonicera xylostium	13,11	Quercus ilex ssp. ballota	13931,12

Arbutus unedo	15929,45	Magnolia grandiflora	35165,09	Quercus ilex ssp. ilex	220,73
Betula pendula	2309,32	Malus pumila	74,44	Quercus petraea	66,45
Brachychiton acerifolium	82,89	Malus sp.	14950,91	Quercus pyrenaica	96,86
Broussonetia papyrifera	2057,38	Melia azedarach	12252,16	Quercus robur	5885,19
Buxus sempervirens	106,14	Morus sp.	53027,03	Quercus rubra	869,15
Capparis spinosa	288,67	Nerium oleander	1142,96	Quercus suber	51483,47
Caragana sp.	14,95	Olea europaea	24293,49	Robinia pseudoacacia	156795,01
Carpinus Betulus	613,18	Olea europaea var. europaea	421,27	Robinia sp.	2705,33
Castanea sativa	1485,88	Olea europaea var. sylvestris	25,28	Rosaceae	914,16
Casuarina	405,04	Parrotia sp.	18,04	Salix sp.	11948,38
Casuarina cunninghamiana	110,91	Paulownia sp.	1900,06	Sequoia sempervirens	1393,75
Catalpa bignonioides	2373,16	Phillyrea angustifolia	354,21	Sequoiadendron giganteum	15725,37
Cedrus atlantica	52777,78	Phillyrea latifolia	275,09	Sophora japonica	58679,47
Cedrus deodara	192944,18	Phillyrea media	825,71	Sorbus aria	29,28
Cedrus sp.	612344,82	Phoenix canariensis	60333,94	Sorbus aucuparia	1704,98
Celtis australis	14452,51	Photinia serratifolia	721,35	Sorbus domestica	2575,23
Ceratonia siliqua	449,19	Picea abies	766,22	Syringa vulgaris	579,27
Cercis siliquastrum	3582,95	Picea pungens	138,89	Tamarix sp.	4415,30
Chamaecyparis lawsoniana	1480,08	Picea Sp.	6,90	Taxus baccata	5548,26
Chamaerops humilis	584,46	Pinus canariensis	4340,70	Tetraclinis articulata	677,99
Citrus sinensis	293,03	Pinus coulteri	235,68	Thuja occidentalis	1373,81
Cornus mas	307,96	Pinus excelsa	222,97	Thuja plicata	94,08
Cornus sanguinea ssp. sanguinea	81,51	Pinus halepensis	280904,42	Tilia cordata	211,40
Corylus avellana	361,45	Pinus insignis	20,62	Tilia platyphyllos	1754,74
Cotinus coggygria	1292,41	Pinus nigra	3467,21	Tilia sp.	18398,80
Crataegus monogyna	3082,50	Pinus pinaster	14301,66	Trachycarpus fortunei	515,56
Cupressus arizonica	463001,78	Pinus pinea	2859728,06	Ulmus glabra	2220,22
Cupressus sempervirens	482448,27	Pinus sp.	4367,60	Ulmus laevis	40,43
Cydonia oblonga	830,97	Pinus sylvestris	133715,38	Ulmus minor	111,01
Diospyros kaki	56,72	Pinus uncinata	119,24	Ulmus pumila	1278119,71

Elaeagnus angustifolia	3569,43	Pistacia lentiscus	119,61	Ulmus sp.	42550,32
Erica arborea	83,57	Pistacia terebinthus	30,06	Viburnum lantana	57,55
Eriobotrya japonica	56,83	Pistacia vera	3145,58	Viburnum opalus	26,68
Eucalyptus camaldulensis	10138,11	Pittosporum tobira	13186,46	Viburnum tinus	331,19
Eucalyptus globulus	12019,29	Platanus orientalis	1101327,40	Vitex agnus-castus	216,71
Euonymus europaeus	111,81	Platanus orientalis var. acerifolia	164366,42	Vitis vinifera	19,52
Fagacea (genero)	335,41	Platycladus orientalis	17570,29	Zelkova ulmifolia	86,29
Fagus sylvatica	486,43	Populus alba	624416,07	Ziziphus jujuba	472,27
Ficus carica	11354,60	Populus bolleana	231511,01		
Fraxinus angustifolia	4124,08	Populus nigra	62535,75		

Los 10 pies que más carbono absorben en la UPM son todos evaluados con el inventario pie a pie, se muestran en la Tabla 38. Destacando la especie del segundo pie con más absorciones *Ailanthus altissima* con 25,11 tn absorbidas, que es una planta de carácter invasor. También sobresale la presencia de siete pies con grandes cantidades de carbono en dos instalaciones, ETSI Telecomunicación (4 pies) y la ETSI Caminos, Canales y Puertos (3 pies), es más de los diez pies que más absorben, nueve pertenecen al Campus Ciudad Universitaria.

Tabla 38. 10 pies con más absorción de CO₂ (kg).

Pie	D (cm)	H (m)	Especie	Campus	Instalación/ Centro	Biomasa total (kg)	Carbono fijado (kg)
270	124	12	<i>Pinus Pinea</i>	Ciudad Universitaria	ETSI Telecomunicación	16482,76	30218,39
296	122	9	<i>Ailanthus altissima</i>	Ciudad Universitaria	ETSI Telecomunicación	13699,58	25115,90
302	120	15	<i>Pinus Pinea</i>	Ciudad Universitaria	ETSI Telecomunicación	16116,62	29547,13
411	120	14	<i>Pinus pinea</i>	Ciudad Universitaria	ETSI Telecomunicación	15879,99	29113,31
520	134	13	<i>Pinus pinea</i>	Ciudad Universitaria	ETSI Caminos, Canales y Puertos	19621,20	35972,20
524	115	13	<i>Pinus pinea</i>	Ciudad Universitaria	ETSI Caminos, Canales y Puertos	14332,13	26275,56
538	120	11	<i>Ulmus pumila</i>	Ciudad Universitaria	ETSI Caminos, Canales y Puertos	14100,33	25850,61
1194	144	18	<i>Ulmus pumila</i>	Campus Sur	Biblioteca- Campus Sur	24693,67	45271,74
3955	120	14	<i>Pinus pinea</i>	Ciudad Universitaria	ETSI Aeronáuticos y del Espacio	15879,99	29113,31
4538	120	15	<i>Pinus pinea</i>	Ciudad Universitaria	Campo de prácticas de agrónomos (Norte)	16116,62	29547,13

Los datos de absorciones de carbono y pies por hectárea se encuentran en la Tabla 39 y Figura 60. En el caso del carbono la escuela que más absorbe en relación con la superficie es la ETSI Navales con 308,01 tn/ha absorbidas, siendo la ETSI Civil la que menos CO₂ absorbe con 2,5 tn/ha. En la Figura 59 se observa gráficamente de forma más representativa la capacidad de absorción de CO₂ del Campus Ciudad Universitaria.

Tabla 39. Superficie, densidad (pies/ ha) y CO₂ absorbido/ ha en cada centro/ instalación.

Instalación/ centro	Superficie (ha)	Densidad (pies/ ha)	CO₂ absorbido (tn/ ha)
Biblioteca- Campus Sur	2,19	83,56	168,33
Campos de prácticas de agrónomos (Norte)	7,48	69,92	105,4
Campos de prácticas de agrónomos (Sur)	8,75	33,14	32,6
Campus Montegancedo	48,66	73,63	30,35
ETS Arquitectura- ETS Edificación	5,66	104,95	143,69
ETSI Aeronáutica y del espacio	3,39	124,78	133,32
ETSI Agronómica, alimentaria y de Biosistemas	6	60	58,51
ETSI Caminos, Canales y Puertos	6,49	81,51	169,08
ETSI Civil	0,51	15,69	2,5
ETSI Diseño Industrial	0,76	13,16	7,96
ETSI Industriales	2,13	50,23	86,61
ETSI Minas	0,99	14,14	67,81
ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural	9,86	348,68	176,75
ETSI Navales	2,29	174,24	308,01
ETSI Telecomunicación	5,27	67,17	203,99
ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía	1,45	112,41	161,33
ETSI y Sistemas de Telecomunicación	4,54	93,83	185,08
INEF	0,63	31,75	167,29
INSIA	3,78	0	0
Instalaciones deportivas Campus Sur	3,56	78,09	61,31
Parking del Rectorado	0,49	146,94	219,7
Rectorado	1,38	105,8	86,34
Tecnogetafe	10,12	0	0
Total	136,38	87,40	80,95

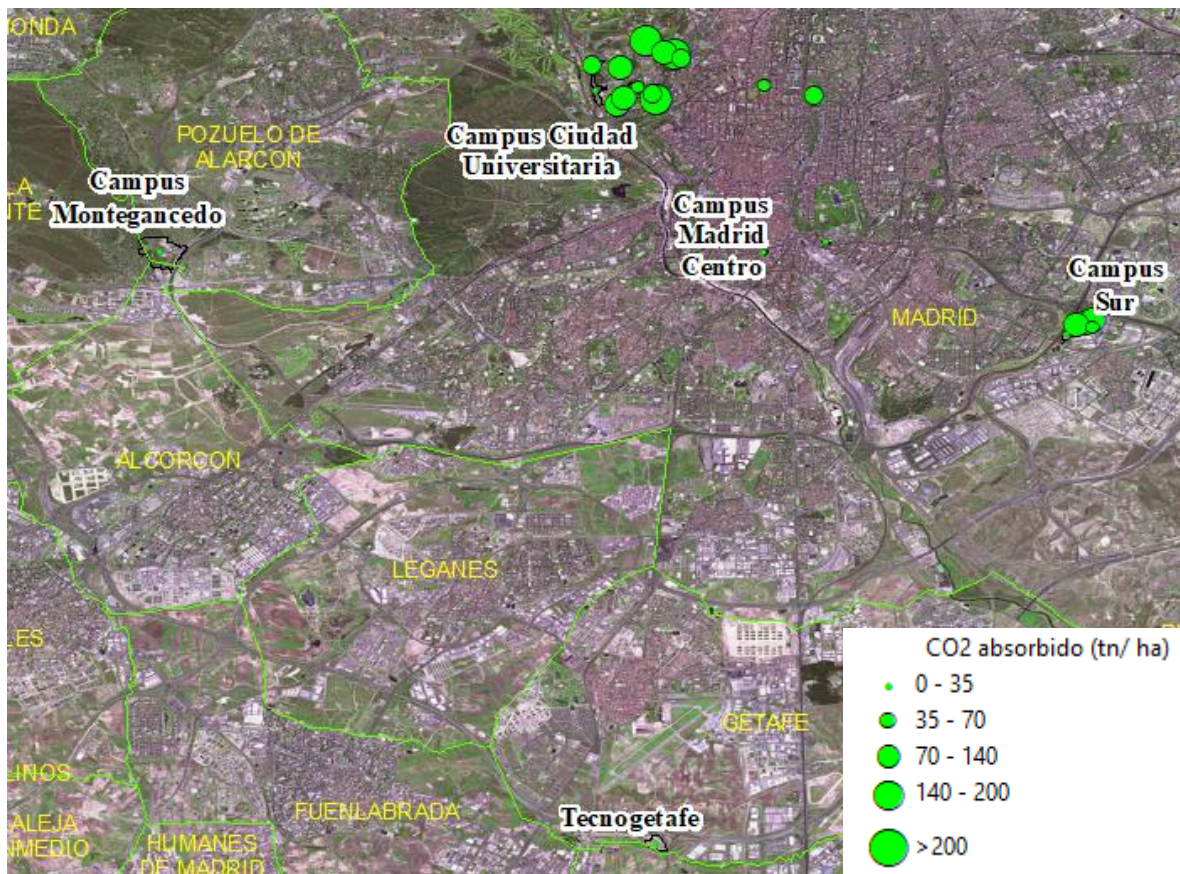


Figura 59. Distribución del CO₂ absorbido (tn/ ha).

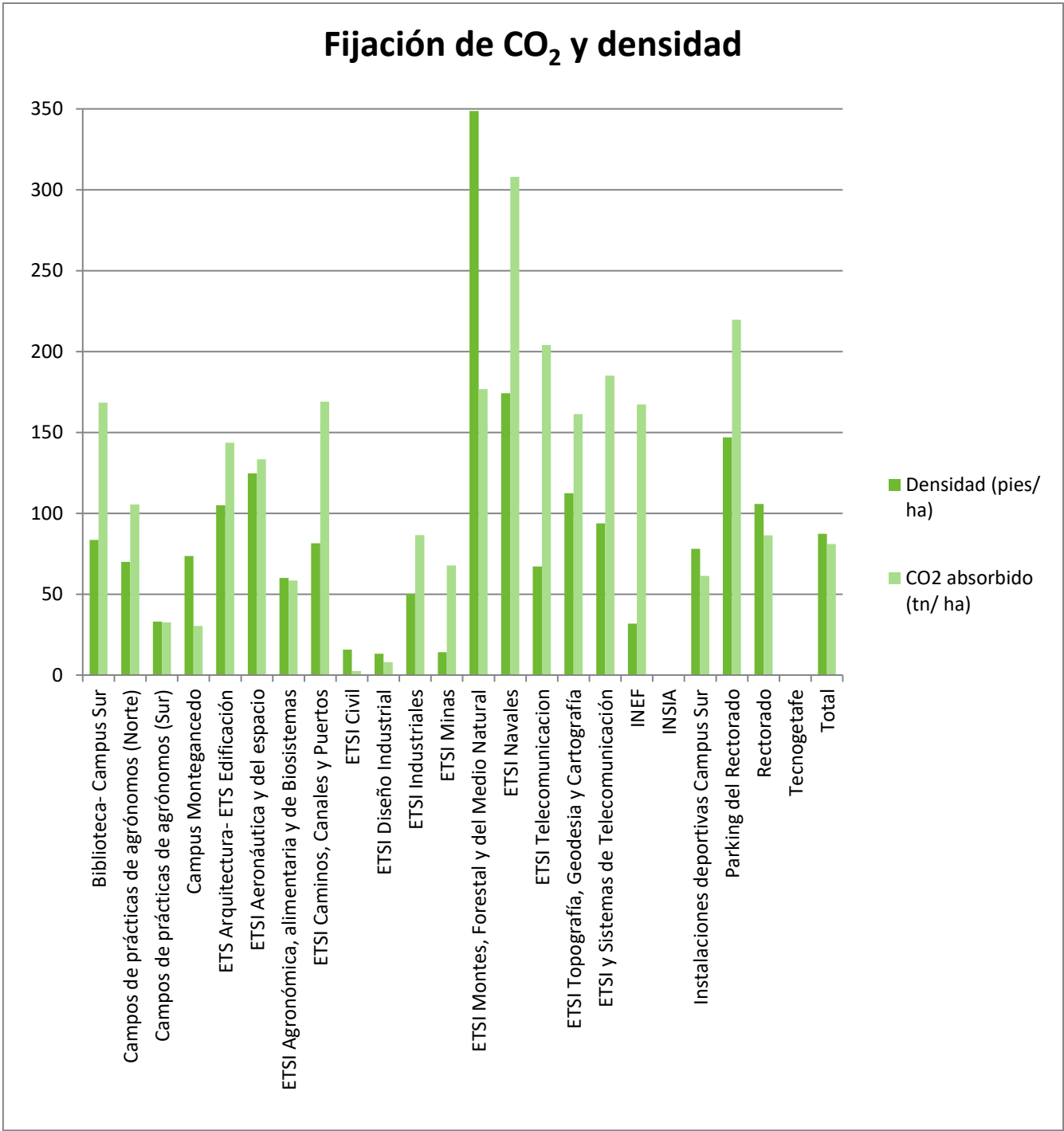


Figura 60. Representación gráfica de la fijación de CO₂ (tn/ha) en relación con la densidad (pies/ha).

6. DISCUSIÓN

6.1.RESULTADOS DEL INVENTARIO

Actualmente la UPM carece de una información cartográfica digitalizada y actualizada por eso este proyecto comenzó como un reto cartográfico. Por ello, en algunos casos se han inventariado zonas por exceso y otras por defecto.

Las zonas cartografiadas que han podido estimarse en exceso son las zonas “extra” del Campus Montegancedo. Y las zonas que se presumen inventariadas de menos serían las isletas del Campus Sur puesto que según la información recogida en campo directamente del personal de mantenimiento también pertenecen a la Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

Respecto al inventario se encuentra que según lo mostrado en la revisión del inventario la zona correspondiente al edificio de la antigua EUIT Forestales no se encuentra dentro del catálogo. Por lo tanto no se poseen datos de esta zona. Pero se toma la decisión de no llevar a cabo esta parte del inventario porque en la actualidad se está realizando un inventario de arbolado con mayor precisión en la ETSIMFMN (ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural).

Actualmente, se encuentran en desarrollo los inventarios de las ETSIMFMN y ETSIAAB (ETSI Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas) con más detalle del arbolado encontrado en las instalaciones.

El bosque urbano de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) está conformado por todas las zonas verdes de los diferentes centros e instalaciones. En esta se encuentran los cinco tipos de bosque urbano de FAO 2016: Árboles de calles o plazas (alineaciones, aparcamientos), parques municipales y bosques urbanos de < 0,5 ha y >0,5 ha, bosques y arbolados periurbanos, y otras áreas verdes (instalaciones deportivas). Esta variedad de bosque urbano es debido a la diferencia en las instalaciones y las superficies que ocupan.

Tras la evaluación de los datos se encuentra una alta densidad de pies con hasta 348,68 pies/ha en el arboreto de la ETSIMFMN, con una gran diversidad de especies de hasta 154 que promueve a su vez una diversidad faunística.

El bosque urbano en muchos casos pretende cumplir varias funciones, como lugar de entretenimiento, lugar de estudio, bienestar social, etc. En el caso de las zonas de la UPM evaluadas, se observa de forma destacada las funciones de: la ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural como jardín botánico de estudio de las diferentes especies dentro y fuera de la península, siendo un museo vivo; y la función del Campus Montegancedo como centro naturalización por la escasa influencia del hombre en el arbolado.

Este proyecto contribuye a la digitalización de los pies proporcionando una cartografía actualizada del arbolado de la UPM, donde se puede tener la oportunidad de controlar los datos en inventarios posteriores. Esta información SIG puede proporcionar medios para evaluar el crecimiento de los pies en el arbolado urbano, así como actualizar la existencia de los pies. Por otro lado, se proporcionan herramientas para los inventarios que se deberían realizar secuencialmente.

Los resultados más importantes del inventario son los 11.920 pies medidos en las 136,38 ha, con una riqueza arborea de 195 especies. La densidad arborea del total de las instalaciones es de 87,40 pies/ ha, con una absorción acumulada de CO₂ de 80,95 tn/ ha.

Como se puede observar en los resultados la metodología que genera mejores datos de inventario es la metodología de evaluación pie a pie. Generando una mejor valoración de los parámetros de diámetro y altura, sobre todo en comparación con la metodología de sensores remotos.

6.2.ESTADO DEL ARBOLADO

La revisión de la historia de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) es importante para conocer el estado del arbolado, así como su evolución.

En el caso del Campus Ciudad Universitaria se encuentra que la mayoría de la vegetación que se encuentra presente actualmente se encuentra en decaimiento. Las especies plantadas en 1940 fueron especies de crecimiento: chopos, álamos, etc., que están en su punto de decadencia y muerte natural. Tras el inventario se encuentra que actualmente presentan problemas de decaimiento, enfermedades, etc. suponiendo su presencia un riesgo para la población.

Además de especies de crecimiento rápido, se plantaron algunas de crecimiento lento como: pinos, cedros, etc. que en su mayoría no presentan riesgo para la población. Salvo en el caso del pinar de la E.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos, donde a pesar de la edad de la masa se encuentra una alta densidad de pies pequeños y con alto coeficiente de esbeltez, lo que supone un alto riesgo en los temporales de aire que están sucediendo en la ciudad.

El Campus Montegancedo presenta en su mayoría vegetación en forma de dehesa, con pies espaciados y formando una estructura monoespecífica de encinas, salvo las zonas ajardinadas y tratadas, que con el inventario realizado no presenta problemas llamativos. Esta estructura es debida a que las zonas tratadas se encuentran cerca de los edificios principales, sobre todo de la E.T.S.I Informáticos.

La vegetación de las escuelas del Campus de Madrid Centro es escasa debido a su emplazamiento. Tras el inventario se estima que sus problemas de vegetación no son importantes, salvo las zonas de *Platanus orientalis* que presentan daños por poda e insolación.

Las problemáticas más relevantes encontradas en Campus Sur se deben a la vegetación de crecimiento rápido, donde se encuentran tocones de algunos *Populus alba* y otra vegetación en mal estado como el “bosquete” de olmo y *Robinia pseudoacacia*.

6.3.BASES PARA LA ORDENACIÓN

A partir de los resultados del inventario y la evaluación del arbolado se pretende sentar las bases para la ordenación del bosque urbano.

Las propuestas para la ordenación de las zonas arboladas se basan en medidas de precaución sobre el riesgo de la población. En las zonas donde la estabilidad de la masa se encuentra comprometida, se plantea evaluar detalladamente el estado de la masa para plantear una sustitución progresiva del arbolado. Por ello, se propone la retirada y sustitución progresiva de la vegetación de crecimiento rápido, principalmente *Populus alba*. Estas se sustituirían por especies

de crecimiento lento como *Pinus pinea*, que además es la especie cuyos árboles absorben más carbono.

La vegetación que se encuentra en estado de masa por lo general no representa ningún problema, aun así se detecta la necesidad de plantear la realización de un tratamiento de claras sucesivas en la zona de pinar de la ETSI Caminos, Canales y Puertos. La finalidad de estas claras son la reducción del coeficiente de esbeltez de los pies, y promover la regeneración sucesiva de los terrenos.

Por otro lado, para aumentar la vegetación del bosque urbano se plantea la posible repoblación de la zona de las instalaciones deportivas que se encuentra sin vegetación. Para ello, se plantea la creación de un parque de arbolado con diversos servicios ecosistémicos: diversidad de especies faunísticas, sombra, recreo, bienestar social, etc. Según esto, se propone introducir especies como: pino piñonero, que otorgaría productos como el piñón; especies aromáticas de carácter arbustivo para favorecer el sentido olfativo, o encinas.

Además, se plantea organizar de forma más selectiva las instalaciones de campos de prácticas de agrónomos, fomentando el desarrollo de arbolado en los terrenos sin uso, con posibles cultivos de captura de carbono para desarrollar ensayos de evaluación de la biomasa, y así poder generar fórmulas de cálculo de la biomasa. Además, para contribuir al desarrollo de la diversidad se propondría la instalación de panales de abejas para evitar la pérdida de esta especie en peligro.

Por otro lado, se encuentra un total de 254 pies de *Ailanthus altissima* y 10 pies de *Acacia dealbata*, plantas declaradas invasoras en la península ibérica tal como se aprecia en el Catálogo de Especies invasoras modificado por el Real Decreto 216/ 2019 por el (Ministerio para la transición ecológica 2019a). Los motivos de la introducción de estas especies en el Catálogo se introducen a continuación:

- La *Acacia dealbata*: impide la regeneración natural tras los incendios; empobrece la riqueza florística; desplaza a la vegetación nativa; y su polen es alérgeno.
- El *Ailanthus altissima*: desplaza la vegetación nativa; altera el funcionamiento de los ecosistemas (concentración de nitrógeno o pH); puede dañar el alcantarillado y los cimientos de los edificios; y empobrece el sabor de la miel, entre otros.

Según lo descrito, la cantidad de pies de la *Acacia dealbata* no representa graves problemas, salvo para personas alérgica. En cambio, el *Ailanthus altissima* puede representar problemas económicos, por eso se plantearía un seguimiento específico para estos pies para evitar problemas, además de intentar evitar la propagación de semillas.

6.4.CONTRAHUELLA DE CARBONO

Tras el último Inventario Forestal Nacional (IFN4), se estima que las existencias de CO₂ fijado en la biomasa arbórea en los montes españoles es de 3.753,8 millones de toneladas en 27,7 millones de hectáreas, con 94 millones de toneladas por año. Los árboles que han fijado esta cantidad de CO₂ son aproximadamente 17.805 millones (Montero y Serrada 2013).

Los 11.920 pies inventariados en la UPM han absorbido un total de 11.039,65 t CO₂, se podría extrapolar las absorciones estimando unas emisiones anuales de 81,46 t CO₂.

Tal como se explica en el Proyecto “PLAN DE SOSTENIBILIDAD DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID: ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPORTUNIDADES PARA LA GESTIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO. AÑO 2019” de Sobrino Tena et al.(2019) las emisiones de CO₂ aparentemente se van reduciendo anualmente entre los años 2013-2016, como se muestra en la Figura 61. Actualmente la UPM se encuentra calculando la huella de carbono para los años 2017 y 2018. Tal como se puede observar en la gráfica las emisiones de carbono para el año 2016 eran de 14.301,47 t CO₂e. Como se ha calculado en el presente proyecto actualmente el arbolado de la UPM ha absorbido un total de 11.039,65 t CO₂. Por tanto, todavía hay que continuar reduciendo la huella de carbono emitida por la universidad, para poder contrarrestar la huella de carbono.

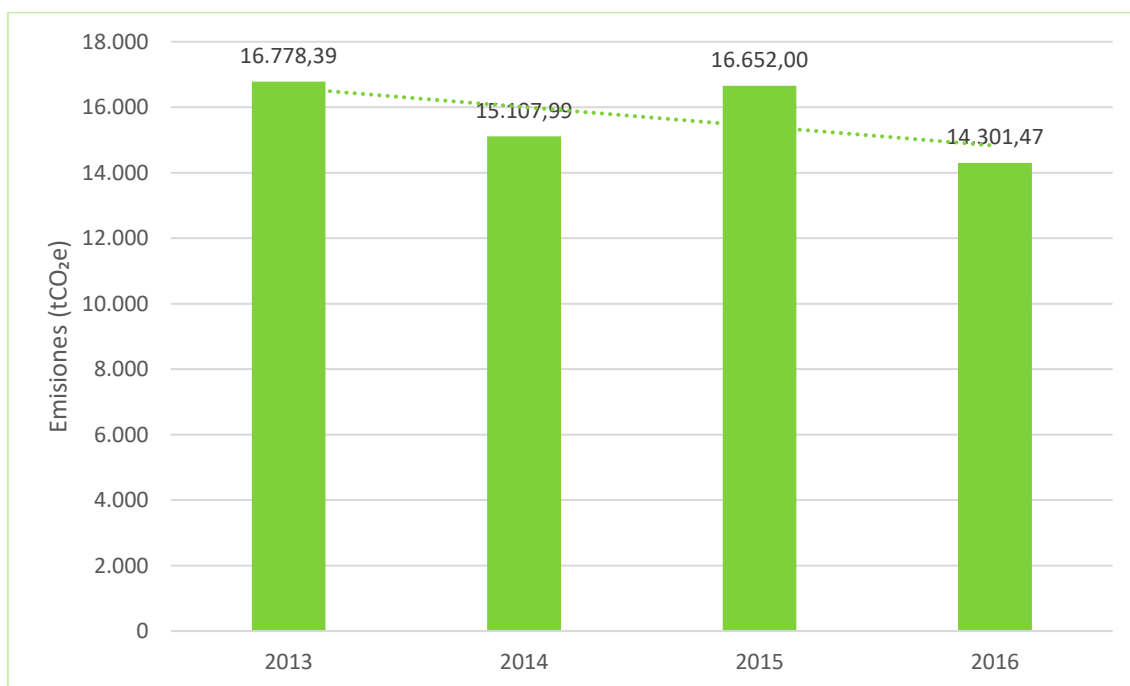


Figura 61. Evolución de la huella de carbono total de la UPM (tCO₂e). Período 2013-2016. Fuente: Sobrino Tena et al.(2019).

Evaluando los datos de absorciones de carbono, se puede determinar un aumento exponencial de la captura de carbono se encuentra cuando aumenta el tamaño de los pies. Por tanto se puede evaluar la necesidad de promover la presencia de pies mayores, siempre con un arbolado joven que sustituya escalonadamente a los árboles en decaimiento.

Las bases propuestas para la ordenación tienen una doble finalidad principalmente mejorar el estado del arbolado, y por otro lado, promover el aumento de las absorciones de carbono. El estado del arbolado contribuye al estado de la biomasa y por tanto al del carbono fijado. Además, incrementar la vegetación tiene factores positivos en este aspecto.

El presente proyecto presenta las absorciones del arbolado del bosque urbano de la UPM, pero otros grandes sumideros de carbono son las especies herbáceas, las arbustivas, y sobre todo, el suelo. Las absorciones del suelo dependen del clima, la vegetación del entorno y el tipo de suelo (tipo de suelo, sus horizontes, la profundidad), debido a esta complejidad no se lleva a cabo una estimación de sus absorciones.

Para mejorar los stocks de carbono en el suelo se pueden implementar medidas para disminuir los suelos no porosos, mediante la implementación de pavimentos drenantes. Las medidas pueden radicar en modificar el tipo de suelo de las zonas como los aparcamientos, para pasar a ser elementos menos compactos que el asfalto.

Además, se presenta la posibilidad de aumentar las absorciones de carbono mediante el empleo de biomasa de residuos vegetales de podas o cortas de la UPM, como compost.

Las contribuciones del arbolado en el carbono no solo resultan captando CO₂, también disminuyen las emisiones mediante las regulaciones térmicas que producen. Gracias al arbolado se necesita mantener mejor la temperatura de los edificios, refrigerando y calefactando más fácilmente.

6.5.SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Tal como se indica en el apartado de servicios ecosistémicos de la inducción, el bosque urbano puede generar una infinidad de beneficios, económicos, sociales y medioambientales. El servicio ecosistémico que más se desarrolla en este proyecto es la captación de huella de carbono (contrahuella de carbono).

Como se ha mencionado antes el arbolado también influye en la temperatura de los edificios, los árboles actúan como aislamiento térmico. Los sistemas de regulación térmicos internos del arbolado generan un aumento de temperatura en las cercanías de un árbol en invierno y una disminución en verano. Por tanto, los árboles mejoran la calefacción y refrigeración de los edificios.

Actualmente, se encuentran en diferentes puntos de la ciudad hasta 25 sensores que miden la temperatura y la humedad relativa, y en algunos puntos se miden otros datos como viento o la incidencia solar. Estos sensores han aportado datos de diferencias de temperatura de hasta 5 °C (Ruiz López de la Cova 2019).

El efecto del arbolado no solo es térmico, presenta otros beneficios como la regulación de los recursos hídricos. Gracias al arbolado, cuando el agua precipita las copas reducen la erosión del suelo. Además, las raíces facilitan la retención del suelo y así evitan la pérdida de el mismo.

La vegetación de la UPM puede contribuir a la creación de un anillo verde alrededor de la ciudad. La conexión por el Noroeste del Monte del Pardo con la Casa de Campo, el Real Club de Puerta de Hierro, y la Dehesa de la Villa puede aumentarse con el cuidado y la revegetación de las zonas especificadas en las bases de ordenación. Esta zona a su vez está conectada con el Parque del Oeste, el Campo del Moro, y la Casa de Campo otra vez.

Por el Sur se conecta la zona de Madrid Río con diferentes parques de la zona de Puente de Vallecas (Entrevías y Portazgo), aunque se puede ampliar esta zona repoblando los descampados que se encuentran entre Madrid Río y el Campus Sur.

Estas medidas suponen una mejora significativa de la conectividad vegetal y así como una mejora de la biodiversidad animal. El aumento de la afluencia de fauna a zonas con tratamientos sobre el bosque urbano o zonas restauradas (Madrid Río) se ha comprobado en zonas como el río Manzanares con la aparición de mayor número de anátidas.

Además, estas medidas pueden contribuir al desarrollo de la iniciativa Madrid 360 (Ayuntamiento de Madrid 2019), que pretende plantar más de 100.000 árboles en la ciudad para ampliar este anillo verde ya mencionado, mediante la recuperación de parques de proximidad, entre otras medidas.

Por otro lado, es indudable el valor de los bosques generando bienestar psicológico en las personas, habiéndose comprobado su beneficio en zonas escolares, con aumento de la atención, o en ámbitos laborales, con mayor productividad laboral. También se obtiene bienestar en otros aspectos como el aparato respiratorio o límbico.

Otro gran aspecto del arbolado urbano es el uso y disfrute de él. El cambio de floración con las estaciones, el ambiente refrigerado o los cambios de olores de la floración, proporciona un gran valor añadido a estas zonas.

El bosque urbano aporta un amplio valor educativo, sobre todo por su simple existencia. El estudio de la diversidad de especies de flora y fauna conlleva una gran fuente de conocimiento. Una fuente que, en el caso del arboreto de la ETSIMFMN, está retribuyendo positivamente al cuidado y mantenimiento del bosque urbano, formando a los ingenieros que se encargan de garantizar su futuro y mejora.

A parte del bosque urbano, la UPM genera otros servicios ecosistémicos culturales, como la existencia de museos, colecciones o bibliotecas con libros inéditos. Los museos y las colecciones se citan a continuación, para más información sobre estos se puede consultar la web Universidad Politécnica de Madrid (2019o).

- Arboreto de la ETSIMFMN.
- Aula- museo de la construcción, ETS Edificación.
- Aula taller Museo de las Matemáticas “π-ensa” ETSI Caminos, Canales y Puertos.
- Banco de semillas ETSIAAB.
- Cartoteca del profesor “Martín López”, ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía.
- Colección de maderas de la ETSIMFMN.
- Colección de zoología, ETSIMFMN.
- Colección entomológica, ETSIAAB.
- Herbario EMMA, ETSIMFMN.
- Herbario y colección didáctica de botánica MAA, ETSIAAB.
- Museo “Joaquín Serna”, ETSI Telecomunicación.
- Museo “Torres Quevedo”, ETSI Caminos, Canales y Puertos.
- Museo de agronomía, ETSIAAB.
- Museo de Geología Aplicada, ETSI Caminos, Canales y Puertos.
- Museo de instrumentos topográficos, ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía.
- Museo de las telecomunicaciones, ETSI Telecomunicación.
- Museo INEF, INEF.
- Museo histórico de la informática, Facultad de Informática de Campus Montegancedo.
- Museo histórico- minero “Don Felipe de Borbón y Grecia”, ETSI Minas.
- Museo Tecnológico, ETSI Industriales.
- Piscifactoría, ETSIMFMN.

6.6.DIFICULTADES

A lo largo del proyecto se han encontrado diversas problemáticas.

Para comenzar la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) carece de cartografía digital, además de presentar zonas que no consta pertenezcan a la UPM o que no tienen los límites bien definidos dentro de las instalaciones. Tras la visita a campo en algunos casos se pudieron especificar mejor los límites de las instalaciones.

Después se encontraron dificultades para obtener los datos de la revisión de inventarios, en este caso faltó la información cartográfica de la ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural carece de coordenadas por lo que se imposibilita la modificación del estado de los árboles. Es decir, se cancela la posibilidad de retirar los pies de chopo muertos o cortados en los últimos años o introducir los pies nuevos plantados.

Durante el inventario pie a pie se encuentra el problema de georreferenciar los pies dada la escasa precisión del GPS cuando se trata zonas densas en arbolado, es decir, cuando no se trata de pies aislados.

Mientras se realizó el inventario a través de sensores remotos se detectaron problemas a la hora de determinar la presencia/ ausencia de pies grandes. También se encontraron problemas a la hora de determinar los diámetros, puesto que para pies pequeños las curvas de regresión planteadas, los diámetros resultaban muy pequeños.

Para calcular la contrahuella de carbono se plantearon problemas a la hora de estimar la biomasa de los pies, debido a la sola presencia de 25 modelos de estimación para especies forestales. Teniendo tras el inventario 195, y tan solo fórmulas para 25 especies se asocian las especies a los modelos mediante comparación morfológica, basada en la comparación previa de Díaz Caja et al. (2015), a pesar de tratarse de especies desarrolladas en el medio urbano y por tanto con diferente biomasa que en estado natural. Por eso, aunque estos pies hayan sido tratados (podas) o regados, generando menor profundidad en las raíces, se toman estos 25 modelos.

Además, se tuvieron que excluir determinados pies del inventario debido a errores en la identificación, o la falta de datos de diámetro y altura. Estos pies corresponden al inventario de 2013 de la ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural, la única forma de corregir esta problemática es llevar a cabo una revisión del inventario.

6.7.LÍNEAS FUTURAS

Los trabajos futuros que pueden desarrollar serían:

- Plantear una cartografía referenciada y digitalizada, que incluya todos los terrenos dependientes de la UPM.
- Elaborar modelos de estimación de biomasa para las especies que carecen de él.
- Evaluar la magnitud de las podas como punto de pérdida de biomasa del árbol. Aunque no de absorción de carbono esta leña no emite el carbono que ya ha sido absorbido.
- Estimar la captura de carbono de suelo, herbáceas y matorrales.
- Elaborar un inventario actualizado y completo de la ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural.

- Realizar inventarios sucesivos de la UPM.
- Ampliar los resultados y aportaciones a otras zonas verdes de España.
- Ampliar el estudio sobre los servicios ecosistémicos del bosque urbano.
- Estudiar nuevos servicios ecosistémicos,

7. CONCLUSIONES

Con este proyecto se ha conseguido definir una superficie de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) de alrededor de 136,38 ha dentro de los límites definidos por catastro, con las pertinentes modificaciones tras su visita a campo. En esta superficie se han medido 11.920 pies empleando tres metodologías diferentes, considerándose la más efectiva la evaluación pie a pie.

La simple existencia de la gran diversidad específica existente en la UPM, 195 especies proporciona un gran valor añadido a la presencia de cada árbol. Debido a la diversidad florística y visual.

Los servicios ecosistémicos del arbolado urbano son amplios, pero en su mayoría no son cuantificables hasta el momento. Aun así, se puede definir la cuantificación de carbono a través de los parámetros unitarios de especie, diámetro y altura de cada pie, en el caso del arbolado de la UPM, se ha calculado una cantidad de carbono absorbido hasta el momento de 11.039,71 tn/CO₂.

Los resultados obtenidos pueden favorecer la elección de unas especies frente a otras en los proyectos que se están planteando en Madrid 360 para mejorar la captura de carbono.

Este proyecto pone en valor la necesidad de modificar nuestros hábitos de consumo puesto que no podemos dejar que todo el trabajo que queda por realizar para compensar las actividades humanas lo lleve a cabo el arbolado.

Para concluir tras haberse realizado el inventariado el bosque urbano de la UPM, se han contabilizado 11.920 pies en 136,38 ha con una representación de 195 especies diferentes.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLÓ, M., 2019. MOOC SOSTENIBILIDAD Y BIG DATA. *Universidade da Coruña* [en línea], Disponible en: <http://hdl.handle.net/2183/22966>.
- ÁLVAREZ GALLEGO, S., RUBIO SÁNCHEZ, A., RODRÍGUEZ OLALLA, A., AVILÉS PALACIOS, C. y LÓPEZ QUERO, M., 2015. *Conceptos básicos de la huella de carbono*. S.l.: AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación). ISBN 978-84-8143-893-2.
- ARBORETO DE MONTES, 2014. El Arbolito de Montes. [en línea]. [Consulta: 18 noviembre 2019]. Disponible en: <http://www2.montes.upm.es/ArbolitoMontes/index.php/acerca-de/>.
- AVILÉS PALACIOS, C., OLIVIERI, F., ROMERO, G., ALFONSO, D. y ÁLVAREZ CAMPANA, M., 2019. Convocatoria del programa de Campus Sostenible en la UPM para el año 2019. *Universidad Politécnica de Madrid*,
- AYUNTAMIENTO DE MADRID, 2019. Avance de la estrategia de sostenibilidad Ambiental. Madrid 360. *Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad*, pp. 84.
- BALBOA- MURIAS, Miguel Ángel, RODRÍGUEZ- SOALLEIRO, R., MERINO, A. y ÁLVAREZ- GONZÁLEZ, J.G., 2006. Temporal variations and distributions of carbon stocks in aboveground biomass of radiata pine and maritime pine pure stands under different silvicultural alternatives. *ELSEVIER. Forest Ecology and Management*, vol. 237, pp. 29-38.
- BALBOA- MURIAS, Miguel A., ROJO, A., ÁLVAREZ, J.G. y MERINO, A., 2006. Carbon and nutrient stocks in mature *Quercus robur* L. stands in NW Spain. *Annals of Forest Science*, vol. 63, pp. 557-565.
- BIBLIOTECA CF+S, 2017. Biblioteca Ciudades para un Futuro más Sostenible. Ciudades para un futuro más sostenible. [en línea]. [Consulta: 11 agosto 2019]. Disponible en: <http://habitat.aq.upm.es/>.
- CABALLERO, M., LOZANO, S. y ORTEGA, B., 2007. Efecto invernadero , calentamiento global y cambio climático : una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista digital Universitaria*, vol. 8 Número 1, pp. 11.
- CAMPUS MONCLOA, 2019. Sostenibilidad. [en línea]. [Consulta: 10 agosto 2019]. Disponible en: <http://www.campusmoncloa.es/es/sostenibilidad/>.
- CESEFOR, 2013. FICHAS DE CAMPO ¿Cómo medir con DendroFlexómetro? [en línea], Disponible en: <http://dendroflexometro.fora.es/documentos/medir castellano.pdf>.
- CIAIS, P., SABINE, C., BALA, G., BOPP, L., BROVKIN, V., CANADELL, J., CHHABRA, A., DEFRIES, R., GALLOWAY, J., HEIMANN, M., JONES, C., LE QUÉRÉ, C., MYNENI, R.B., PIAO, S. y THORNTON, P., 2013. *Carbon and Other Biogeochemical Cycles Chapter 6*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: s.n.
- CISET. CENTRO DE INNOVACIÓN, 2019. Parque Getafe Tecnológico. [en línea]. [Consulta: 13 noviembre 2019]. Disponible en: <http://www.centrodeinnovacion.es/parque-tecnologico-getafe>.
- CITSEM, 2019. CITSEM. Universidad Politécnica de Madrid. [en línea]. [Consulta: 13 noviembre 2019]. Disponible en: <http://www.citsem.upm.es/es/>.
- COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEILL, R. V., PARUELO, J., RASKIN, R.G., SUTTON, P. y VAN DEN BELT, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387. S.l.: s.n., pp. 253-260.
- CRUE, 2019. Comisión Sectorial CRUE- Sostenibilidad. [en línea]. [Consulta: 10 agosto 2019]. Disponible en: <http://www.crue.org/SitePages/Crue-Sostenibilidad.aspx>.
- CSDMM, 2012. Centro Superior de Diseño y Moda de Madrid. Campus Sur. [en línea]. [Consulta: 14 noviembre 2019]. Disponible en: <http://www.csdmm.upm.es/>.
- DÍAZ CAJA, D., RODRÍGUEZ OLALLA, A., ROIG GÓMEZ, S. y ESCRIBANO BOMBÍN, R., 2015. *Arbolito de Montes: Cálculo y Gestión de las absorciones de las emisiones de gases de efecto invernadero*. S.l.: Universidad Politécnica de Madrid.
- DIGE, G., 2015. Infraestructura verde: una vida mejor mediante soluciones verdes. *Agencia*

- Europea de Medio Ambiente* [en línea]. [Consulta: 22 agosto 2019]. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/es/articles/infraestructura-verde-una-vida-mejor#tab-noticias-y-articulos>.
- E.T.S. INGENIEROS DE CAMINOS CANALES Y PUERTOS, 2013. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos. .
- ECOMILENIO, 2015. Evaluación de Ecosistemas del Milenio de España. Ecosistemas para el bienestar humano. *Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente y universidades e instituciones asociadas* [en línea]. [Consulta: 29 octubre 2019]. Disponible en: <http://www.ecomilenio.es>.
- ENWHP, 2019. ENWHP. European Network for Workplace Health. [en línea]. [Consulta: 10 agosto 2019]. Disponible en: <https://www.enwhp.org/>.
- ESCOBEDO, F.J., GIANNICO, V., JIM, C.Y., SANESI, G. y LAFORTEZZA, R., 2019. Urban forests , ecosystem services , green infrastructure and nature-based solutions : Nexus or evolving metaphors? *Urban Forestry & Urban Greening* [en línea], vol. 37, pp. 3-12. ISSN 1618-8667. DOI 10.1016/j.ufug.2018.02.011. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.02.011>.
- ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE EDIFICACIÓN- UPM, 2019. Escuela Técnica Superior de Edificación. [en línea]. [Consulta: 14 noviembre 2019]. Disponible en: <http://www.edificacion.upm.es/>.
- ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AERONÁUTICA Y DEL ESPACIO, 2017. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio. Universidad Politécnica de Madrid. [en línea]. [Consulta: 14 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.etsiae.upm.es/>.
- ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA CIVIL, 2019. Página web de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil. [en línea]. [Consulta: 12 noviembre 2019]. Disponible en: <http://www.ingenieriacivil.upm.es/>.
- ETSAM, 2006. Iniciativa para una Arquitectura y un Urbanismo más Sostenible. *Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (ETSAM)*. Universidad Politécnica de Madrid [en línea]. [Consulta: 11 agosto 2019]. Disponible en: <http://habitat.aq.upm.es/iau+s/>.
- ETSAMADRID, 2009. Escuela Técnica Superior Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid. [en línea]. [Consulta: 14 noviembre 2019]. Disponible en: <http://etsamadrid.aq.upm.es/>.
- ETSI MONTES, 2019. Responsabilidad Social ETSI Montes. [en línea]. [Consulta: 10 agosto 2019]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/responsabilidadsocialmontes/>.
- ETSII-UPM, 2019. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. [en línea]. [Consulta: 12 noviembre 2019]. Disponible en: <http://www.etsii.upm.es/>.
- ETSIME-UPM, 2019. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía. [en línea]. [Consulta: 13 noviembre 2019]. Disponible en: <http://www.minasyenergia.upm.es/>.
- ETSISI, 2019. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sistemas Informáticos. Universidad Politécnica de Madrid. [en línea]. [Consulta: 13 noviembre 2019]. Disponible en: <http://www.etsisi.upm.es/escuela>.
- ETSIT, 2019. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicaciones (ETSIT- UPM). [en línea]. [Consulta: 16 noviembre 2019]. Disponible en: <http://www.etsit.upm.es/>.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA), 1999. *Environment in the European Union at the turn of the century*. Luxemburgo: Office for the Official Publication of the European Communities. ISBN 9282867757.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA), 2019. CICES. Towards a common classification of ecosystem services. *European Environment Agency* [en línea]. [Consulta: 29 octubre 2019]. Disponible en: <https://cices.eu>.
- EXERCISE IS MEDICINE, 2019. Exercise is Medicine. American College of Sports Medicine. [en línea]. [Consulta: 10 agosto 2019]. Disponible en: <https://exerciseismedicine.org/>.
- FAO, 2016. Guidelines on urban and peri-urban forestry. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*,
- FÖRA, 2019. DendroFlexómetro. *Föra (forest technologies)* [en línea]. [Consulta: 20 agosto 2019]. Disponible en: <http://dendroflexometro.fora.es/>.

- FOURQUREAN, J., JOHNSON, B., KAUFFMAN, J.B., KENNEDY, H., LOVELOCK, C., MEGONIGAL, J.P., RAHMAN, A. (Faiz), SAINTILAN, N. y SIMARD, M., 2014. *Carbono azul. Métodos para evaluar las existencias y los factores de emisión de carbono en manglares, marismas y pastos marinos* [en línea]. Arlington, Virginia, USA: Naciones Unidas Conservación internacional (CI) COI- UNESCO UICN. Disponible en: <http://thebluecarboninitiative.org/manual/>.
- GÓMEZ-GARCÍA, E., 2013. Modelos dinámicos de crecimiento para rodales regulares y su desagregación para la estimación de volúmenes y biomasa. *RCHSCFA*, DOI 10.5154/r.rchscfa.2012.08.047.
- GOODLAND, R., 1995. The concept of environmental sustainability. *Annual review of ecology and systematics*, vol. 26, pp. 1-24. DOI <https://doi.org/10.1146/annurev.es.26.110195.000245>.
- GRUMBINE, R.E., 1994. What Is Ecosystem Management ? *Conservation Biology*, vol. 8, pp. 27-38.
- GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ARQUITECTURA URBANISMO Y SOSTENIBILIDAD, 2015. Ciudades para un Futuro más Sostenible. Boletín CF+S. *Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid* [en línea]. [Consulta: 11 agosto 2019]. Disponible en: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/>.
- HUELLA DE CARBONO MONTES-UPM, 2019. Huella de Carbono Montes-UPM. [en línea]. [Consulta: 10 agosto 2019]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/carbonfootprintmontes/home>.
- INSIA, 2015. INSIA. [en línea]. [Consulta: 13 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.upm.es/UPM/Centros/CampusSur/INSIA>.
- IPCC, 2003. *Good Practice Guidance for Land Use , Land-Use Change and Forestry*. Japón: s.n. ISBN 4-88788-003-0.
- IPCC, 2006. Capítulo 4. Tierras forestales. *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra*. S.l.: s.n., pp. 1-93.
- IPCC, 2007. *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. OMM y PNUM. Suiza: s.n. ISBN 9291693227.
- IPCC, 2014. *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. OMM y PNUM. Suiza: s.n. ISBN 9789291693436.
- ISCN, 2019. International Sustainable Campus Network (ISCN). [en línea]. [Consulta: 10 agosto 2019]. Disponible en: <https://www.international-sustainable-campus-network.org/>.
- ITD UPM, 2019. Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Humano (itd). Innovation and Technology for Development Centre. [en línea]. [Consulta: 11 agosto 2019]. Disponible en: es.
- KRAJTER OSTOJČ, S. y KONIJNENDIJK VAN DEN BOSCH, C.C., 2015. Exploring global scientific discourses on urban forestry. *Urban*, vol. 14, pp. 129-138. DOI 10.1016/j.ufug.2015.01.001.
- MACÍAS PALOMO, A., 2016. *THE ROLE OF VISUALIZATIONS IN URBAN FORESTRY . CONCLUSIONS FROM MANAGERS ' PERSPECTIVES*. S.l.: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica Virtual.
- MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA, 2019a. Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras- Flora. [en línea]. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-especies/especies-exoticas-invasoras/ce_eei_flora.aspx.
- MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA, 2019b. Guía para la estimación de absorciones de dióxido de carbono. , vol. Versión 4, pp. 29.
- MINX, J.C., LAMB, W.F., CALLAGHAN, M.W., FUSS, S., HILAIRE, J., CREUTZIG, F., AMANN, T., BERINGER, T., DE OLIVEIRA GARCÍA, W., HARTMANN, J., KHANNA, T., LENZI, D., LUDERER, G., NEMET, G.F., ROGELJ, J., SMITH, P., VICENTE VIVENTE, J.L., WILCOX, J. y ZAMORA DOMINGUEZ, M. del M., 2018. Negative emissions — Part 1 : Research landscape and synthesis. *Environmental Research Letters*, vol. 13, pp. 30.

- MITECO, 2019. Cambio en las existencias de carbono de la biomasa viva en las tierras forestales que permanecen como tales. SEI. Ficha técnica sectorial LULUCF. *Sistema Español de Inventario de Emisiones. Metodologías de estimación de emisiones.*, pp. 1-11.
- MONTERO, G., RUIZ-PEINADO, R. y MUÑOZ, M., 2005. Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. En: CIFO-INIA, EGMASA y I.N. de I. y T.A. y A. (INIA) (eds.), *Monografías INIA: SERIE FORESTAL nº13*. S.l.: s.n., pp. 272. ISBN 84-7498-512-9.
- MONTERO, G. y SERRADA, R., 2013. *La situación de los bosques y el sector forestal en España 2013*. Lourizán (Pontevedra): s.n.
- MORLA JUARISTI, C., GÓMEZ MANZANEQUE, F. y MALDONADO RUÍZ, F.J., 2004. *I: Prácticas de Laboratorio: Reconocimiento de plantas*. S.l.: s.n. ISBN 84-86793-80-7.
- NACIONES UNIDAS, 1998. Protocolo de kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. , vol. 61702.
- OBSERVATORIO SOSTENIBILIDAD, 2019. Observatorio de Sostenibilidad. [en línea]. [Consulta: 11 agosto 2019]. Disponible en: <http://www.observatoriosostenibilidad.com/>.
- OMM, 2010. Observatorio de la Movilidad Metropolitana (OMM). [en línea]. [Consulta: 11 agosto 2019]. Disponible en: <http://www.observatoriomovilidad.es/>.
- ONU, 1987. Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. *Asamblea General de Naciones Unidas*, no. 87-18470, pp. 416.
- ONU, 1993. Report of the United Nations Conference on Environment and Development. *Asamblea General de Naciones Unidas*. Río de Janeiro: United Nations- New York, 1993, pp. 492.
- ONU, 2015a. Objetivos de Desarrollo del Milenio Informe de 2015. *Asamblea General de Naciones Unidas*, pp. 72.
- ONU, 2015b. Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. *Asamblea General de Naciones Unidas*, vol. 15-16301, pp. 1-40.
- ONU, 2019. Objetivos de Desarrollo Sostenible. [en línea]. [Consulta: 29 octubre 2019]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>.
- PAGIOLA, S., BISHOP, J. y VON RITTER, K., 2004. Assessing the Economic Value of Ecosystem Conservation. *Environmental departament paper* [en línea], vol. 101. Disponible en: <https://www.cbd.int/doc/case-studies/inc/cs-inc-iucn-nc-wb-en.pdf>.
- PÉREZ- CRUZADO, C., MERINO, A. y RODRÍGUEZ- SOALLEIRO, R., 2011. A management tool for estimating bioenergy production and carbon sequestration in *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens* grown as short rotation woody crops in north-west Spain. *Biomass and Bioenergy*, vol. nº35.
- PÉREZ FERNÁNDEZ, M.L. y ESCRIBANO BOMBÍN, R., 2013. *Catálogo vegetal del Arboreto de la E.T.S.I. Montes. Directrices para su conservación*. S.l.: Universidad Politécnica de Madrid.
- PLANT-IT GEO, 2018. TreePlotter. [en línea]. [Consulta: 24 septiembre 2019]. Disponible en: <https://treeplotter.com/>.
- REUS, 2019. La Universidad como entorno promotor de salud. Red Española de Universidades Saludables (REUS). [en línea]. [Consulta: 10 agosto 2018]. Disponible en: <https://www.unisaludables.es/es/>.
- RUIZ-DÍAZ, C., RODRÍGUEZ-ORTIZ, G., LEYVA-LOPEZ, J.C. y ENRÍQUEZ- DEL VALLE, J.R., 2014. Metodologías para estimar biomasa y carbono en especies forestales de México. *Naturaleza y desarrollo*, vol. 12, no. Número 1, pp. 28-44.
- RUIZ-PEINADO, R., DEL RIO, M. y MONTERO, G., 2011. New models for estimating the carbon sink capacity of Spanish softwood. *Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA)*, vol. 20, no. 1, pp. 176-188.
- RUIZ-PEINADO, R., MONTERO, G. y DEL RIO, M., 2012. Biomass models to estimate carbon stocks for hardwood tree species. *Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA)*, vol. 21, no. 1, pp. 42-52.
- RUIZ LÓPEZ DE LA COVA, R., 2019. *Adaptación de la ciudad de Madrid al cambio climático. El programa «Madrid + Natural»*. 2019. S.l.: Colegio Oficial de Ingenieros de Montes en la

- Comunidad de Madrid.
- SÁNCHEZ VEGA, M.V., 2008. La capa de ozono. *Revista Biocenosis*, vol. 21, pp. 19-22.
- SCHLESINGER, William H., 1995. An Overview of the Carbon Cycle. En: R. LAL, J. KIMBLE, E. LEVINE y B.A. STEWART (eds.), *Soils and Global Change. Advances in Soil Science*. Boca Raton, London, Tokyo: Lewis Publishers,
- SOBRINO TENA, B., AVILÉS PALACIOS, C. y RODRÍGUEZ OLALLA, A., 2019. *Plan de sostenibilidad de la Universidad Politécnica de Madrid: Análisis de riesgos y oportunidades para la gestión de las emisiones de gases de efecto invernadero. Año 2019*. S.l.: Universidad Politécnica de Madrid.
- STEENBERG, J.W.N., DUINKER, P.N. y NITOSLAWSKI, S.A., 2019. Ecosystem-based management revisited : Updating the concepts for urban forests. *Landscape and Urban Planning* [en línea], vol. 186, pp. 24-35. ISSN 0169-2046. DOI 10.1016/j.landurbplan.2019.02.006. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.02.006>.
- TECNOGETAFE, 2019. Tecnogetafe. [en línea]. [Consulta: 13 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.tecnogetafe.es/>.
- TÖPFER, K., 2001. The Crucial Importance of Urban- Rural Linkages. En: D. VIRCHOW y J. VON BRAUN (eds.). Springer, Berlin, Heidelberg: Villages in the Future. Global Dialogue EXPO 2000., pp. 21-24. ISBN 978-3-642-56575-5.
- TORNERO GÓMEZ, J., 2000. Estudio medioambiental y verificación del inventario de las zonas verdes y de monte de uso común. *Ciudad Universitaria de Madrid*,
- UI GREENMETRIC, 2019. UI GreenMetric World University Rankings. [en línea]. [Consulta: 10 agosto 2019]. Disponible en: <http://greenmetric.ui.ac.id/>.
- UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID (UCM), 2019. Consorcio Urbanísticos de la Ciudad Universitaria. [en línea]. [Consulta: 15 septiembre 2019]. Disponible en: <https://www.ucm.es/consorcio-urbanistico-de-la-ciudad-universitaria>.
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, 2019a. Campus Ciudad Universitaria. [en línea]. [Consulta: 16 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.upm.es/UPM/Centros/CampusCiudadUniversitaria>.
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, 2019b. Campus Montegancedo. [en línea]. Disponible en: <https://www.upm.es/UPM/Centros/CampusMontegancedo>.
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, 2019c. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas. [en línea]. Disponible en: <http://www.etsiaab.upm.es/>.
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, 2019d. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil. Campus Madrid Ciudad. [en línea]. [Consulta: 13 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.upm.es/UPM/Centros/CentrosMadrid/ETSICivil>.
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, 2019e. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. [en línea]. [Consulta: 18 noviembre 2019]. Disponible en: <http://www.montes.upm.es/>.
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, 2019f. Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial. [en línea]. [Consulta: 13 enero 2019]. Disponible en: <https://www.etsidi.upm.es/>.
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, 2019g. Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial. Campus Madrid Ciudad. [en línea]. [Consulta: 12 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.upm.es/UPM/Centros/CentrosMadrid/ETSIDisenIndustrial>.
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, 2019h. Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Madrid. [en línea]. [Consulta: 13 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.etsist.upm.es/>.
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, 2019i. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía. Campus Madrid Ciudad. [en línea]. [Consulta: 12 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.upm.es/UPM/Centros/CentrosMadrid/ETSIMinasEnergia>.
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, 2019j. Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía. [en línea]. [Consulta: 13 noviembre 2019]. Disponible en:

- <https://www.topografia.upm.es/>.
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, 2019k. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Campus Madrid Ciudad. [en línea]. [Consulta: 12 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.upm.es/UPM/Centros/CentrosMadrid/ETSIIindustriales>.
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, 2019l. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales. [en línea]. [Consulta: 16 noviembre 2019]. Disponible en: <http://www.etsin.upm.es/>.
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, 2019m. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. [en línea]. [Consulta: 16 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.inef.upm.es/>.
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, 2019n. Instituto de Investigación del Automóvil (INSIA). [en línea]. [Consulta: 13 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.upm.es/UPM/Centros/CampusSur/INSIA>.
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, 2019o. UPM. Museos y colecciones. [en línea]. [Consulta: 20 noviembre 2019]. Disponible en: <http://www.upm.es/UPM/MuseosUPM>.
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID (UPM), 2019. Portal de transparencia. Agustín Hernández Aja. Catedrático de la Universidad. [en línea]. [Consulta: 9 noviembre 2019]. Disponible en: <https://transparencia.upm.es/personal/pdi/cv?idpdi=73a9c1a3328a23b6b11fc212f9698095bc72903c1828deb0042670bd4535fa91>.
- UPM, 2019a. City of the Future. Universidad Politécnica de Madrid. [en línea]. [Consulta: 10 agosto 2019]. Disponible en: <https://blogs.upm.es/cityofthefuture-upm/en/home/>.
- UPM, 2019b. Universidad Politécnica de Madrid. *UPM Centros y Campus Universitarios UPM- Historia- Reseña histórica* [en línea]. [Consulta: 13 agosto 2019]. Disponible en: <http://www.upm.es>.
- UPM SOSTENIBLE, 2018. Plan de sostenibilidad ambiental UPM. *Vicerrectorado de calidad y eficiencia y gerencia y personal docente e investigador de la Universidad Politécnica de Madrid*, pp. 54.
- US NATIONAL PARK SERVICE, 2019. What is climate change? .
- WIEDMANN, T. y MINX, J., 2008. A Definition of ' Carbon Footprint '. *C.C Pertsova, Ecological Economics Research Trends* [en línea]. Hauppauge, Nueva York (USA): Nova Science Publishers, pp. 1-11. Disponible en: https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=5999.
- WILSON, T. y FOWKES, S., 2016. The difference between Arboriculture and forestry. *Proab*, no. September, pp. 22-24.

II. Informe del proyecto

1. CONDICIONES TÉCNICAS ESPECÍFICAS DEL ESTUDIO

El objetivo de este Trabajo Fin de Máster: “Inventario, tipificación y bases para la ordenación de las zonas verdes de la Universidad Politécnica de Madrid para la cuantificación de la Contrahuella de Carbono”, es cuantificar la contrahuella de carbono de la Universidad Politécnica de Madrid.

La formación previa a la realización de este proyecto es Grado en Ingeniería Forestal y forma parte de la finalización de estudios de Máster en Ingeniería de Montes. Por otro lado, se realizaron los cursos formativos mencionados a continuación: “Cambio Climático: Huella y Contrahuella de Carbono” impartido por profesores de la UPM y “Sostenibilidad en la era del Big Data”, ambos cursos de la plataforma Miríadax.

Se planteó la necesidad de realizar un inventario de zonas de la UPM, facilitado verbalmente por el Arquitecto de la UPM. Se buscaron los datos de los inventarios de arbolado y los que no se encontraron se inventariaron, mediante inventario pie a pie o mediante sensores.

Una vez se tenían los datos, se calculó la Contrahuella de carbono de las zonas verdes inventariadas y se comparó con los datos de huella de carbono de años previos en la UPM.

2. FASES PARA LA REALIZACIÓN DEL ESTUDIO

Las fases en las que se ha dividido el proyecto son las siguientes:

- * Formación básica en Huella de Carbono.
- * Redacción de la introducción.
- * Redacción del apartado de materiales y métodos.
- * Cartografía de la Universidad Politécnica de Madrid.
- * Inventario del arbolado de la Universidad.
- * Cálculo de contrahuella de carbono.
- * Redacción de los resultados.
- * Redacción de la discusión.
- * Redacción de las conclusiones.
- * Revisión del proyecto.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS

En la Tabla 40 se presentan las tareas realizadas durante el proyecto, y el porcentaje de participación de la alumna y las directoras.

Tabla 40. Descripción de las tareas realizadas, con el % de participación de la alumna y las directoras.

Fases	Tareas	Alumno	Directoras
Formación básica en Huella de Carbono	Formación en Huella de Carbono	100%	
	Búsqueda de información	100%	
Redacción de la introducción.	Redacción y corrección	100%	
	Búsqueda de información	70%	30%
Materiales y métodos	Redacción y corrección	85%	15%
	Evaluación y elección de las metodologías	75%	25%
Resultados	Cartografía	90%	10%
	Revisión de los inventarios	50%	50%
	Inventario pie a pie	100%	
	Inventario mediante sensores remotos	100%	
	Cálculo de la Contrahuella de carbono	100%	
	Revisión de los resultados	90%	10%
Discusión		90%	10%
Conclusiones		90%	10%
Revisión del proyecto		75%	25%

4. CRONOGRAMA

El cronograma del proyecto se muestra en la Tabla 41, desglosado en fases y meses.

Tabla 41. Cronograma del proyecto.

Meses	jun-19	jul-19	ago-19	sep-19	oct-19	nov-19	dic-19
Actividades							
Planeamiento de los objetivos							
Estudio de la bibliografía							
Inventario (pie a pie y revisión de inventarios)							
Inventario (mediante sensores remotos)							
Cálculo de contrahuella de carbono							
Curso MOOC Contrahuella de Carbono							
Análisis de datos							
Redacción del proyecto							

5. COSTES DEL ESTUDIO

Los costes se calculan diferenciando los costes de materiales, materiales amortizables y mano de obra.

5.1. COSTES DE MATERIALES

A continuación, se muestra el desglose de los materiales empleados e impresión (Tabla 42).

Tabla 42. Costes debidos a materiales.

Material	Precio (€/ud)	Cantidad	Coste
Dendroflexómetro	15	1	15
Bolígrafo	0,5	1	0,5
Cuaderno	4	1	4
Fotocopias a color	0,5	15	7,5
Gasolina	1,314	10	13,14
Impresión (Copias DIN A-4)	0,02	1440	28,8
Impresión (Copias DIN A-3)	0,15	48	7,2
Encuadernación	2	4	8
TOTAL			84,14

5.2.COSTE DE MATERIALES AMORTIZABLES

En la Tabla 43 se muestran los costes debido a los materiales amortizables a lo largo del estudio, contando como coste horario de la máquina:

$$\text{Coste horario de materiales amortizables} = \frac{\text{Precio de compra}}{\text{Horas de utilización} \times \text{Años de duración}}$$

Tabla 43. Costes debidos a los materiales amortizables.

Máquina	Precio de compra	Horas de utilización al año (h/año)	Años de duración de la máquina (años)	Coste unitario (€/h)	Horas de uso	Coste (€)
Ordenador	600	2500	10	0,02	1500	36,00
Coche	9000	900	25	0,40	4,5	1,80
Móvil	300	8760	5	0,01	5,5	0,04
TOTAL						37,84

5.3.COSTES DE MANO DE OBRA

Los costes de mano de obra se dividen en costes de manutención: comidas y transporte (Tabla 44), y el coste del personal empleado (Tabla 45). Los costes de personal se extraen de las tarifas de TRAGSA para la Península Ibérica¹.

Tabla 44. Costes de manutención del personal.

Manutención del personal			
Tipo	Cantidad	Precio unitario	Precio
Transporte (Bono juvenil)	4	15,8	63,2
Transporte ayudante (Bono juvenil)	1	15,8	15,8
Comidas	8	10	80
TOTAL Manutención			159

¹ Según especifican las tarifas de TRAGSA en la Península Ibérica. Disponible en: <http://tarifas.tragsa.es/prestowebisapi.dll?FunctionGo&id=313312&cod=TRAGSA2017-1.0813/PS/O/003&path=Tragsa2017W-Act-no-sujetas-Trgsa-Resto.cfg> [Consulta: 16 de noviembre de 2019]

Tabla 45. Costes del personal.

Personal			
Puesto	Precio unitario	Horas	Precio
Auxiliar de Campo	14,49	40	580
Analista de GIS y/o teledetección	40,32	20	806
Titulado superior o máster con menos de 1 año de experiencia	22,28	940	20943
TOTAL PERSONAL			22329

Por tanto, nos encontramos con un coste de mano de obra de 22.488€.

5.4.COSTES TOTALES

En la Tabla 46 se muestran los costes de materiales empleados durante el proyecto.

Tabla 46. Costes debidos a materiales.

Presupuesto de materiales	
Materiales amortizables	37,84
Materiales	84,14
Total	121,98

Los costes totales del proyecto son la suma de los costes especificados previamente, computando un 21% de IVA añadido (Tabla 47).

Tabla 47. Costes totales con IVA.

Presupuesto total	
Materiales	121,98
Mano de obra	22488,20
IVA 21%	4748,14
Total	27358,31

Por tanto, el coste de realización del proyecto conlleva un coste estimado con un IVA del 21% aplicado a todos los elementos de 27.358,31.

A estos costes se le resta la beca de 1.800€, quedando un coste de 25.558,31€.

El coste del proyecto supone un coste VEINTICINCO MIL QUINIENTOS CINCUENTA Y OCHO EUROS Y TREINTA Y UN CÉNTIMOS.

III. Resumen ejecutivo

Para la realización del proyecto se procedió a realizar los cursos “Cambio Climático: Huella y Contrahuella de Carbono” impartido por profesores de la UPM y “Sostenibilidad en la era del Big Data”, ambos cursos de la plataforma Miríadax, para informarse sobre el tema en cuestión y comprender como se realizan los cálculos de Huella y Contrahuella de carbono.

Posteriormente, se procede a evaluar las zonas pertenecientes a la Universidad Politécnica de Madrid. Con esta información se realiza la cartografía necesaria para delimitar las zonas de la UPM, y la cartografía de situación del arbolado.

Cuando se tiene esta información se procede a evaluar la información pertinente a los inventarios de arbolado de la que se dispone. Una vez se conoce que arboles están inventariados se realiza un inventario del resto de los árboles.

Con el inventario realizado se procede a evaluar la información que es necesaria para poder realizar la cuantificación de Huella de Carbono, sobre todo en el caso de carecer de las ecuaciones de estimación de la biomasa.

Conociendo todos los parámetros previos se procede a cuantificar la huella de carbono, y a redactar la memoria del proyecto.

IV. Póster

Inventario, tipificación y bases para la ordenación de las zonas verdes de la Universidad Politécnica de Madrid para la cuantificación de la Contrahuella de Carbono

Inventory, classification and basis for the development of the management plan of the green areas of the Universidad Politécnica de Madrid for the quantification of the carbon offsets



Aroha Rodrigo Miguel. E-mail: aroha.rodrigo.miguel@alumnos.upm.es / aroha.rm@gmail.com

Directoras: Sonia Roig Gómez. E-mail: sonia.roig@upm.es



Departamento: Sistemas y Recursos Naturales (Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural)

Ana Macías Palomo. E-mail: ana.mp@arbocity.com

Arbocity

El arbolado urbano proporciona una gran cantidad de servicios ecosistémicos que necesitan ponerse en valor. El arbolado fomenta beneficios como absorción de carbono, infiltración, regulación térmica, etc., beneficios que ayudan a fomentar el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Por ello, es importante conocer la cantidad de árboles de la UPM.

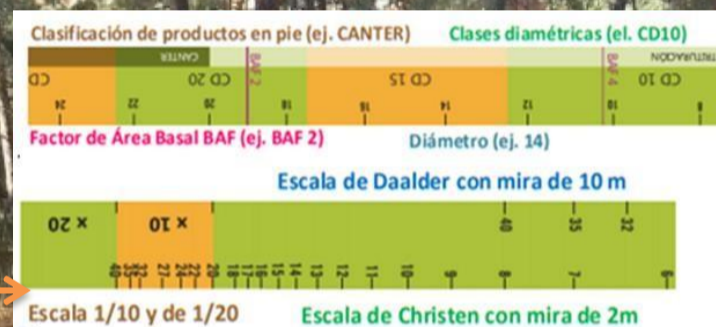
Objetivos

1. Inventariación del arbolado de la UPM.
2. Estimación de los sumideros arbóreos de carbono.
3. Estudio de los servicios ecosistémicos asociados a la infraestructura verde.
4. Estudiar la sostenibilidad del bosque urbano.
5. Plantear un modelo de gestión para mejorar la sostenibilidad.

Materiales y métodos

El proyecto se divide en diferentes fases:

- Estudio de la historia y las instalaciones de la UPM.
- Evaluación de la cartografía.
- Inventariación:
 - Revisión de inventarios.
 - Pie a pie: Arbolapp y PlantNet (especie); TreePlotter (coordenadas); y dendroflexómetro (altura y diámetro)
 - A través de sensores remotos: LiDAR (altura); Fusion; selección de árboles y determinación de especies; IFN (diámetros)
- Cálculo de la contrahuella de carbono: 25 modelos de biomasa para todas las especies-> comparación morfológica elección de modelo

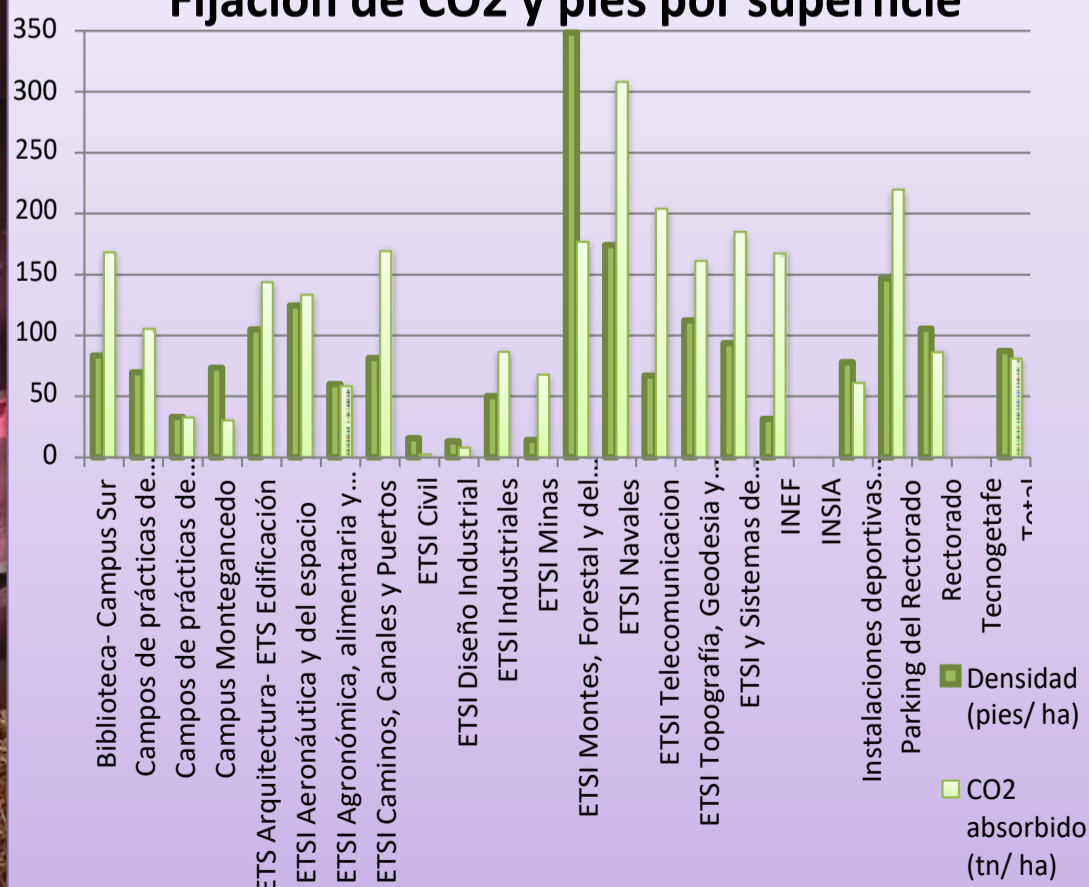


Resultados

- 11.920 Árboles
- 136,38 hectáreas
- 195 especies
- 11.039,71 toneladas de CO₂
- Densidad 87,40 pies/ha
- Absorción 80,95 tn CO₂/ha



Fijación de CO₂ y pies por superficie



Conclusiones

11.920 pies de la UPM han absorbido 11.039,71 toneladas de CO₂

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE MONTES, FORESTAL
Y DEL MEDIO NATURAL



MÁSTER EN INGENIERÍA DE MONTES

**Inventario, tipificación y bases para la ordenación de las zonas
verdes de la Universidad Politécnica de Madrid para la
cuantificación de la Contrahuella de Carbono**

TOMO II

Aroha Rodrigo Miguel

2019

