UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

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

GRADO EN INGENIERÍA FORESTAL

PROYECTO FIN DE GRADO

INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA. AÑOS 2017-2018.

MARÍA PÉREZ NÚÑEZ

2020

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

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

INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.

CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA.

AÑOS 2017-2018.

Autora: Dña. María Pérez Núñez

Directora: Dra. Ana Rodríguez Olalla

Co-Director: D. Daniel Ordoñez Sienes

Tutor: Dr. Agustín Rubio Sánchez

MADRID, ENERO 2020

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

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

INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.

CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA.

AÑOS 2017-2018.

Autora	V° B° de la Directora	V° B° del Director	Tutor
Dña. María Pérez Núñez	Dra. Ana Rodriguez Olalla	D. Daniel Ordoñez Sienes	Dr. Agustín Rubio Sánchez

Madrid, diciembre 2019

© UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, AÑO 2019,
TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS

HOJA DE CALIFICACIÓN DEL TRABAJO/PROYECTO FIN DE GRADO

TÍTULO
AUTOR
GRADO EN

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	SECRETARIO	VOCAL
Fdo:	Fdo:	Fdo:

Informe explicativo de la calificación: _____

_____

_____

_____

_____

_____

Título: Indicadores de sostenibilidad de la Universidad Politécnica de Madrid. Cuantificación de la huella hídrica. años 2017-2018.

Autora: Dña. María Pérez Núñez

Directora: Dra. Ana Rodríguez Olalla

Co-Director: D. Daniel Ordóñez Sienes

Tutor: Dr. Agustín Rubio Sánchez

Departamento: Unidad Docente de Organización de Empresas

RESUMEN

La Universidad Politécnica de Madrid (UPM), conocida como la mayor universidad tecnológica española y una institución europea de referencia, cuenta con una estructura diferenciada en cinco Campus universitarios y Centros de Investigación I+D+i a lo largo de la Comunidad Autónoma de Madrid. De los cuales destacan Campus de Excelencia Internacional reconocidos como el Campus de Moncloa y el de Montegancedo, con objetivos de ser transformados en campus sostenibles referentes en investigación, formación e innovación.

Tanto la UPM como los Centros adscritos a ella, se encuentran comprometidos con los objetivos de carácter sostenible dentro del Plan de Sostenibilidad Ambiental de la UPM, buscando soluciones a los principales retos de desarrollo y sostenibilidad global.

A través de la cuantificación de la huella hídrica se persigue estudiar un indicador de sostenibilidad sobre el agua como recurso fundamental, que nos permita conocer los impactos ambientales potenciales asociados a la organización y establecer una estrategia de optimización del recurso, concienciación social y reducción de costes económicos.

Como objetivo principal de este Proyecto Final de Grado de la Escuela Técnica de Ingenieros de Montes, Forestal y Medio Natural, se establece el cálculo de la huella hídrica de la UPM mediante la implementación de la Norma ISO-14.046 (Norma de reconocimiento internacional) apoyada en el Water Footprint Assessment Manual de Arjen Y. Hoekstra (2011), cuya finalidad es conducir a la UPM a cumplir con los objetivos de sostenibilidad medioambiental y servir como proyecto de apoyo a futuros estudios relacionados con la sostenibilidad en la universidad.

Palabras clave: Sostenibilidad, Huella hídrica, Huella de agua, Norma ISO 14.046, Water Footprint Assessment Manual, Huella gris, Huella azul, Huella verde, Huella, Agua virtual.

ABSTRACT

La Universidad Politécnica de Madrid (UPM), known to as the largest Spanish technical university and a referenced European institution, integrates a differentiated structure of five university campuses and R&D Centers throughout the Autonomous Community of Madrid.

Some are recognized as International Campus of Excellence, such as the Campus of Moncloa and Montegancedo, and seek the goal of being sustainable campuses, reference for research, training and innovation.

Both UPM and the Centers attached to it, are committed to the goals within the Environmental Sustainability Plan of the UPM, looking for solutions to the main challenges of global development and sustainability.

Through the quantification of the water footprint, it is pursued to study a sustainability indicator on water as a fundamental resource, which will allow us to acknowledge the potential environmental challenges associated with the organization, and establishing a strategy to optimize the resource, the social awareness and the reduction of economic costs.

The main goal of this Final Degree Project of the Technical School of Forestry and Environmental Engineering, is to calculate the water footprint of the UPM through the implementation of ISO-14,046 (International recognition standard), supported by the Water Footprint Evaluation manual of Arjen Y. Hoekstra (2011). With the purposes of leading the UPM to meet the environmental sustainability goals and serve as a support project for future studies related to sustainability in the UPM.

Key words: Sustainability, Water footprint, ISO-14.046, Water Footprint Assessment Manual, Grey water footprint, Green water footprint, Blue water footprint, Virtual water, Hoekstra.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS 1
1.1. DISTINTOS ENFOQUES SOBRE EL RECURSO NATURAL AGUA 1
1.2. USO Y CONSUMO DE AGUA POR EL HOMBRE 9
1.3. EL AGUA EN LA ACTUAL SITUACIÓN DE CRISIS AMBIENTAL 10
1.4. NORMATIVA EUROPEA Y ESPAÑOLA 12
1.5. EL AGUA EN ORGANIZACIONES SOSTENIBLES 12
1.6. HUELLA HÍDRICA 16
1.7. ESTRATEGIAS DE SOSTENIBILIDAD UPM 23
1.8. OBJETIVO DEL PROYECTO 25
1.9. ESTRUCTURA DEL PROYECTO 26
2. METODOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS DE CUANTIFICACIÓN 28
2.1. LA NORMA ISO: 14.046 29
2.1.1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN 29
2.1.2. TERMINOS RELACIONADOS CON LA CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA 31
2.1.3. PRINCIPIOS 32
2.1.4. MARCO METODOLÓGICO 34
2.1.5. DIRECTRICES PARA LAS ORGANIZACIONES 34
3. CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN LA UPM 44
3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO 44
3.1.1. LÍMITES FÍSICOS 47
3.1.2. LÍMITES ORGANIZATIVOS 55
3.1.3. LIMITES SOCIOECONÓMICOS 59
3.2. ALCANCE Y ENFOQUE DEL CÁLCULO 63
3.2.1. FUENTES DE SUMINISTRO Y CONSUMO HÍDRICO 63
3.2.2. LÍMITES ORGANIZACIONALES DEL INVENTARIO 64
3.3. ANÁLISIS DEL INVENTARIO 65
3.3.1. BASE DE DATOS 65
3.3.2. CALIDAD DE LOS DATOS 67
3.3.3. EXCLUSIONES 68
3.4. CONFIANZA DE LOS DATOS 69
3.4.1. DATOS DE CÁLCULO PARA LA HUELLA HÍDRICA AZUL 69

3.4.2. DATOS DE CÁLCULO PARA LA HUELLA HÍDRICA GRIS 69
3.4.3. DATOS DE CÁLCULO PARA LA HUELLA HÍDRICA VERDE 70
3.5. EVALUACIÓN DEL INVENTARIO 70
3.5.1. HUELLA HIDRÍCA GRIS 70
3.5.2. HUELLA HIDRÍCA AZUL 71
3.5.3. HUELLA HIDRÍCA VERDE 72
3.6. CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN LAS ESCUELAS Y CENTROS 73
3.6.1. CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA GRIS 73
3.6.2. CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL 76
3.6.3. CUANTIFICACIÓN HUELLA HÍDRICA VERDE 77
3.7. CUANTIFICACIÓN HUELLA HÍDRICA A NIVEL CAMPUS 79
3.8. CUANTIFICACIÓN HUELLA HÍDRICA A NIVEL UPM 80
3.9. INFORME DE CUANTIFICACIÓN DE HUELLA HÍDRICA 81
4. RESULTADOS 84
4.1. ANÁLISIS DE LOS CONSUMOS 85
4.1.1. CONSUMOS POR ESCUELAS Y CENTROS UPM 85
4.1.2. CONSUMOS POR CAMPUS Y UPM 86
4.2. ANÁLISIS DE LA HUELLA HÍDRICA GRIS 88
4.2.1. HUELLA HÍDRICA GRIS POR ESCUELAS Y CENTROS UPM 88
4.2.2. HUELLA HÍDRICA GRIS POR CAMPUS Y UPM 91
4.3. ANÁLISIS DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL 93
4.3.1. HUELLA HÍDRICA AZUL POR ESCUELAS Y CENTROS UPM 93
4.3.2. HUELLA HÍDRICA AZUL POR CAMPUS Y UPM 95
4.4. ANÁLISIS DE LA HUELLA HÍDRICA VERDE 97
4.4.1. HUELLA HÍDRICA VERDE POR CAMPUS Y CENTROS UPM 97
4.4.2. HUELLA HÍDRICA VERDE POR CAMPUS Y UPM 99
4.5. ANÁLISIS DE LA HUELLA HÍDRICA 102
4.6. ANÁLISIS DE COSTES: “CONTADORES 0” 105
4.7. RATIOS DE HUELLA HÍDRICA EN LA UPM 106
5. PROPUESTAS DE MEJORA 112
5.1. MEDIDAS RESPECTO A LOS DATOS 112
5.2. MEDIDAS RESPECTO A LAS INSTALACIONES 113
5.3. MEDIDAS RESPECTO A LAS ZONAS VERDES 114

5.4. MEDIDAS RESECTO A LAS PERSONAS 115
5.5. MEDIDAS RESPECTO A OTRAS EMPRESAS RELACIONADAS CON LA UPM..... 116
6. CONCLUSIONES 120
7. PRESUPUESTO 124
7.1. COSTE DEL PROYECTO..... 124
7.2. CRONOGRAMA 125
7.3. FUENTES DE INFORMACIÓN..... 126
BIBLIOGRAFÍA 130
ÍNDICE DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS 138
ÍNDICE DE TABLAS..... 140
ÍNDICE DE FIGURAS..... 142
ANEXO I: CÁLCULOS……163
ANEXO II: MAPAS……..172
ANEXO III: FICHAS CATASTRALES……186
ANEXO IV: INFORME DE CUANTIFICACIÓN…….……..231
ANEXO V: INFORME EJECUTIVO……..279

Capítulo 1: Introducción y objetivos

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En este primer capítulo se pretende introducir y revelar la importancia del agua a lo largo de la historia humana y su relación en las diferentes actividades antropológicas, el agua como un bien social, cultural y económico. Centrándonos en la situación actual de escasez hídrica y, por tanto, la urgente necesidad que conservar el agua como recurso natural. El agua es un recurso fundamental para la vida y las actividades humanas, siendo su uso y consumo, distribución y accesibilidad imprescindible para mantener la vida en la Tierra y cuya conservación se encuentra a nuestro alcance, pudiendo tomar las medidas oportunas.

Mediante el estudio y aplicaciones de indicadores de sostenibilidad como la huella hídrica (HH), cualquier individuo ya sea productor, consumidor, participante de una empresa u organización puede aproximarse a la importante necesidad que existe de valorar, preservar y proteger los recursos hídricos, al igual que todos los demás recursos naturales, y el medio ambiente.

La Universidad Politécnica de Madrid (UPM), está comprometida a contribuir de manera sostenible en las actividades que desarrolla, reduciendo impactos y ofreciendo valores en el ámbito ambiental y social a sus alumnos. Dentro de las múltiples estructuras de investigación de la UPM, el equipo RES2+U (Responsables, Sostenibles, Sociales y Universitarios) promueve, a través de la realización de proyectos, la sostenibilidad ambiental, social y económica, moralmente obligada dentro del ámbito universitario, y busca mediante este proyecto desarrollar la cuantificación de la huella hídrica en el periodo natural de los cursos 2016-2017 y 2017-2018.

1.1. DISTINTOS ENFOQUES SOBRE EL RECURSO NATURAL AGUA

Antes de adentrarnos en profundidad en el agua con recurso para las actividades humanas, consideramos esencial hacer una breve descripción de los diferentes enfoques del este recurso y su influencia en cada una de las facetas de la vida y las actividades humanas.

Para facilitar la comprensión de este punto, empezaremos con las características físicas y químicas del agua, primordiales para comprender su importancia. Continuando con la descripción del ciclo hidrológico para resaltar la influencia que tiene este recurso en el entorno natural. Una vez explicados sus facetas más evidentes, se puede entender su relevancia con recurso para el desarrollo de servicios ecosistémicos de los entornos naturales y no naturales, como son los servicios sociales o culturales. Para finalizar, se trata el agua desde la perspectiva económica, fundamental para determinar criterios de valoración para fomentar formas de desarrollo sostenible basados en la innovación, consumo y producción responsable.

PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

La aparición del agua en la Tierra está ligada a la formación del Sistema Solar y de la Tierra propiamente dicha, hace 4.500 millones de años, cuando las altas temperaturas de los planetas aún fundidos desprendían gases, entre ellos, vapor de agua, formando la atmosfera a causa de la gravedad y reteniendo agua en forma líquida a medida que se enfriaba la corteza terrestre (Aguilera et al., 2005).

El agua es una sustancia líquida, incolora, inodora e insípida, que normalmente contiene sustancias disueltas, como las sales minerales y gases en disolución. En función de la cantidad de sales presentes, encontramos el agua dulce o salada. La ausencia total de sustancias disueltas y microorganismos en el agua, sería lo que conocemos como agua pura (CAPYCLO, 2019).

Químicamente, está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, manteniéndose unidos mediante fuerzas de atracción débiles, llamados puentes de hidrógeno, que forman ángulos de 45°, cuya fórmula química es H2O (Aguilera et al., 2005)). Esta configuración atómica aporta a la molécula su naturaleza dipolar, que le permite mantener unidas varias moléculas entre ellas, aportando su carácter líquido a temperatura ambiente, temperatura incluida dentro de un rango de 0 a 100° y su carácter altamente disolvente (Aguilera et al., 2005) que le infiere el apelativo de disolvente universal y tiene gran importancia desde el punto de vista de la vida y fisiología vegetal.

Entre otras propiedades, el agua cuenta con un valor de calor específico elevado (4,184 J/g °C), lo cual se traduce en su capacidad de liberar calor al enfriarse y regular la temperatura terrestre, por ejemplo, en regiones costeras. Así como su alto calor de vaporización, que de manera contraria al calor específico aporta al agua su poder refrigerante al condensarse (Aguilera et al., 2005).

Además, sufre la llamada dilatación anómala del agua. Esto es la curiosa propiedad física que experimenta la densidad del agua al encontrarse en un estado u otro. Es decir, a diferencia de lo que ocurre normalmente con los elementos, si enfriamos agua hasta el punto de solidificación de ésta (0°C), sufrirá expansión en vez de contracción, como pasaría en la mayoría de los casos. Esto no sólo se traduce en una variación en su tamaño, su densidad también sufre cambios. La cantidad de agua será la misma (igual masa) pero mayor volumen, es decir, se produce una disminución de su densidad en estado sólido. Esta es una característica importante en los ecosistemas acuáticos. En áreas frías, el agua que se encuentra en contacto con el aire se congela y al tener menor densidad, queda flotando en la superficie. Esto permite que la cantidad de agua que se encuentra por debajo esté aislada y se mantenga en estado líquido, permitiendo a los seres vivos acuáticos sobrevivir en invierno (Aguilera et al., 2005).

EL AGUA EN EL ENTORNO NATURAL

La superficie del planeta Tierra se encuentra cubierto en un 71% por la hidrosfera (Aguilera et al., 2005). El conjunto de todas las aguas presentes en el planeta, ya sea en cualquiera de los sus tres estados en los que se puede encontrar, líquido, sólido o gaseoso, forman este manto hídrico.

El ciclo del agua es un sistema dinámico. Esto se debe a los continuos cambios y movimientos que sufren las aguas, debido a los cambios de estado de estas, como a la fuerza gravitacional del planeta. Podemos encontrar al agua formando parte de las masas líquidas de agua, evaporada en la atmósfera o en forma de hielo en glaciares y zonas montañosas (Aguilera et. al., 2005). Además, sufre desplazamientos sobre la superficie terrestre (ríos, lago, mares, océanos…) o infiltrándose en la Tierra a través del suelo y pasando a formar parte de las aguas subterráneas. Este dinamismo tiene tal fuerza que influye de manera directa en las demás capas terrestres, la atmósfera y la geosfera, modificando su composición, estructura o materiales e incluso sobre los seres vivos, alterando sus ecosistemas (Casas et. al., 2005).

El planeta Tierra cuenta con la mayor cantidad de agua, principalmente en forma líquida, que todos los planetas presentes en el Sistema Solar, donde se puede encontrar en pequeñas cantidades o únicamente en forma de hielo (Aguilera et al., 2005). A lo largo de la superficie terrestre encontramos el agua repartida en diferentes formas y lugares. En su estado líquido, desde el interior de los continentes, formado las llamadas aguas continentales (ríos, torrentes, lagos, marismas y agua subterráneas), los mares y océanos (aguas marinas) hasta el interior de los organismos vivos. En estado sólido, en forma de hielo en las cumbres montañosas, glaciares y los polos y en forma gaseosa en la atmósfera (Casas et. al., 2005).

A pesar de su extensión y dinamismo, el agua no es un recurso repartido de manera igualitaria a lo largo del globo terráqueo. Encontrando lugares donde abunda y otros donde escasea. Esto se debe principalmente a los factores y características de la Tierra propiamente dicha, como el clima (la temperatura y la radiación solar, las precipitaciones, los vientos…). Sin embargo, su distribución no depende únicamente de estos factores. El agua ha estado presente y ha sido un elemento fundamental en la vida de los seres vivos, entre ellos el ser humano. El desarrollo y evolución de la población humana ha ido cambiando con el paso de los años y sus relaciones con el agua también (Casas et. al., 2005).

EL CICLO HIDROLÓGICO

El entorno natural está formado por continuos cambios e interacciones entre el medio y los seres vivos. El ciclo hidrológico es el sistema en el cual se mueve la mayor cantidad de materia, siendo con diferencia el más activo de todos los ciclos presentes en el globo. Tienen su base en los cambios de estado del elemento, la radiación solar y las fuerzas de gravedad (Aguilera et al., 2005).

La gravedad actúa en el ciclo debido a la propia masa del agua y a orografía del terreno, concretamente, a su pendiente. La energía procedente del Sol, interviene en los cambios de estado, enfriando o calentando las masas de agua presentes en la superficie terrestre.

Un alto grado de radiación solar puede significar la fusión (paso de sólido a líquido), sublimación (paso de sólido a gaseoso) o evaporación (paso de líquido a gaseoso) del recurso. Las especies vegetales mediante la evapotranspiración

(ETR) también aportan vapor de agua a la atmósfera a través de sus hojas. Por el contrario, la falta de calor puede dar lugar a la solidificación (transformación de líquido a sólido) o condensación (transformación de gas a líquido).

El vapor de agua presente en la atmósfera al enfriarse se condensa, formando un conjunto de gotas de agua en forma de nubes, que según van adquiriendo una masa y tamaño mayor, precipitan en forma de lluvia y volviendo a formar parte de las masas de agua superficiales o subterráneas (por infiltración en el suelo), quedando inmóvil en forma de nieve o hielo, o siendo utilizada o consumida por los seres vivos.

De esa forma, el agua en la Tierra se encuentra en constante cambio de estado y posición, circulando permanentemente entre la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera.

En la siguiente figura 1 se puede ver un esquema con los diferentes caminos y cambios de estado que sufre el agua debido a la gravedad y radiación solar.

Figura 1: Ciclo hidrológico.
Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (2019)

Se conocen algunas cifras interesantes sobre el ciclo de agua en la tierra que nos permiten aproximarnos a las dimensiones de actividad que tiene el ciclo del agua (Aguilera et al., 2005):

- La precipitación anual sobre los océanos es de 324.000.000 m^3, y sobre los continentes de 99.000.000 m^3. Es decir, sobre la superficie terrestre precipitan 423.000.000 m^3 de agua al año.
- A la atmósfera llegan por evaporación al año 361.000.000 m^3 de agua procedente de los océanos. De la evaporación y transpiración vegetal se recogen datos de 62.000.000 m^3.

- La cantidad de agua continental en movimiento es de 37.000.000 m^3 anuales.
- El tiempo medio de permanencia del agua en los diferentes puntos de la tierra son 10 días en la atmósfera, 13 días en los ríos y 36.000 años en el océano.
- En España se estima una precipitación anual de 672 mm/año y de 232 mm/año de escorrentía.

FUENTE DE VIDA

Su importancia en la biosfera es crucial, ya que sin su presencia no se mantendría la vida en nuestro planeta. Las especies vegetales para mantenerse vivas y realizar el proceso de fotosíntesis, se "alimentan" a través de sus raíces mediante la absorción de agua y minerales presentes en el suelo. Los animales, tomamos agua de manera directa en forma líquida o a través de los alimentos que consumimos. Esto quiere decir que para que los seres vivos, tanto animales como vegetales, podamos aprovechar el agua, éste debe encontrarse en estado líquido (Casas et al., 2005).

Por otro lado, el agua es el medio del ecosistema acuático, es decir, el lugar donde ciertos seres vivos (el plancton, los bentos y el necton) realizan sus funciones vitales (Casas et al., 2005).

El agua es un elemento fundamental para mantenerse vivo, principalmente por ser necesario para mantenernos con vida. El cuerpo humano cuenta con aproximadamente el 60% de su peso en forma de agua dependiendo de cada individuo e interviene en diferentes actividades metabólicas, mejora el funcionamiento de los órganos en procesos digestivos y evitando la retención de líquidos, facilita la eliminación de residuos, lubrica las articulaciones, regula la temperatura corporal, diluye y transporta sustancias como el oxígeno y los nutrientes (Pascual, 2019).

BIEN SOCIAL

El agua es un elemento fundamental dentro de las sociedades humanas. Su presencia es fundamental biológicamente hablando, así como formando parte de los recursos naturales de las civilizaciones.

Antiguamente, las sociedades se situaban cercanas a puntos de suministro de agua, ya fuesen ríos o lagos, que les permitiesen tener la mejor accesibilidad posible al recurso. Con el paso del tiempo, las personas comenzaron a distribuirse en ciudades, los avances sociales fueron emprendiendo y comenzaron a cambiar las conductas respecto al uso del agua. Comenzaron a aparecer los primeros lugares de almacenamiento de agua y sistemas de transporte, como los acueductos romanos (Ordoñez, 2016).

El avance tecnológico y científico permitió mejorar los sistemas de transporte y suministro de agua dentro de las ciudades. Además, se empezaron a desarrollar medidas de saneamiento y limpieza del agua, mejorando así, los niveles sanitarios, las técnicas y actividades humanas en las cuales se hacía uso del agua, el avance y calidad social, entre otros. (de la Peña, 2010).

Todo ello ha ido evolucionando y desarrollándose hasta la actualidad, donde en la mayoría de los países, dos tercios de la población mundial (UNESCO, 2019) contamos con empresas de gestión de recursos hídricos, que aseguran el suministro y la calidad del agua para todos los individuos.

Esto significa que mientras la mayor parte de la sociedad cuenta diariamente con agua potable al alcance de su mano, o, mejor dicho, del grifo, un tercio de la población no tiene accesibilidad a un recurso necesario para la vida. Lo que se traduce en que, a pesar de todo, es necesario continuar avanzando y gestionando los recursos hídricos de tal manera que pueda equilibrarse la igualdad social y económica, aprovechando los múltiples beneficios y oportunidades que aporta el agua. El derecho internacional en materia de derechos humanos obliga a los estados a trabajar para conseguir el acceso universal al agua y al saneamiento para todo el mundo sin discriminación alguna, dándoles la prioridad a los más necesitados (UNESCO, 2019).

La figura 2 se recoge datos sobre la proporción de países que contaron con servicios básicos de agua potable en 2015. 181 países alcanzaron una cobertura de más del 85%. Sin embargo, 159 millones de personas no contaron con este privilegio. El 58% del África Subsahariana hace uso y consumo de agua no tratada y frecuentemente, contaminada. (UNESCO, 2019).

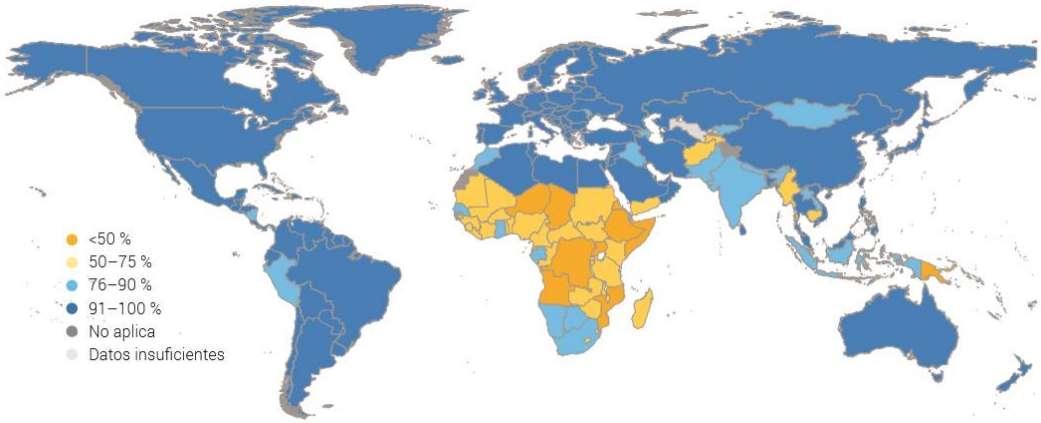


Figura 2: Proporción de la población que utiliza al menos servicios básicos de agua potable. Año 2015. Fuente: UNESCO, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2019).

BIEN CULTURAL

En la mayor parte de los países y culturas, el agua es un fenómeno indispensable alrededor del cual se desarrolla y depende el día a día de las personas. “Sin el agua que nos rodea –presente en la humedad del aire, la fuerza de la corriente fluvial, el agua del grifo–, nuestra existencia sería inconcebible” (ONU, 2006). El consumo diario del recurso y de fácil alcance, dan lugar a la minusvaloración del recurso por parte de la población. Haciéndose, en muchas ocasiones y lugares, un uso descontrolado del agua y devaluando la escasez de ésta.

Existen numerosas religiones, cuyos rituales y ceremonias se realizan en base a el agua, considerándose esta Sagrada. Además, el agua ha servido como fuente

de inspiración en el arte a lo largo de los años, siendo utilizada y representados en la música, la pintura, el arte o el cine. Así como dentro del sector turístico, hostelería y servicios recreativos (por ejemplo: los balnearios, campos de golf o las piscinas) (INE, 2008).

También cabe destacar su relevancia en las en el desarrollo científico y social. Cada región del mundo tiene una manera particular de consagrar el agua, siendo reconocido a nivel mundial su valor e importancia en la vida humana (ONU, 2006).

El día 22 de marzo se celebra el Día Mundial del Agua. El objetivo principal de conmemoración de este recurso, es recordar a la población la situación de las reservas hídricas disponibles, los patrones de consumo inconscientes por parte de la sociedad, las prácticas inadecuadas por parte de las administraciones, la falta de inversión en infraestructuras, así como otros problemas relacionados con la escasez, la falta de consciencia referente al recurso y la inminente necesidad de tomar medidas al respecto (ONU, 2007).

En el año 2011, se crearon los premios Agua, Fuente de Vida. Premios concedidos por las Naciones Unidas cuya finalidad es reconocer aquellos proyectos y programas relacionados con el abastecimiento y agua de saneamiento a nivel mundial. Desde su aparición, 11 proyectos han sido premiados en sus cinco convocatorias, aumentando su difusión en los medios de comunicación, así como el reconocimiento y oportunidades de colaboración (Water Monographies, 2015).

BIEN ECONÓMICO

El agua siempre estuvo presente en el desarrollo y continuidad del ser humano en la Tierra. Además de ser fundamental para mantenerse vivo, los humanos han contado con el agua como materia prima en una gran parte de sus actividades. Con el paso del tiempo y las tecnologías, se han ido desarrollando fuentes de energía renovables, fuentes inagotables por encontrarse en un estado de renovación constante o sin las cuales no podría continuar la vida en la tierra. El agua tiene un papel fundamental en estas aplicaciones. Se trata de un recurso abiótico fundamentales para los seres vivos.

Lo encontramos de diversas formas en la naturaleza, pero no todas ellas son aprovechables por el ser humano. El recurso hídrico consumible o productivo se limita a el agua continental dulce (Casas et al., 2005). En las últimas décadas el crecimiento poblacional y su centralización en ciudades a lo largo del mundo, ha supuesto un incremento en la demanda de los recursos naturales dentro de las actividades económicas, entre ellos, el agua.

Durante el siglo pasado, el consumo de agua en el mundo se multiplicó por seis, un incremento dos veces superior al aumento poblacional (UNESCO, 2019). Este desequilibrio existente entre la oferta de recursos y su demanda indica que el agua podría llegar a ser un elemento clave en futuros conflictos sociales, medioambientales y económicos internacionales (Aguilera et al., 2005). En el año 2025, la demanda de agua potable estará un 56% por encima de su oferta, donde

podría ser necesaria una estrategia que responda a los intereses económicos relacionados con la correcta utilización y control del agua y su recuperación una vez ha sido contaminada (Ordoñez, 2016).

Según la UNESCO (2016), el empleo relacionado con los recursos hídricos en la Unión Europea en el año 2016, era principalmente en el sector agrícola, donde 10 millones de personas (5% del empleo total) estaban empleadas en este sector.

Además, la UE cuenta con otras oportunidades de empleo en relación al agua que se encuentran en continuo desarrollo. Ejemplo de ello son el monitoreo de acuíferos mediante teledetección de imágenes LANDSAT, las energías renovables, la construcción, ampliación, reparación y mantenimiento de otras infraestructuras de agua (UNESCO, 2016). Los recursos hídricos dan origen a la energía hidráulica, minihidráulica y mareomotriz (Acciona, 2017). Energía que se transforma para ser aprovechable por los humanos, en forma de energía eléctrica (Casas et al., 2005). En España se cuenta con más de 16.000 infraestructuras hidraúlicas (presas, depósitos de agua, plantas depuradoras, desaladoras y potabilizadoras, entre otros) y 224.00 km de redes de abastecimiento y 165.000 km de redes de saneamiento (iAgua, 2019)

El avance y desarrollo tecnológico supone un arma de doble filo en la economía y la calidad de las aguas. El consumo de agua se incrementa y consecuentemente su contaminación debido a su empleo en las actividades humanas. La presencia de industrias aumenta y con ellas, sus contaminantes (detergentes, disolventes o derivados del petróleo, entre otros), así como de los productos sólidos de un solo uso o los contaminantes químicos utilizados en agricultura en los medios rurales (por ejemplo: los abonos, pesticidas, detergentes y aceites) (Ordoñez, 2016). Todos estos factores son fuentes de contaminación del recurso, con repercusiones directas en la economía, ya sea por la pérdida de calidad del recurso como por la necesidad de recuperarlo mediante el tratamiento y potabilización de las aguas contaminadas. Actualmente, el 80% de las aguas residuales no sufren ningún tipo de tratamiento de recuperación y son devueltas al ciclo natural del agua (UNESCO, 2019).

En su video, Wastewater (2014), en español “Aguas residuales”, el autor Jim Toomey, Ingeniero especializado en Medio Ambiente y Ciencias de la Tierra, indica que estas prácticas de reintroducción de agua a su ciclo natural producen problemas de salud graves a nivel global, con cifras de 1,8 millones de muertes de niños de edades inferiores a los 5 años debido a enfermedades relacionadas con el agua. Hace referencia también a la reducción de los ecosistemas acuáticos y las pérdidas económicas billonarias asociadas a ello.

Teniendo en cuenta que menos del 3% del agua en el mundo es potable y que existen 844 millones de personas carentes de agua potable básica (FAO, 2018a), su saneamiento y reutilización es una labor fundamental a adoptar por los países desarrollados, favoreciendo políticas de concienciación y normativas específicas que protejan y gestionen de manera adecuada el agua (Ordoñez, 2016). La capacidad del planeta de reciclar y purificar el agua utilizada en el mundo es menor al gasto y contaminación de ésta (UNESCO, 2019).

La crisis del agua no es únicamente de un problema medioambiental y de escasez de recursos naturales, sino de un problema social y económico que afecta de manera directa a un gran número de comunidades humanas y a la economía mundial, tal y como se recoge en la Encuesta Anual sobre Riesgos Globales del Fórum Económico Mundial (Hidalgo, 2014).

1.2. USO Y CONSUMO DE AGUA POR EL HOMBRE

Cuando hablamos de los recursos hídricos, podemos hacer referencia a dos tipos (Casas et. al., 2005): Los **recursos convencionales** y los **recursos no convencionales**. Los primeros se refieren a las aguas superficiales (ríos, lagos, torrentes y marismas) y subterráneas (agua almacenada en acuíferos o circulando por el subsuelo) integradas en el ciclo del agua. Los recursos no convencionales correspondes a las aguas obtenidas tras su reciclaje o desalación y cuya calidad permite su reintroducción en el ciclo del agua (Casas et al., 2005).

Como ya se explicó anteriormente e independientemente de la procedencia que tenga el agua, los seres vivos necesitamos ciertos niveles de calidad y características específicas de las aguas para poder hacer uso y consumo de éstas.

Una vez conocida las procedencias que tiene el recurso, es importante entender que en función de la utilidad que se le dé y su posterior destino, encontraremos dos conceptos diferentes, el de uso del agua y el de consumo del agua.

Según el INE (2008), el concepto **uso del agua** se refiere al "volumen de agua utilizado por un sector determinado (agricultura, industria u hogares) para proveer a sus necesidades vitales o económicas mientras que **consumo de agua** hace referencia al volumen de agua que después de su uso no retorna al medio ambiente."
En el año 2014, la Norma ISO 14.046, sobre huella hídrica, también marca la diferencia entre ambos conceptos. Definiendo el **uso del agua** como el uso desarrollado en las actividades humanas sin verse modificados los flujos y calidad del agua. Por el contrario, para el término **consumo del agua** hace referencia a "el agua extraída de la cuenca hidrográfica pero no retornada a la misma cuenca hidrográfica" ya sea por la evaporación, transpiración o transporte a otro lugar.

Además, en función del lugar de origen de los recursos hídricos, existe el **uso o consumo consuntivo** y el **uso o consumo no consuntivo**. Esto es, si las aguas se extraen de su lugar de origen y se transportan para ser usadas o consumidas en otro lugar, estaremos hablando de uso consuntivo. Estas aguas proceden principalmente de fuentes naturales como los ríos, lagos o acuíferos, entre otros. Mientras que si el uso o consumo de agua se realiza en su lugar de origen hablaremos de uso o consumo no consuntivo. Ejemplos de los recursos consuntivos son las plantas hidroeléctricas, el transporte mediante navegación, los usos recreativos y ambientales del agua (Casas et al., 2005).

1.3. EL AGUA EN LA ACTUAL SITUACIÓN DE CRISIS AMBIENTAL

El continuo incremento de los gases de efecto invernadero (GEI) ha llevado a nuestro planeta a una situación crítica de inestabilidad climática, en el punto de mira científico, social y político. Los principales GEI pueden clasificarse en directos (gases que contribuyen al efecto invernadero tal y como se emiten a la atmósfera) e indirectos (gases relacionados con la aparición de ozono troposférico en la atmósfera) (Benavides et. al., 2007).

El vapor de agua es uno de los GEI directos más importantes y responsables del calentamiento global. Esto se debe a que es el gas más abundante en la atmósfera y en las nubes y su concentración media no depende de manera directa de las actividades humanas, a diferencia de otros GEI como el dióxido de carbono (CO_2) o el metano (CH_4) (Benavides et. al., 2007). El vapor de agua tiene una gran capacidad de absorber la radiación infrarroja responsable del aumento de las temperaturas en la Tierra (Casas et al., 2005). Generalmente, este fenómeno depende de la presencia y características (altura, tamaño y distribución de las partículas que la forman) de las nubes. Siendo las nubes más bajas y espesas las que consiguen que la radiación procedente del sol sea devuelta cerca de su totalidad al espacio sin producir calentamiento, y, por el contrario, las nubes más claras, altas y frías las que dejan pasar la radiación solar a la superficie terrestre y captan la radiación infrarroja emitida por la tierra y devolviéndola a la superficie terrestre, contribuyendo al calentamiento de la Tierra (ABCL, 2012).

El principal problema del calentamiento global es el aumento de las temperaturas. El Programa de la ONU para el Medio Ambiente (PNUMA) afirma que el calentamiento global amenaza las reservas de agua, siendo necesaria la inminente reducción de los GEI para evitar que escasez hídrica siga en aumento (PNUD, 2019).

El segundo problema en el punto de mira de los científicos es por el posible cambio de régimen en las precipitaciones. Esperando el aumento de las precipitaciones más caudalosas concentradas en las épocas de lluvia. Esto puede afectar a la retención del agua en el terreno, acentuar las épocas de sequía, producir modificaciones en la distribución de la flora y la fauna (Casas et al., 2005).

Todas estas consecuencias derivan finalmente, en el aumento de la escasez de agua aprovechable por parte de los seres vivos, disminuyendo la cantidad y calidad de las aguas accesibles y utilizables, afectando a los ecosistemas, las sociedades y la economía mundial (Casas et al., 2005).

Según Acciona (2016), “revisando el panorama actual del uso y deterioro de los recursos naturales renovables, el agua es uno de los grandes agredidos”. El déficit hídrico es un problema de primer nivel en ciertas áreas de nuestro planeta, el cual se encuentra en expansión y que llegará a afectar a escala global, especialmente a España. Las sequías en nuestro país son un fenómeno anual, junto con la sobreexplotación de ríos y acuíferos, hacen de España el octavo país

con mayor huella hídrica mundial (en producción y consumo) y el segundo en la UE (Water Footprint Network, 2019).

Cuatro de cada diez personas sufrirán escasez de agua recurrente en el año 2050, afectando a todos los continentes de la Tierra (UNESCO, 2019).

Al mismo tiempo, España es uno de los países pioneros en tener en cuenta la importancia de este problema y en incluir la huella hídrica dentro de las políticas gubernamentales. En septiembre de 2008, la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino aprobó la instrucción de planificación hidrológica (BOE, 2008), que incluye el análisis de la huella hídrica como criterio técnico para el desarrollo de los planes de gestión de las cuencas hidrográficas que se deben redactar en el contexto de la Directiva Marco Europea del Agua (2000/60/CE) (DMA) (Acciona, 2016).

A pesar de las dimensiones volumétricas actuales de agua con las que contamos en la Tierra, su valioso papel en las culturas y religiones a lo largo del mundo y el reconocimiento sobre su importancia, el Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA) celebrado en Madrid el 24 de noviembre de 2014, indica que únicamente el 0,007% del agua disponible en la Tierra es accesible por los seres humanos (Ferrer, 2014).

El siguiente mapa muestra la escasez hídrica en las principales cuencas hidrográficas del mundo (FAO, 2018b).

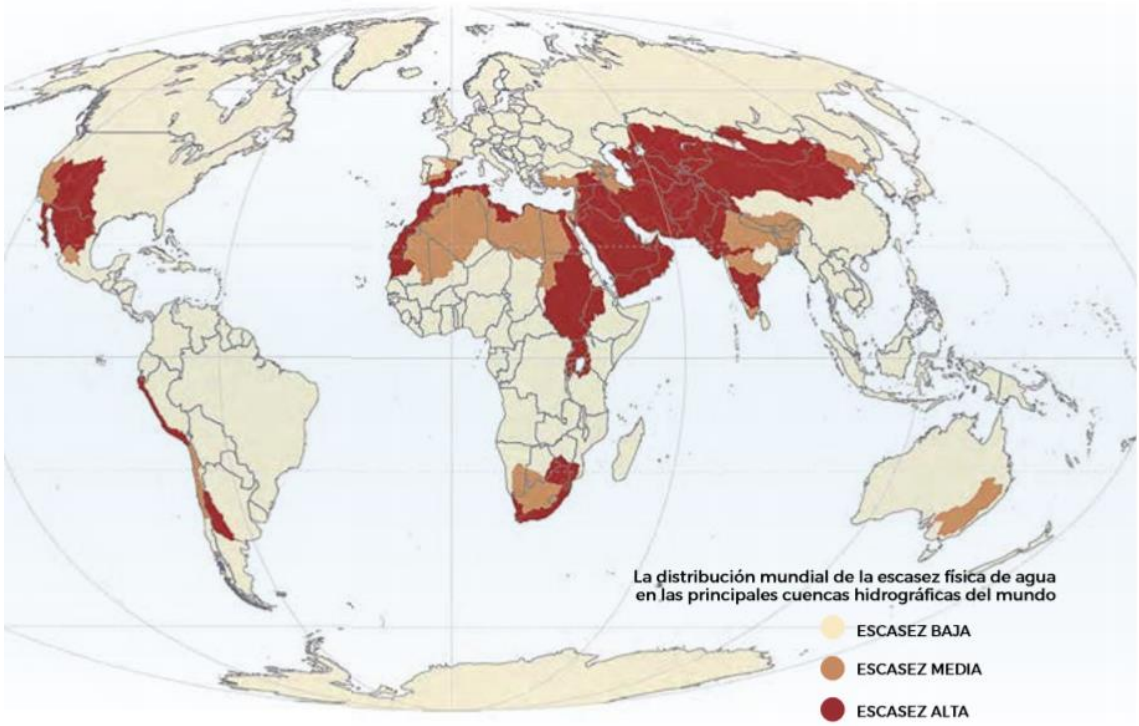


Figura 3: Distribución mundial de la escasez hídrica en las principales cuencas hidrográficas. Año 2018. FAO. El estado del planeta. Los retos del futuro (2018b)

1.4. NORMATIVA EUROPEA Y ESPAÑOLA

A nivel europeo como nacional, existe una gran cantidad de normas en relación a la gestión y calidad de aguas. A continuación, se enumeran aquellas que van enfocadas principalmente a las organizaciones o tienen un alto grado de relación con éstas (Fundación Crana, 2003).

- A nivel europeo:

- **Directiva Marco del Agua**. Directiva 2000/60/CE del Parlamento europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- Directiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, relativa a las normas de calidad ambiental en el **ámbito de la política de aguas**, por la que se modifican y derogan ulteriormente las Directivas 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE y 86/280/CEE del Consejo, y por la que se modifica la Directiva 2000/60/CE DOCE L 348, 24-12-2008.
- Directiva 98/83/CE, del Consejo, de 3 de noviembre de 1998, relativa a la **calidad de las aguas destinadas al consumo humano**. DOCE nºL.330, 05-12-1998.
- Directiva 96/61/CE del Consejo de 24 de septiembre de 1996, relativa a la **prevención y al control integrado de la contaminación**.

Según afirma la UNESCO (2016), en el informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo: "la adopción de la Directiva Marco del Agua ha transformado la evaluación de los recursos hídricos, incrementando el rol de la consulta pública y de los parámetros económicos y biológicos para medir la calidad del agua. La creciente estandarización en toda la UE contribuye al intercambio de experiencias y a la movilidad de la fuerza laboral entre los Estados miembros".

- A nivel nacional:

- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el **texto refundido** de la **Ley 29/1985 de Aguas**.
- Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los **criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano** atribuidos a los entes locales en la Ley 7/1985, de 2 de abril, Reguladora de las Bases del Régimen Local.
- Ley 26/2007, de 23 de octubre, de **Responsabilidad Medioambiental**.

1.5. EL AGUA EN ORGANIZACIONES SOSTENIBLES

Ante lo descrito anteriormente, las organizaciones tienen la responsabilidad de hacer un uso responsable y sostenible de los recursos. Por esto, a continuación, explicamos cómo introducen el agua en su cultura las organizaciones sostenibles.

EL AGUA Y LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Toda organización que fomente el desarrollo sostenible debe de tener como objetivos la igualdad de oportunidades entre individuos, combatiendo la discriminación, contando con una economía eco-eficiente, rompiendo los vínculos entre el crecimiento social y degradación del medio ambiente, coordinando y gestionando los procesos desarrollados a nivel nacional. (INE, 2008).

La sostenibilidad queda caracterizada por tres componentes, los sociales (el empleo, la salud y la educación, entre otros), los económicos (por ejemplo, el crecimiento y la energía) y los ambientales (emisiones, agua, residuos, contaminantes, como ejemplos). Los indicadores que facilitan la toma de decisiones y cuantificación de la consecución de los objetivos sostenibles, se refieren a la interacción entre los tres componentes, determinando el desarrollo, la ecoeficiencia y la seguridad, tal y como se muestra en la figura 4 (INE, 2008).

Figura 4: Las tres dimensiones del desarrollo sostenible.
Fuente: Instituto Nacional de Estadística (2008).

Hemos de pensar que dentro las empresas en la actualidad se realizan gran variedad de actividades y existe un continuo flujo de personas asociadas a ellos, por lo que el un consumo hídrico en los negocios y organizaciones, es inevitable. En función de estas dos variables, entre otras, como son las cadenas de suministro y proveedores (Hoekstra et. al., 2011), la presencia de jardines, fuentes, piscinas u otras instalaciones dependientes de forma directa del agua, el consumo del recurso será mayor o menor.

Los recursos hídricos se encuentran bajo el punto de mira del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD, tratándose del sexto Objetivo para el Desarrollo Sostenible (ODS) para el año 2030: “Agua limpia y saneamiento”.

En el año 2005, el INE (Instituto Nacional de Estadística), registró los consumos hídricos en España por sectores, recogiendo que el 75% de estos se producían en la agricultura, frente al 12% de los hogares, 10% en industria y 3% en servicios (INE, 2008).

En el libro “Los grandes desafíos” publicado en 2018 por la FAO, se registran valores por regiones. Estableciendo estos porcentajes para la Unión Europea en,

un 52,4% en el sector industrial, un 32,4% en el agrícola y un 15,2% doméstico, para el año 2016. (FAO, 2018a).

Las organizaciones se encuentran dentro del sector industrial y/o servicios, cuya unión con el agua es evidente. La reducción de su consumo, el uso responsable y la lucha por una gestión sostenible y racional del recurso a cualquier nivel, es una tarea compleja. Suponiendo una gran inversión, cooperación y concienciación por parte de las poblaciones, organismos de estado, y en este caso, de las organizaciones (ONU, 2019).

Según el Pacto Mundial Red España (2019), las empresas cuentan con una guía SDG Compass, proyecto en común de Global Compact, WBCSD y Global Reporting Initiative. La cual contiene indicadores de sostenibilidad específicos que les permitan medir su contribución a los diferentes Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Algunos ejemplos de indicadores relativos al ODS 6 son (Pacto Mundial Red España, 2019):

- Porcentaje de empleados que reciben formación en materia de higiene.
- Porcentaje de instalaciones adheridas a estándares de calidad del agua.
- Porcentaje y volumen total de agua reciclada y reutilizada.
- Grado de reducción de los impactos ambientales en los productos y servicios.
- Cálculo de la huella hídrica de productos y servicios.

En septiembre de 2015, se adoptó la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible, donde aparecen los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (UNESCO, 2016).

A diferencia de los ODM (Objetivos de desarrollo del Milenio, anteriormente marcados en el año 2000 y los cuales se centraban en el suministro y saneamiento del agua), los objetivos de desarrollo sostenible tienen como prioridad el ciclo integral del agua (UNESCO, 2016).

A continuación, exponemos aquellas metas establecidas por la ONU, dentro de su sexto objetivo, “Garantizar la disponibilidad y gestión sostenible de agua y saneamiento para todos”, con el fin de establecer una base de cara a nuestro objetivo dentro de la organización. Así como la relación del recurso con otros objetivos de desarrollo sostenible establecidos.

Cualquier ciudadano, comunidad o entidad, se ve incluido dentro de los ODS, y estas son las metas a conseguir para el año 2030 (UNESCO, 2016):

- “De aquí a 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos”
- “De aquí a 2030, lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad”
- “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"

- "De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua"
- "De aquí a 2030, implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda"
- "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"
- "De aquí a 2030, ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento, como los de captación de agua, desalinización, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de reutilización"
- "Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento"

Asimismo, el agua se encuentra incluido o directamente relacionado con los siguientes ODS según la UNESCO (2016):

- **"Objetivo 1:** Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo"
- **"Objetivo 2**: Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible"
- **"Objetivo3**: Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades"
- **"Objetivo 7**: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos"
- **"Objetivo 8**: Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el pleno empleo y el trabajo digno para todos"
- **"Objetivo 9**: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación"
- **"Objetivo 10**: Reducir la desigualdad en y entre los países"
- **"Objetivo 11**: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles"
- **"Objetivo 12**: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles"
- **"Objetivo 13**: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos"
- **"Objetivo 15**: Proteger, restaurar y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, explotar los bosques de manera sostenible, luchar contra la desertificación, detener y revertir la degradación de las tierras y frenar la pérdida de diversidad biológica"
- **"Objetivo 16**: Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles"

Figura 5: Objetivos de desarrollo sostenible (ODS)
Fuente: Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2019).

1.6. HUELLA HÍDRICA

La huella hídrica es un indicador de sostenibilidad cuyo objetivo es ofrecer un valor del volumen de agua consumido por las actividades humanas. Reconociendo las fuentes de consumo y los principales focos de actuación, estableciendo medidas eficientes y reales de sostenibilidad (Ordoñez, 2016).

En este apartado se hará alusión tanto al concepto de huella hídrica y huella virtual, su origen y transformaciones, así como su implementación en las organizaciones y su importancia en la planificación hidrológica y gestión ambiental (Geoinnova, 2019).

CONCEPTO DE AGUA VIRTUAL

En el año 1993, el profesor J. A. Allan estableció el término “Agua Virtual” (AV), concepto que se refiere al “agua necesaria para la producción de alimentos y la elaboración de los productos o servicios que requieren un proceso industrial” (Sotelo et al., 2012). Es decir, no hace referencia únicamente a la cantidad de agua contenida en el producto, sino también a la utilizada en el proceso de transformación de materiales y elaboración del producto final (Ordoñez, 2016).

“El concepto de agua virtual nace debido a la preocupación por la escasez de agua que existe en algunos países. De este modo, al calcular el agua virtual de un producto se pueden gestionar los recursos hídricos de una forma más eficiente” (Geoinnova, 2019).

Esto supuso un cambio en la visión del comercio internacional y en la escasez y gestión de los recursos hídricos (Sotelo et al., 2012).

Además, Hoekstra (2003) hizo diferenciación de AV en dos conceptos más específicos y en referencia a las regiones productoras de los bienes o servicios a que se haga referencia:

- **AV real**: Es el volumen de agua utilizado en la producción de un bien o servicio en el país de producción.
- **AV teórica**: Es el volumen de agua que se utilizaría para la producción de un bien o servicio importado, si fuese producido en el país destino del mismo.

Es por esto, que existe una estrecha relación entre el concepto de agua virtual y el factor económico en la producción. Siendo un indicador que muestra la relación económica entre la producción de un bien o servicio y el volumen de agua utilizado en el proceso (Ordoñez, 2016). Alcanzando el AV su máximo potencial cuando es introducido en las relaciones comerciales.

CONCEPTO DE HUELLA HÍDRICA

En el año 2002, Arjen Y. Hoekstra introdujo el concepto de huella hídrica, lo cual llevó a la idea de cuantificar y contabilizar los flujos de agua y realizar evaluaciones de sostenibilidad ambiental, social y económica, que posteriormente nos ayuden a cuantificar la importancia del impacto medioambiental, la escasez y la polución del agua.

"La huella hídrica es un indicador del uso de agua dulce que se refiere no solo al uso directo del agua de un consumidor o productor, sino también al uso indirecto del agua. Y puede considerarse como un indicador integral de la apropiación de los recursos de aguadulce, junto a la medida tradicional y restringida de la extracción de agua." (Hoekstra et. al., 2011).

En otras palabras, la huella hídrica nos permite conocer el origen y el volumen de agua utilizada y contaminada en la cadena de producción y suministro en la transformación de uno o varios recursos. Se expresa en términos de volumen de agua por unidad de producto (m^3/ tonelada o litro / kg) o al tratarse del estudio en un proceso, como volumen de agua por unidad de tiempo (m^3 / año o mes o día) (Hoekstra et. al., 2011).

El estudio de la huella hídrica es determinante a nivel geográfico y temporal, siendo complicado marcar los límites a la hora de contabilizarlo, ya que existen grandes conexiones dentro de las cadenas de producción, distribución y de las entidades, que nos obligan simplificar el proceso excluyendo o realizando los cálculos de las diferentes fases de manera independiente.

A nivel cuantitativo la HH y el AV aportan un mismo resultado, lo que no significa que teóricamente expresen lo mismo. Mientras que el AV aporta información sobre volúmenes hídricos consumidos en relación a la producción de bienes y servicios, la HH hace alusión a los volúmenes de agua consumidos por parte de la sociedad en relación a los usos dados a esos bienes y servicios (Ordoñez, 2016).

Es por esto, que el indicador "huella hídrica" puede ser utilizado en diferentes contextos (Ordoñez, 2016):

- Como indicador de agua dulce que cuantifica el uso directo e indirecto de consumidores o productores.
- Como indicador en un ámbito general de la apropiación de agua dulce, por encima de la medida tradicional y restringida de la extracción de agua.
- Como indicador multidimensional que aporta información sobre las fuentes de consumo y los volúmenes de contaminación para cada tipo de contaminante.

Para poder entender mejor el concepto, a continuación, se expone un ejemplo (hojas de papel) y una imagen referida a varios alimentos, que expresan el consumo de agua aplicado a los diferentes productos.

Por ejemplo, en la obtención de 500 hojas de papel tamaño carta, se emplean gran cantidad de litros de agua, exactamente 5.000L (CICESE, 2016) a lo largo de toda la cadena de producción. Esto es, desde la plantación de una semilla en el campo, hasta la transformación del material vegetal obtenido para que forme parte del folio de papel. La cantidad de agua suministrada a lo largo de la cadena de producción y distribución, es lo que se conoce como huella hídrica.

Figura 6: Huella hídrica de los alimentos.
Fuente: Los grandes desafíos (2018).

COMPONENTES DE LA HUELLA HÍDRICA

Existen tres componentes que conforman el estudio de la huella hídrica, siendo estas y haciendo referencia a la organización (Hoekstra et. al., 2011).:

- **Huella hídrica gris:** Es el indicador del grado de contaminación del agua asociado a una etapa del proceso. Corresponde al volumen de agua dulce necesario para asimilar la carga de un contaminante existente en una cantidad de agua de modo que la calidad del agua cumpla con las cantidades mínimas de contaminante presentes en condiciones naturales y en las normas ambientales existentes. Corresponde con las ecuaciones 1, 4 y 7, presentes a lo largo del proyecto.
- **Huella hídrica azul:** Es el consumo de los recursos hídricos azules o agua azul; se trata del agua dulce superficial y subterránea evaporada, incorporada a la organización y/o a los productos, desplazada hacia un área de captación diferente al original o devuelta a su lugar de origen en un periodo de tiempo

diferente al extraído. El agua se encuentra presente en los flujos de los diferentes ciclos de actividad y finalmente se devuelve hacia algún lugar. Cada componente de la huella azul de un proceso puede ser medida, directa o indirectamente. Se relaciona con las ecuaciones 2, 5 y 8 del proyecto. Se estima que el 80% del agua azul utilizada en los hogares regresa a la red de alcantarillado, pudiendo ser reutilizada (Sotelo et al., 2012).

- **Huella hídrica verde:** Se trata del consumo de los recursos hídricos verdes o agua verde por parte del hombre; o lo que es lo mismo, agua de precipitación en procesos de evapotranspiración o incorporada a la organización, es decir, no reincorporada al ciclo hídrico en forma de escorrentía o como recarga subterránea. Se considera entonces como el agua consumida durante el proceso de crecimiento vegetal o incorporada de forma temporal a la superficie del suelo. Referente a las ecuaciones 3, 6 y 9 del proyecto. Entre el 80 y 90% del agua de riego se pierde por evapotranspiración (Sotelo et al., 2012).

A continuación, se recoge un esquema (figura 8) que refleja la postura de cada uno de los componentes de huella hídrica respecto al consumo-contaminación del agua:

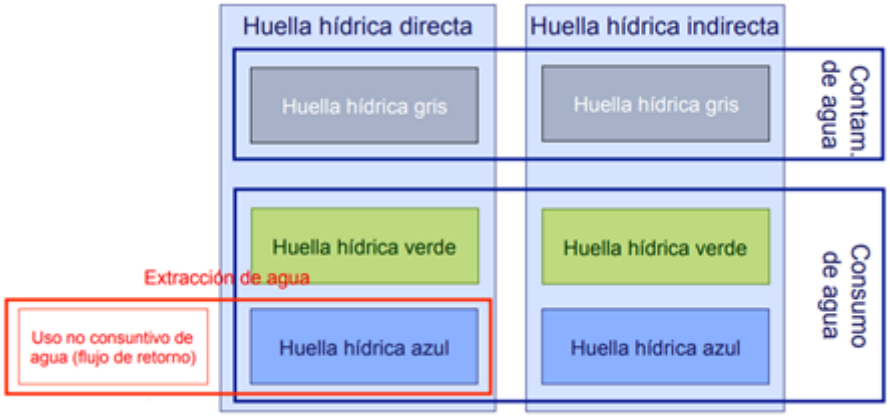


Figura 5: Representación esquemática de los componentes de la huella hídrica. Fuente: Mayte Aldaya, Seminario Nacional del Observatorio del Agua (2015).

Cada una de las huellas anteriormente descritas el Manual Hoekstra (2011) presenta una ecuación de cálculo. Estas ecuaciones son recogidas en el siguiente capítulo "Metodología", ya que, su conocimiento nos servirá como punto de partida a la hora de definir las ecuaciones de cálculo para la organización.

A continuación, se adjuntan una serie de mapas (figura 9) que registran la huella hídrica en los diferentes países, para el periodo de tiempo de 1996 a 2005 (We are water, 2019). Diferenciando entre las tres componentes y la huella hídrica global (valor resultante de la suma de las tres anteriores). Permitiéndonos hacer una comparativa entre países y hacernos una idea global sobre el indicador.

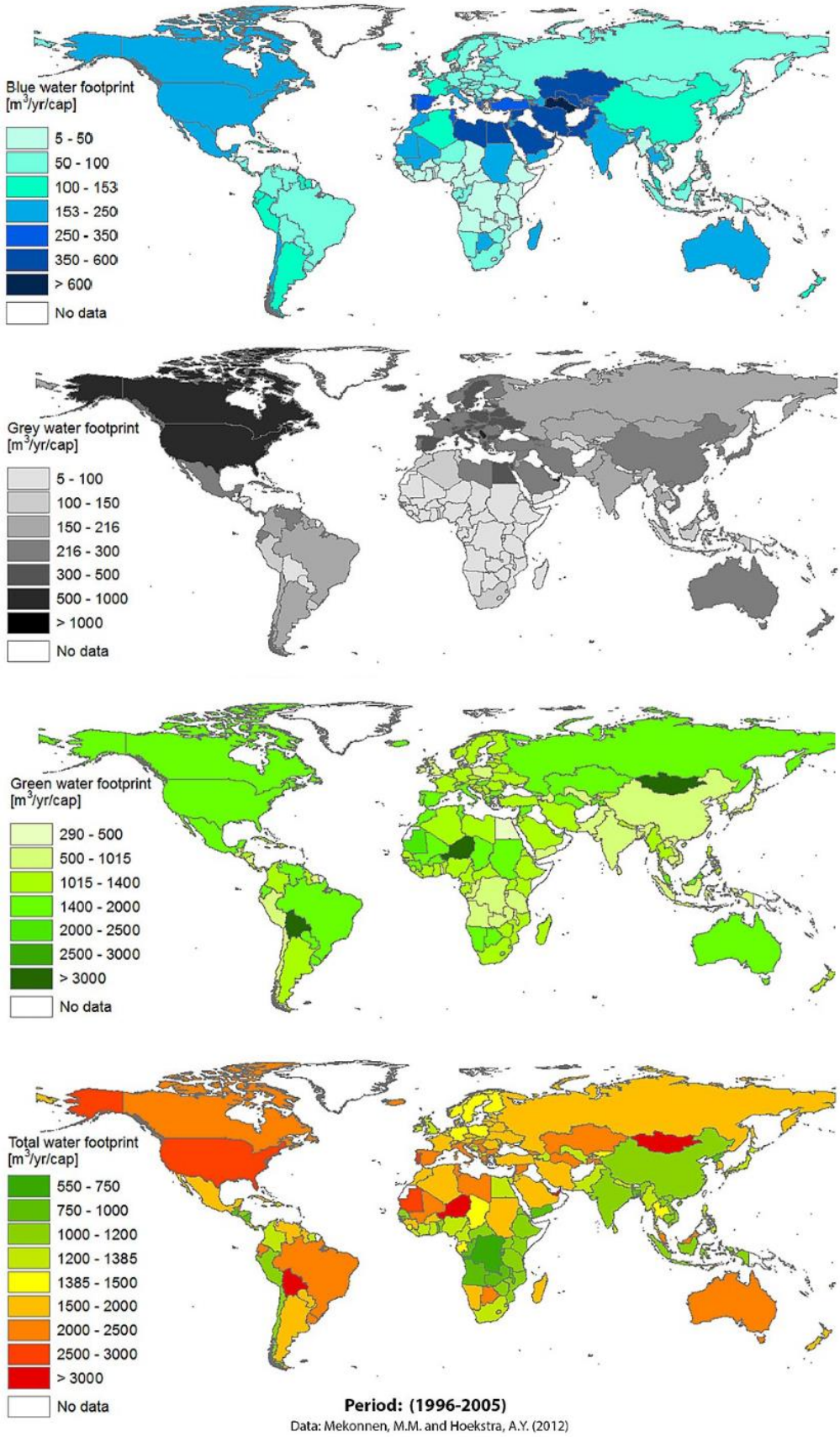


Figura 6: Evolución de las huellas hídricas mundiales. Años 1996-2005.
Fuente: We are water foundation (2019)

MÉTODOS Y HERRAMIENTAS DE CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA

El método de cálculo de la huella hídrica se trata de una táctica estratégica para cumplirlo, suponiendo mejoras a niveles medioambientales, sociales y económicos. Tal y como se trata en este proyecto.

Además, existen otras muchas herramientas a disposición de las organizaciones que permiten guiar a las empresas interesadas en sostenibilidad, equidad y eficiencia en el uso del agua (Pacto Mundial Red España, 2019).

En la siguiente figura se pretende dar a conocer algunas de las herramientas metodológicas para el cálculo de la HH en las organizaciones. En muchas ocasiones y dependiendo del alcance al que se quiera llegar y de las características del proyecto y la organización, debemos hacer la aplicación de una o más herramientas en conjunto.

Figura 7: Herramientas de cálculo de HH en las organizaciones.
Fuente: Elaboración propia (2019)

En nuestro caso, los dos documentos a seguir, aparecen la figura 8. Se trata de la ISO 14.046: 2014 "Gestión ambiental. Huella hídrica. Principios, requisitos y directrices" y el manual de Arjen Y. Hoekstra et al. (2011) "The Water Footprint Assessment Manual", documentos que serán detallados en el capítulo siguiente.

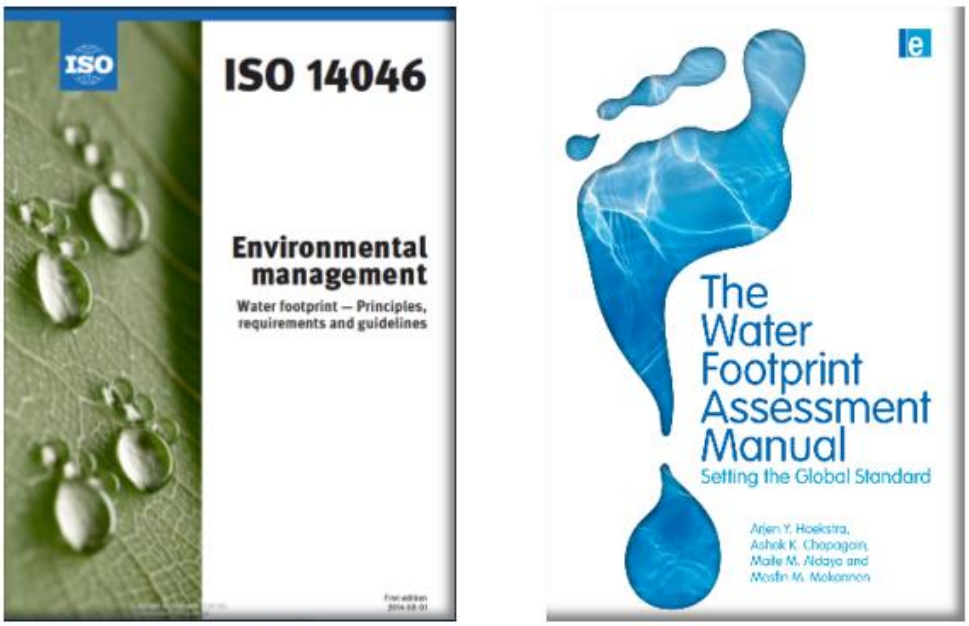


Figura 8: Herramientas metodológicas de cálculo de HH de la UPM.
Fuente: Elaboración propia (2019)

1.7. ESTRATEGIAS DE SOSTENIBILIDAD UPM

La Universidad Politécnica de Madrid (UPM) recoge en el Plan de Sostenibilidad Ambiental de la UPM (año 2018/2019) que ésta, como organización pública, se encuentra dentro del marco establecido el 25 de septiembre de 2015, por La Asamblea General de las Naciones Unidas para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

El Plan de sostenibilidad Ambiental (2019) se centra en numerosas iniciativas y redes nacionales e internacionales relacionadas con la sostenibilidad ambiental dentro de la Comunidad Universitaria. Dentro de estas iniciativas, UPM forma únicamente parte de algunas de ellas, como del International Sustainable Campus Network (ISCN).

A pesar de que a nivel global la UPM no ha desarrollado planes estratégicos, directrices o políticas de sostenibilidad que se encuentren recogidos dentro de los Estatutos de la UPM o de legislación específica universitaria, algunos de los centros que la conforman cuentan con iniciativas de sostenibilidad, puesta en marcha bajo el amparo de la iniciativa RES2+U – Campus sostenible UPM "Responsables, Sostenibles, Sociales, Universitarios" (UPM, 2019a). Un ejemplo de ello, es el caso de la antigua Escuela Superior de Ingenieros de Montes donde se realizó el cálculo de la huella de carbono del centro en el año 2010.

En esta misma escuela y con relación a la huella hídrica, indicador de sostenibilidad a tratar en este proyecto, también a través del equipo de Campus Sostenible RES2+U que se realizó en el año 2014, mediante el Proyecto Fin de Grado (PFG) de un alumno de esta escuela, Daniel Ordoñez Sienes, el estudio de la "Huella hídrica en las Organizaciones. Caso de la ETSI Montes, forestal y del Medio Natural (2012-2014)" (UPM, 2019a).

El ámbito económico para el desarrollo del cálculo de la HH de la UPM está determinado dentro de los presupuestos de la UPM (Ortiz, 2016), concretamente, incluido en la tercera convocatoria de becas (2018/2019) destinadas a estudiantes de la Universidad que realicen los Proyectos Fin de Grado y Trabajos Fin de Máster sobre cuestiones y objetivos definidos en su política de sostenibilidad ambiental publicada por el Vicerrectorado de Calidad y Eficiencia de la UPM (UPM, 2019a).

Dentro del Plan de Sostenibilidad Ambiental (2018-2019), con el objetivo de alcanzar la política sostenible dentro de la Universidad, encontramos las siguientes líneas de actuación (UPM, 2019a):

- **"Línea 1.** Aprobar y aplicar normativas que conviertan a la UPM en una Universidad sostenible"
- **"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"
- **"Línea 7**. Presencia de la UPM y Proyección en innovación tecnológica para el desarrollo humano"
- **"Línea 8.** Campus saludable"

Por otro lado, la Universidad cuenta con un amplio grupo de profesores, investigadores y especialistas vinculados a centros e instituciones relacionadas con cuestiones de sostenibilidad, plasmándolo también en el ámbito académico a través de asignaturas pertenecientes a sus grados, másteres o doctorados. (UPM, 2019b)

El itdUPM (Centro de Innovación en tecnología para el Desarrollo Humano UPM) es una plataforma formada por una comunidad de más de 200 miembros, que trabaja para promover transformaciones hacia la sostenibilidad y acercarse al cumplimiento de los ODS. Cuya Sede se encuentra en Ciudad Universitaria y es el punto de encuentro entre profesores, investigadores, estudiantes, empresas externas, sociedad civil y administración pública. En él se llevan a cabo proyectos de sostenibilidad y el Máster oficial UPM-UCM en Estrategias y Tecnologías para el Desarrollo, el micromáster en sostenibilidad (itdUPM, 2017).

Desde 2011 la Gerencia de la UPM registra información (datos informativos y accesibles en Data warehouse UPM) sobre variables clave en la mejora de la sostenibilidad, entre ellas, el consumo de agua, que le permite aproximarse a los objetivos de sostenibilidad ambiental, social y económica marcados por el Campus Sostenible UPM (UPM, 2019b) y ajustándose a la ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid publicada en el Boletín Oficial (BO.) del Ayuntamiento de Madrid el 22 de Junio de 2006.

Ordenanza que indica que "Todos los establecimientos industriales, comerciales o de servicios cuyo consumo de agua sea igual o mayor a 10.000 m^3 anuales, deberán disponer de un plan de gestión sostenible del agua que contenga las proyecciones de uso, la identificación de áreas para la reducción, reciclado, reutilización de agua o aprovechamiento de aguas pluviales y las medidas de eficiencia a aplicar, en el que se especifiquen las metas de conservación y el cronograma de actuaciones previsto." (BO. Ayuntamiento de Madrid, 2006). Incluyéndose la UPM dentro de las características de los establecimientos descritos para esta ordenanza.

1.8. OBJETIVO DEL PROYECTO

Como se mencionó anteriormente, el objetivo principal del proyecto a desarrollar es la cuantificación de la huella hídrica (HH) de la Universidad Politécnica de Madrid, concretamente dentro del periodo natural de los años 2017 y 2018. El cálculo de este indicador va asociado a una serie de propósitos definidos en la Norma ISO (International Organization for Standardization) 14.046: 2014 "Gestión ambiental. Huella hídrica. Principios, requisitos y directrices", los cuales son recapitulados a continuación.

Mediante la aplicación de la Norma ISO: 14046 y el manual de Hoekstra et al (2011) "The Water Footprint Assessment Manual" marcaremos las bases para el cálculo de H.H. a nivel de organización. Con lo que buscamos prioritariamente (ISO: 14.046, 2014):

- "Evaluar la magnitud de los posibles impactos ambientales relacionados con el agua.
- Identificar oportunidades para reducir estos impactos a lo largo de su ciclo de vida o en diversas etapas de éste.
- Proporcionar herramientas de gestión estratégica sobre los riesgos que puedan aparecer.
- Optimizar la eficiencia y gestión del agua a nivel organizacional.
- Informar a los responsables de la toma de decisiones de sus posibles impactos ambientales (propósito de la planificación estratégica, establecimiento de prioridades, diseño de procesos y rediseño, decisión sobre la inversión de recursos).
- Proporcionar información consistente y confiable, basada en evidencias científicas para informar de los resultados de la huella hídrica.

El desarrollo de esta norma en materia de los recursos hídricos se vio motivada tras la presencia de otros referentes internacionales para la evaluación y comunicación de indicadores de sostenibilidad como la Norma sobre Gases de efecto Invernadero y la Norma sobre huella de carbono ISO 14064-14067. A pesar de que su cálculo es de difícil aplicación en organizaciones, lo cual no permite la comparación entre huellas del agua, esta herramienta nos resulta muy útil, nos permite avanzar en las investigaciones y es utilizada a nivel internacional, tratándose de un cálculo estandarizado (Ferrer, 2014).

1.9. ESTRUCTURA DEL PROYECTO

Una vez introducidos los objetivos y los conceptos necesarios previos a la cuantificación de la huella hídrica, procedemos a desarrollar los siguientes capítulos que junto con la introducción anterior y los anexos formarán el proyecto:

- Introducción y objetivos (Capítulo 1)
- Metodología y herramientas de cuantificación (Capítulo 2)
- Cuantificación de la huella hídrica (Capítulo 3)
- Resultados (Capítulo 4)
- Propuestas de mejora (Capítulo 5)
- Conclusiones (Capítulo 6)
- Presupuesto (Capítulo 7)
- Anexos:
  - Anexo I (Cálculos)
  - Anexo II (Mapas)
  - Anexo III (Fichas catastrales)
  - Anexo IV (Informe de cuantificación)
  - Anexo V (Informe ejecutivo)

Capítulo 2: Metodología y herramientas de cuantificación

2. METODOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS DE CUANTIFICACIÓN

El concepto de huella hídrica (HH) o huella del agua, es relativamente reciente, ya que fue en el año 2002 cuando apareció el término de huella hídrica desarrollado por A. Y. Hoekstra. Desde su aparición, el concepto ha ido evolucionando, encontrándose aún en fase de desarrollo. Lo mismo ocurre con su aplicación y el interés que despierta sobre la sociedad actual, quedando incluido en recientes normativas como la ISO 14.046: 2014 y siendo cada vez más importante (Ordoñez, 2016).

En el año 2014 se desarrollan los principios, requisitos y directrices en relación a la evaluación de la huella hídrica, establecidos en la Norma ISO: 14.046, norma que instaura los estándares de cálculo de la HH y basada en el análisis de ciclo de vida (ACV) (ISO 14.046, 2014). Sin embargo, es muy difícil su implementación a nivel de organización, dado que solo establece una serie de directrices y parámetros que denotan el marco de actuación y el sistema de evaluación de la huella hídrica, permitiéndonos saber "que se busca", pero no el procedimiento que nos ayude a saber "cómo hacerlo" (Ordoñez, 2016).

Además, existen autores como Fernández que en el año 2014 remarcaban la insuficiencia de la Norma ISO 14.046 como única herramienta de cuantificación de la huella hídrica. Calificándola como poco exhaustiva y básica en referencia a las organizaciones y a factores socioeconómicos determinantes en el estudio (Ordoñez, 2016).

La Norma ISO 14.046 permite hacer uso complementario de manuales de evaluación de huella hídrica que posibiliten completar el sistema de cálculo (ISO 14.046, 2014). Es por ello que existe la necesidad de suplementar esta Norma con el "Water Footprint Manual" de Hoekstra et al (2011), para aproximarnos al máximo a la realidad hídrica de la organización.

El manual aporta los procedimientos de cálculo a seguir en diferentes ámbitos de estudio, entre ellos, las organizaciones (Hoekstra et al., 2011). Es, por tanto, la principal alternativa metodológica para llevar a cabo la cuantificación y comprensión de HH en la UPM, aportando la información necesaria para la elaboración de los cálculos. Fue desarrollado en el año 2011 por Arjen Y. Hoekstra, Ashor K. Chapagain, Maite M. Aldaya y Mesfin M. Mekonnen (Hoekstra et al., 2011).

Podemos asegurar que, mediante la sinergia de ambos documentos, la Norma ISO 14.046 y el Manual Hoekstra, obtenemos los resultados indispensables para nuestro proyecto. Siendo éstos, los datos volumétricos de consumo y de contaminación de agua y el enfoque de impacto ambiental, social y económico de esos consumos.

2.1. LA NORMA ISO 14.046

En este apartado procedemos a resumir aquellos puntos de la norma de mayor interés a la hora de realizar la cuantificación de HH de la UPM, incluyendo algunos de los términos definidos en la norma, los principios y objetivos y su aplicación dentro de las organizaciones. Para su desarrollo, la principal fuente de información a seguir es la propia Norma ISO 14.046: 2014, quedando referenciadas en caso contrario, otras fuentes bibliográficas.

El principal motivo de creación de esta norma surge a raíz de la necesidad de mejorar la gestión del agua a nivel local, regional, nacional e internacional, y desarrollar técnicas internacionales que evalúen los impactos relacionados con ella. Ya que el agua es un recurso esencial, cada vez más demandado y que se encuentra en la actualidad en sus máximos niveles de escasez y degradación. (ISO 14.046, 2014).

La Organización Internacional de Normalización, en inglés International Organization for Standarization (ISO), es un organismo no gubernamental compuesto por 162 miembros, de los cuales cada uno representa a un país integrante (ACMS, 2019).

La Norma ISO 14.046 (2014), aprobada en mayo de 2014, se basa en el ACV del agua, de acuerdo con lo recogido en la Norma ISO 14.044: 2006, Gestión Ambiental — Análisis del ciclo de vida — Requisitos y directrices. Además, sigue la estructura de la primera edición de la Norma ISO 14.067 (del año 2013 y actualizada en el año 2018) sobre Gases de Efecto Invernadero (ISO 14.067, 2018) y de la Norma ISO 14.064 sobre huella de carbono, del año 2006 y aún vigente (ISO 14.064, 2006).

En el año 2015 se edita e imprime la primera edición en español por el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO). La norma fue traducida por el "Grupo de Trabajo Spanish Translation Task Force (STTF) del Comité Técnico ISO/TC 20", cuyo contenido es exacto a la norma original y cuya finalidad es unificar la terminología en términos de gestión ambiental en la lengua española (INTECO, 2015).

"Se espera que esta Norma Internacional beneficie a organizaciones, gobiernos y otras partes interesadas en todo el mundo al proporcionar transparencia, coherencia, reproducibilidad y credibilidad para la evaluación e informe de las huellas del agua de productos, procesos u organizaciones" (INTECO, 2015).

2.1.1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Dentro de la Norma, el término "huella hídrica" se utiliza exclusivamente cuando se obtiene como resultado la evaluación de un impacto ambiental, entendiéndose como impactos ambientales todo efecto que se produce sobre ecosistemas, salud humana y sobre los recursos. El alcance de evaluación lo determina cada usuario a aplicar la Norma de huella hídrica, ya que se emplea según los requisitos de cada uno (ISO 14.046, 2014).

El resultado de la evaluación de la huella hídrica puede ser un valor único e individual (evaluándose solamente los impactos relacionados con el agua); o un perfil de los resultados (recopilación de impactos ambientales potenciales relacionados con el agua) (ISO 14.046, 2014).

La evaluación de la huella hídrica realizada de conformidad con esta Norma Internacional (ISO 14.046, 2014):

- "Es modular (por ejemplo: huellas del agua de diferentes etapas del ciclo de vida pueden sumarse para representar el resultado de la huella hídrica)"
- "Identifica los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua"
- "Incluye dimensiones geográficas y temporales pertinentes"
- "Identifica la cantidad de consumo de agua y los cambios en su calidad"
- "Utiliza conocimientos de hidrología"

Una evaluación de la huella hídrica puede ayudar en (ISO 14.046, 2014):

- "Evaluar la magnitud de impactos ambientales potenciales relacionados con el agua"
- "Identificar oportunidades para reducir los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua asociados con productos en varias etapas de su ciclo de vida, así como con procesos y organizaciones; la gestión estratégica del riesgo relacionado con el agua"
- "Facilitar la eficiencia del agua y la optimización de la gestión del agua al nivel de productos, procesos y organización"
- "Informar a quienes toman decisiones en la industria, las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales de sus impactos ambientales potenciales relacionados con el agua (por ejemplo, para propósitos de planificación estratégica, establecimiento de prioridades, diseño o re-diseño de productos y procesos; toma de decisiones sobre inversiones de recursos)"
- "Proporcionar información coherente y fiable con base en evidencia científica para dar el informe de los resultados de la huella hídrica"

Es conveniente tener en cuenta algunas aclaraciones sobre la Norma, como, por ejemplo (ISO 14.046, 2014):

- Cuando se hace referencia al término "producto" incluye bienes y servicios. Tal y como se recoge en la Norma ISO 14.044: 2006.
- El término "impactos ambientales" incluye integradas en el ACV. Por ejemplo, los impactos en los ecosistemas, en la salud humana y en los recursos.
- Informar, no es sinónimo de comunicar. "Se incluyen en esta Norma Internacional los requisitos y directrices para proporcionar informes, pero los requisitos y las directrices para comunicar, tales como las declaraciones o etiquetas ambientales están fuera del alcance de esta Norma Internacional."
- Las únicas emisiones referentes al aire y los vertidos al suelo que se incluyen en la evaluación ambiental de la norma internacional son aquellas que tienen relación directa con la calidad del agua.

2.1.2 TERMINOS RELACIONADOS CON LA CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA

Dentro de la Norma se aplican términos y definiciones. A continuación, disponemos a incluir aquellos términos que serán utilizados con regularidad e influyen de manera directa en nuestro proyecto. Han sido ordenados de tal manera que coincidan con la estructura a seguir a lo largo del documento, pudiendo servir como apoyo y método de refuerzo a la hora de comprender los diferentes elementos del proyecto.

Exponemos las definiciones textuales recogidas en la Norma (ISO 14.046, 2014):

- "**Agua dulce:** Agua que contiene una concentración baja de sólidos disueltos (menos de 1 000 miligramos por litro de sólidos disueltos y generalmente se acepta como adecuada para su extracción y tratamiento convencional para producir agua potable. La concentración de sólidos disueltos totales puede variar considerablemente en el espacio y/o el tiempo)."
- "**Cuerpo de agua:** Entidad de agua con características hidrológicas, hidrogeomorfológicas, físicas, químicas y biológicas definidas en un área geográfica dada. (Ejemplo: Lagos, ríos, aguas subterráneas, mares, icebergs, glaciares y reservorios)."
- "**Cuenca hidrográfica**: Área desde la cual las escorrentías de agua procedentes de precipitaciones drenan por gravedad a una corriente u otro cuerpo de agua."
- "**Flujo elemental de agua**: Agua que entra al sistema bajo estudio, que ha sido extraída del medio ambiente; o agua que sale del sistema bajo estudio que es liberada al medio ambiente."
- "**Uso del agua**: Uso del agua por actividades humanas. El uso incluye, pero no está limitado a cualquier extracción del agua (remoción antropogénica del agua de cualquier cuerpo de agua o de cualquier cuenca hidrográfica, ya sea de forma permanente o temporal, liberación del agua, u otras actividades humanas dentro de la cuenca hidrográfica) que impacte en los flujos del agua y/o en su calidad, incluyendo en las corrientes, como son la pesca, diversión, transporte."
- "El término "**consumo de agua**" a menudo, se utiliza para describir el agua extraída de la cuenca hidrográfica pero no retornada a la misma cuenca hidrográfica. El consumo de agua puede ser debido a la evaporación, a la transpiración, a la integración en un producto o por liberación en una cuenca hidrográfica diferente o en el mar. Los cambios en la evaporación causados por un cambio en el uso del suelo se consideran como consumo de agua. (por ejemplo: reservorio) La cobertura temporal y geográfica de la evaluación de la huella hídrica debe definirse en el objetivo y el alcance."
- **"Organización:** Persona o grupo de personas que tiene sus propias funciones con responsabilidades, autoridades y relaciones para el logro de sus objetivos."
- "**Huella de agua (Huella hídrica)**: Métrica o métricas con las que se cuantifican los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua.
  En el caso de que los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua, no hayan sido evaluados integralmente, el término "huella hídrica"

solamente puede utilizarse si está acompañado por un calificativo (una o varias palabras adicionales utilizadas en conjunto con el término "huella hídrica" para describir la categoría o las categorías del impacto estudiadas en la evaluación de la huella hídrica por ejemplo: huella hídrica por escasez, huella hídrica por eutrofización, huella hídrica no integral.)"

- **"Inventario de la huella hídrica**: Resultado del análisis del inventario de la huella hídrica, incluyendo flujos elementales que se utilizan para evaluaciones posteriores del impacto de la huella hídrica."
- **"Inventario de la huella hídrica directo**: Inventario de la huella hídrica que considera las entradas y los resultados que derivan de las actividades dentro de los límites establecidos por la organización."
- **"Inventario de la huella hídrica indirecto**: Inventario de la huella hídrica que considera las entradas y los resultados que son consecuencia de las actividades de una organización pero que surgen de los procesos que son de su propiedad, o que están bajo el control de otras organizaciones."
- "**Datos primarios:** Valor cuantificado de un proceso unitario (elemento menor considerado en el inventario) o de una actividad obtenida de una medición directa, o de cálculos con base en mediciones directas de su fuente original."
- "**Datos secundarios:** Datos obtenidos de otras fuentes diferentes a las de una medición directa o a los de un cálculo basado en mediciones directas de la fuente original. (Dichas fuentes pueden incluir bases de datos y bibliografía publicada validada por autoridades competentes en la materia)"
- "**Análisis de la incertidumbre**: Procedimiento sistemático para cuantificar la incertidumbre introducida en los resultados de un análisis de inventario del ciclo de vida debido a los efectos acumulativos de la imprecisión del modelo, de la incertidumbre de las entradas y de la variabilidad de los datos. Se utilizan márgenes o distribuciones de probabilidad para determinar la incertidumbre de los resultados."
- "**Evaluación de la huella hídrica:** Recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales ambientales relacionados con el agua utilizada o afectada, por un producto, un proceso, o una organización."
- "**Evaluación integral de la huella hídrica**: La evaluación de la huella hídrica que cumple el principio de integridad. Principio que implica considerar todos los atributos ambientales pertinentes, o aspectos del medio ambiente, de la salud humana y de los recursos relacionados con el agua, incluyendo la disponibilidad del agua y la degradación del agua."
- **"Evaluación del impacto de la huella hídrica**: Fase de la evaluación de la huella hídrica, que es continuación del análisis del inventario de la huella hídrica dirigida a conocer y evaluar la magnitud y cuán significativos son los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua de un producto, proceso u organización."

2.1.3 PRINCIPIOS

"Los principios establecidos por la Norma son fundamentales y deben utilizarse como orientación para las decisiones relacionadas con la planificación, la realización y el informe de la evaluación de la huella hídrica" (ISO 14.046, 2014).

Para la UPM llevaremos a cabo una **evaluación única e individual** (donde solamente se evalúan los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua) **y no integral** (a través de un inventario directo, es decir, cuantificando únicamente los consumos de las actividades que se desarrollan dentro de la organización y que no quedan bajo el dominio de otras organizaciones) (ISO 14.046, 2014).

Sin embargo, lo más conveniente sería realizar la evaluación de manera integral y considerando todos los atributos pertinentes, el motivo por el que restringimos la evaluación de HH se debe a la amplitud inabarcable que supondría realizar el estudio integral a nivel ciclo de vida dentro de nuestra organización.

A continuación, se enumeran de forma resumida los principios que debe cumplir la evaluación de HH para asegurar resultados precisos y próximos al cumplimiento de sus objetivos. Para una mayor comprensión de éstos pueden encontrarse en el Capítulo 4 de la Norma ISO 14.046, "Principios" (ISO 14.046, 2014):

- **Enfoque ambiental**: Evaluación de los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua, asociados con un producto, proceso u organización. Los impactos económicos y sociales se encuentran fuera de la evaluación de huella hídrica.
- **Enfoque relativo y unidad funcional**: Relación con la unidad funcional (la organización) y con el resultado o los resultados calculados relativos a esta unidad funcional.
- **Enfoque iterativo**: Las fases individuales de la evaluación de la huella hídrica utilizan los resultados de las otras fases. El enfoque iterativo dentro y entre las fases contribuye a la integridad y a la coherencia del estudio y a los resultados informados.
- **Transparencia**: La información obtenida debe ser suficiente y apropiada que permita a los usuarios tomar decisiones con una confianza razonable.
- **Pertinencia:** Selección de datos y métodos apropiados.
- **Integridad**: Todos los datos que proporcionen una contribución significativa a la evaluación de la huella hídrica se incluyen en el inventario.
- **Coherencia:** Las suposiciones, métodos y datos se aplican de la misma manera a lo largo de la evaluación de la huella hídrica para llegar a conclusiones de acuerdo con la definición del objetivo y del alcance.
- **Exactitud:** El sesgo y la incertidumbre se reducen tanto como sea posible.
- **Prioridad del enfoque científico**: Las decisiones que se hacen sobre la huella hídrica se basan preferentemente en las ciencias naturales. Si esto no es posible, pueden utilizarse otros enfoques científicos como las ciencias sociales o económicas, y como última instancia basarse en juicios de valor.
- **Pertinencia geográfica:** Se establece una escala y definición determinada.

2.1.4 MARCO METODOLÓGICO

Según la ISO 14.046 (2014) "la evaluación de la huella hídrica trata los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua asociados con un producto, proceso u organización".

Para su desarrollo, de acuerdo con la norma, se debe incluir las cuatro fases de análisis de ciclo de vida. Entre paréntesis encontramos el número de capítulo referente a este proyecto. Las fases a seguir son (ISO 14.046, 2014):

1) **Definición del objetivo y alcance** (Capítulos 1: "1.6: Objetivo del proyecto" y Capítulo 3: "3.2.: Alcance y enfoque del cálculo")
2) **Análisis del inventario de la huella hídrica** (Capítulo 3: "3.4. Análisis del inventario")
3) **Evaluación del impacto de la huella hídrica** (Capítulo 3: "3.5. Evaluación del inventario")
4) **Interpretación de los resultados** (Capítulo 4: "4.1. Análisis de los resultados")

2.1.5 DIRECTRICES PARA LAS ORGANIZACIONES

Dentro de la Norma Internacional encontramos una última sección en forma de anexo (Anexo A de la ISO 14.046: 2014) destinado a los requerimientos normativos y directrices aplicadas a la organización. En él se describe la organización como "la instalación o conjunto de instalaciones cuyos impactos ambientales potenciales relacionados con el agua pueden ser consecuencia de una o más unidades físicas o procesos" (ISO 14.046, 2014).

A continuación, se adjunta un esquema de las diferentes fases a seguir al cuantificar la huella hídrica en la organización. Así como una explicación detallada de cada una de ellas.

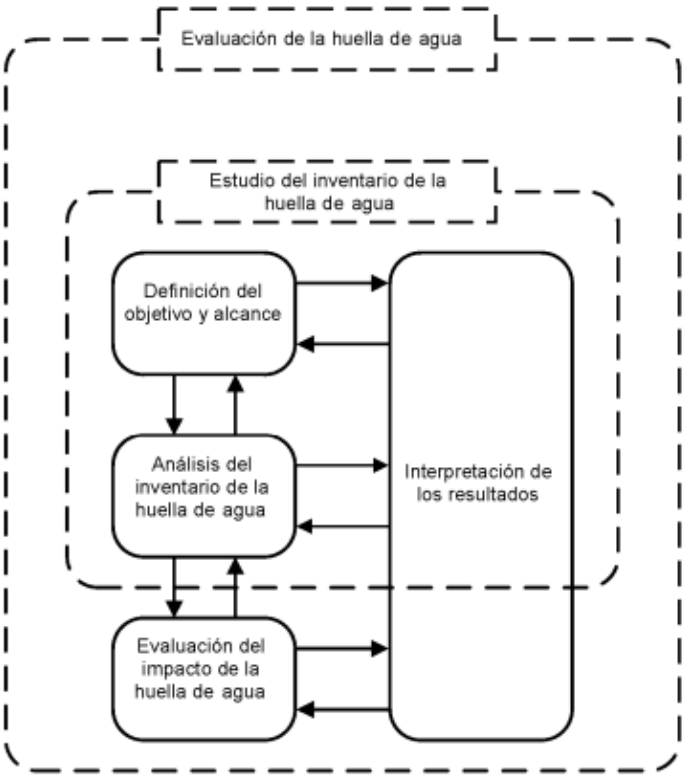


Figura 9: Fases de la evaluación de la huella hídrica
Fuente: Norma internacional ISO 14.046 (2015)

FASE 1: DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y ALCANCE

Haciendo referencia a la primera fase de la metodología "Definición del objetivo y alcance" seguiremos las pautas desarrolladas en el apartado "5.2 Definición del objetivo y alcance" de la Norma ISO 14.046 (2014).

Al definir el objetivo y alcance de la evaluación de la huella hídrica, se debe explicar con precisión los siguientes elementos. Teniendo en cuenta que ambas componentes del estudio están estrechamente ligadas y deben guardar concordancia entre ellas, se ha realizado una unificación de los requisitos expuestos en la norma para cada una de las componentes (ISO 14.046, 2014):

- "Las aplicaciones previstas"
- "Las razones para efectuar el estudio"
- "El público objetivo, por ejemplo: a quienes está previsto que se les informe de los resultados del estudio"
- "Si el estudio es una evaluación única e independiente o forma parte de un análisis del ciclo de vida"
- "Si el estudio forma parte del análisis del ciclo de vida donde está prevista una aseveración comparativa"
- "En cuanto al alcance de la evaluación de la huella hídrica, debe guardar coherencia con el objetivo. Para su definición debemos considerar y describir claramente los elementos siguientes"

- "Sistema bajo estudio, límites del sistema, y límites de la organización según sea pertinente"
- "Unidad funcional"
- "Definición y cobertura geográfica y temporal del estudio"
- "Datos y requisitos de calidad de los datos"
- "Procedimientos de asignación"
- "Suposiciones, juicios de valor y elementos opcionales"
- "Metodología de evaluación del impacto de la huella hídrica, y las categorías de impacto seleccionadas"
- "Considerar si los resultados de la evaluación de la huella hídrica van a incluir un resultado del indicador del impacto (y especificar cuál), un perfil de la huella hídrica, y/o una huella hídrica después de la ponderación"
- "Considerar si la evaluación de la huella hídrica será integral
- "Qué cadenas de causa-efecto e impactos ambientales potenciales están cubiertos por la evaluación de la huella hídrica e identificar las consecuencias previsibles de los impactos ambientales potenciales excluidos"
- "Incertidumbres y limitaciones"
- "Justificaciones para las exclusiones del estudio"
- "Condiciones de la línea base con las que se comparen las condiciones actuales causadas por las actividades, si es aplicable. Las condiciones de la línea base pueden incluir el período utilizado como referencia para la comparación y su inventario"
- "Elaboración de un informe"
- "Elaboración de una revisión crítica"

Mientras que el objetivo del estudio es de carácter global. En el alcance serán determinadas y evaluadas las diferentes unidades de estudio, es decir, la universidad en tres niveles (el nivel de mayor detalle, las escuelas, facultades y centros, en segundo lugar, los campus y de forma global la UPM), así como el ajuste de los límites del sistema, teniendo en cuenta los límites físicos, organizativos, socioeconómicos de la universidad y los límites organizacionales y operativos del inventario.

La información referenciada a nuestro proyecto sobre el alcance se encuentra en el capítulo siguiente (Capítulo 3: "Cuantificación de la huella hídrica en la UPM").

FASE 2: ANÁLISIS DEL INVENTARIO DE LA HUELLA HÍDRICA

La organización debe consolidar los impactos ambientales potenciales de sus instalaciones relacionadas con el agua mediante uno de los siguientes enfoques y una vez establecido, documentarlo y explicar cualquier variación existente en el método aplicado (ISO 14.046, 2014):

- **"Mediante control**: La organización realiza la evaluación de los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua, de los procesos y de las unidades físicas de instalaciones sobre las qué tiene el control financiero."
- **"Mediante participación de capital**: la organización realiza la evaluación de los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua de los procesos y

de las unidades físicas de sus respectivas instalaciones de acuerdo a sus intereses de participación de capital."

Es importante mencionar que "cuando una instalación está controlada por varias organizaciones, estas deberían adoptar el mismo enfoque de consolidación" (ISO 14.046, 2014).

En función del objetivo y alcance de la organización, existen diferentes perspectivas a la hora de llevar a cabo la cuantificación de la huella hídrica (véase la Figura 10) (ISO 14.046, 2014).

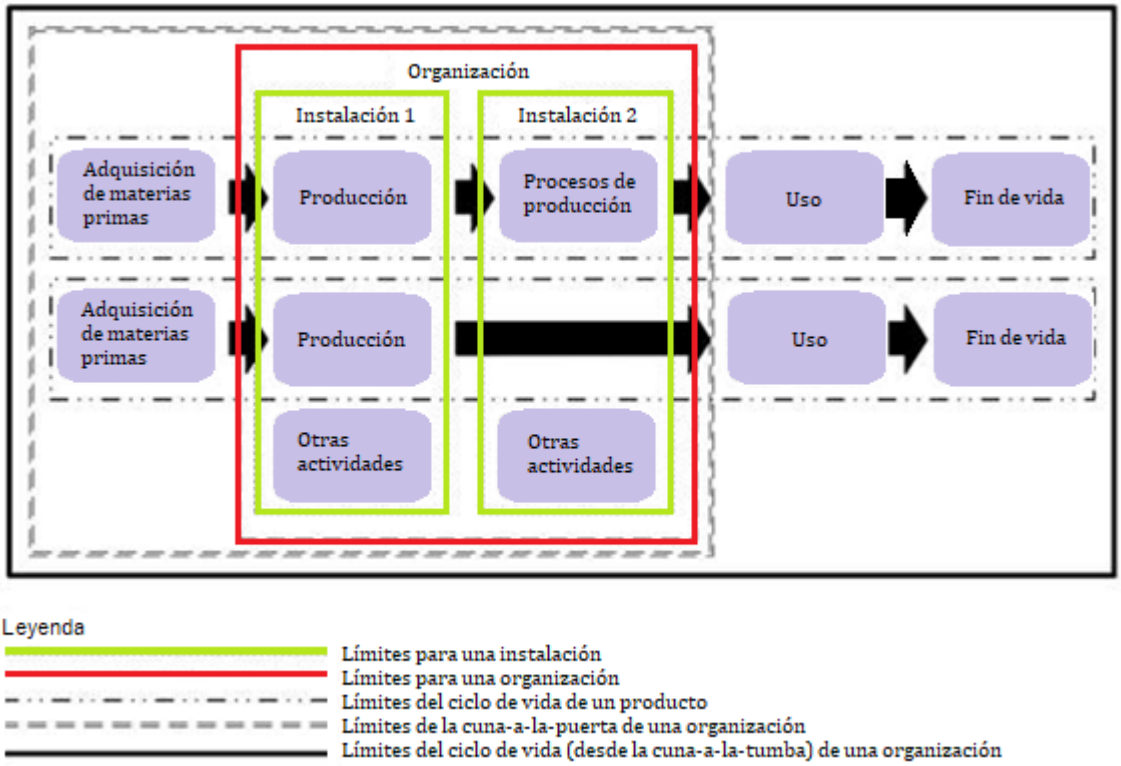


Figura 10: Ejemplos de los diferentes límites de la organización en evaluación de HH.
Fuente: Norma ISO: 14.046 (2014)

La UPM como organización, se encuentra conformada por las diferentes escuelas, facultades y centros de investigación, denominadas "instalaciones" en la figura anterior. Para cada instalación se llevará a cabo una evaluación mediante análisis del inventario de forma directa o análisis operacional. Realizando las exclusiones oportunas y necesarias debido a las dimensiones de la organización. Donde se tendrán en cuenta únicamente los consumos de agua (entradas) de las actividades desarrolladas por la organización y dentro de ella (inventario directo), quedando excluida las etapas de adquisición de materias primas, uso y fin de la vida útil (figura 10).

Sin embargo, lo correcto sería llevar a cabo el ACV de ésta considerando los inventarios de la huella hídrica directos e indirectos de las actividades asociadas con la organización. De esta forma, nos aseguraríamos que se cubren todas las

entradas y salidas relacionadas con las actividades de la organización. En caso contrario, debe justificarse y divulgarse cualquier exclusión (ISO 14.046, 2014).

Es por tanto, necesario marcar aquellas exclusiones que no nos permiten realizar el análisis completo, por ejemplo: el consumo energético y de agua de los electrodomésticos presentes en la organización, como el lavavajillas de las cafeterías (requiere lavado y secado), los alimentos (requieren ser cocinados y/o refrigerados), el uso jabones y detergentes (requieren el consumo de agua y devalúan su calidad), las actividades desarrolladas por otras empresas subcontratadas (cafetería, proveedores, distribuidores) entre otros. Las exclusiones aparecen de forma detallada en el punto "3.2.7.: Exclusiones" de este proyecto.

Una vez han sido marcados y analizados el objetivo, el alcance y los límites inventaríales de la organización, debemos proceder a preparar los datos recopilados. Existen los datos primarios o directos y datos secundarios, definidos anteriormente en el apartado "2.1.2. Términos relacionados con la cuantificación de la huella hídrica". En el caso de que sea necesario utilizar datos secundarios en procesos significativos, debe quedar justificado y documentado los motivos de su utilización (ISO 14.046, 2014).

A la hora de realizar la recopilación de datos debemos registrar (ISO 14.046, 2014):

- "Cantidades de agua utilizada"
- "Tipos de recursos de agua utilizados (pluvial, agua superficial, agua de mar…)"
- "Los datos que describen la calidad del agua (parámetros químicos, físicos, biológicos…)"
- "Formas de uso del agua (evaporación, transpiración, liberación, desplazamiento...)"
- "Cambios en el drenado, flujo de corrientes, flujo subterráneo, o evaporación del agua"
- "Obtención por cambios en el uso del suelo, actividades de gestión del suelo, y otras formas de intercepción del agua cuando sea importante para el alcance y los límites del estudio que se está realizando"
- "Los lugares del uso del agua que se requieren para determinar algún indicador de condición ambiental relacionado con el área donde tiene lugar el uso del agua"
- "Aspectos estacionales en los flujos del agua; extracción y liberación, o cambios en la calidad del agua, cuando sea pertinente"
- "Aspectos temporales en el uso del agua, incluyendo si pertinente los tiempos en el uso del agua y la duración del almacenamiento del agua"

Estos datos deben cumplir ciertos requisitos de calidad relacionados con la cobertura temporal, geográfica y tecnológica, precisión, integridad (porcentaje de datos medidos o estimados), representatividad, coherencia, reproducibilidad, fuentes de datos e incertidumbre de la información. Para asegurar su validez, se llevarán a cabo durante el periodo de recopilación, las comprobaciones

oportunas que nos permitan ratificar que son aptos para la posterior aplicación de éstos en el cálculo (ISO 14.044, 2014).

Cuando nos encontramos ante una falta de datos significativa, debe quedar documentado. Así como cualquier procedimiento que me permita solucionar ésta falta de datos. En el caso de hacer suposiciones se debe indicar de manera clara y describir la base de las suposiciones. Es apropiado valorar la importancia de los datos que faltan y no tratar de solucionar esta ausencia mediante compensaciones (ISO 14.046, 2014).

Una vez los datos son recopilados, validados y relacionados con los diferentes procesos y unidades funcionales de nuestro proyecto, podemos proceder con el análisis del inventario de la huella hídrica, realizando las adaptaciones oportunas para obtener y cómputos necesarios para obtener la cuantificación de huella hídrica.

Como se indicó anteriormente, para llevar a cabo los cálculos necesarios de obtención de huella hídrica, se hace uso de "The Water Footprint Assessment Manual" sobre evaluación de huella hídrica de Arjen Y. Hoekstra et al. escrito en 2011.

La metodología de cálculo del manual de Hoekstra et al es totalmente compatible con la normativa ISO-14.046, debido a su método de cálculo en las organizaciones (Ordoñez, 2016).

Este manual nos permite establecer criterios más asequibles y una mayor organización a la hora de cuantificar y evaluar la huella hídrica. Dentro de este manual encontramos de manera sistemática métodos de cálculo a seguir e información correspondiente a los diferentes componentes de la huella hídrica (huellas azul, verde y gris) orientada a las organizaciones (para los cálculos azul y gris) y a zonas verdes (cálculo de huella verde) (Hoekstra et al., 2011).

A continuación, se presentan las ecuaciones de cálculo (Ecuaciones de la 1 a la 3) propuestas por el manual. Éstas nos servirán como referencia a la hora de cuantificar la huella hídrica en la UPM, ya que, debido a disposición de datos para la realización de este proyecto, debemos realizar modificaciones específicas en los cálculos, que nos permitan ajustarnos de forma precisa a nuestros datos y a las circunstancias de nuestro proyecto. Haremos una primera aproximación de las ecuaciones (Ecuaciones de la 4 a la 6) que nos permitan el comprender las ecuaciones finales de cálculo a aplicar en la cuantificación (Ecuaciones de la 7 a la 9). Estas variaciones se presentan en el apartado 3.3. "Cuantificación de la huella hídrica en la UPM" junto con los datos a utilizar en cada una de ellas.

Las ecuaciones de partida para el cálculo son (Hoekstra et. al., 2011):

$$\text{HHgris}\left({}^{\text{m3}}/_{\text{año}}\right) = \frac{\text{L}}{\text{Cmax}-\text{Cnat}} = \frac{\text{concentración de contaminante (m/t)}}{\text{calidad ambiental para ese contaminante } ({}^{\text{m}}/_{\text{V}})}$$

{Ec. 1}

$$\text{HHazul } ({}^{\text{m3}}/_{\text{año}}) = \text{agua azul evaporada} + \text{agua azul incorporada azul de no retorno}$$

{Ec. 2}

$$\text{HHverde}\left({}^{\text{m3}}/_{\text{año}}\right) = \text{agua verde evaporada} + \text{agua verde incorporada}$$

{Ec. 3}

FASE 3: EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA HUELLA HÍDRICA

La evaluación del impacto de la huella hídrica debe cumplir con la Norma ISO 14.044 (concretamente con el apartado 4.4 "Evaluación de impacto de ciclo de vida") donde se relacionan los resultados obtenidos del análisis de inventario con los efectos ambientales potenciales a los que dan lugar con la finalidad de valorar la importancia de estos (ISO 14.046, 2014).

No se trata de determinar impactos reales sino de relacionar los datos obtenidos en el inventario de la organización con una categoría de impacto y cuantificar la contribución de los impactos a cada categoría como pueden ser: agotamiento de recursos, eutrofización, acidificación o contaminación. El resultado será añadir al indicador la categoría correspondiente (ISO 14.046, 2014).

La evaluación de Impacto de Ciclo de Vida consta de cuatro elementos, siendo estos (ISO: 14.040, 2006):

- Selección de categorías de impacto, indicadores de categorías y modelos de caracterización
- Clasificación. Asignación de resultados a las categorías de impacto
- Caracterización. Contribución potencial de cada elemento del indicador a los efectos ambientales
- Normalización. Cuantificación del valor de los resultados del indicador de categoría con respecto a la información de referencia

FASE 4: INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

La fase de interpretación de los resultados de la huella hídrica debe incluir lo siguiente (ISO 14.046, 2014):

- "Identificación de las cuestiones significativas basadas en los resultados de la evaluación de la huella hídrica, por ejemplo: procesos con una contribución significativa al cálculo de las huellas del agua, mecanismos ambientales principalmente afectados, flujos elementales que tienen la mayor contribución a los resultados de la evaluación de la huella hídrica"
- "Evaluación que considera las verificaciones de los análisis de integridad, sensibilidad y coherencia"
- "Consideraciones de aspectos geográficos y temporales"
- "Conclusiones de la evaluación de la huella hídrica"
- "Limitaciones de la evaluación de la huella hídrica"
- "Evaluación cualitativa y/o cuantitativa de la incertidumbre"
- "Consideraciones del análisis de sensibilidad para proporcionar rangos acerca de los resultados informados"

Capítulo 3: Cuantificación de la huella hídrica en la UPM

3. CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN LA UPM

Una vez conocida la metodología a aplicar en una organización para incorporar el indicador HH y habiendo marcado los objetivos y el alcance del proyecto, procedemos a realizar la cuantificación de HH, Fase 2 de la metodología (Análisis del inventario de la huella hídrica) marcada por Hoekstra et al (2011) y la Norma ISO 14.046 (2015). Para ello establecemos una seria de puntos que delimitarán el cálculo de la huella hídrica:

- Ámbito de estudio
- Alcance y enfoque del cálculo
- Flujos elementales (flujos elementales, fuentes y focos de consumo y estudios de cuantificación de especies vegetales)
- Análisis del inventario
- Bases de datos (Datos considerados, calidad y exclusiones)
- Cálculo de la huella hídrica (Cuantificación de consumos y cuantificación de la huella hídrica en la UPM)
- Elaboración de un informe de cuantificación (Anexo IV)

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

La Universidad Politécnica de Madrid es la mayor universidad tecnológica española y una institución europea de referencia. Cuenta con una estructura diferenciada en centros y Campus universitarios, a efecto de docencia, Institutos Universitarios de Investigación y Centros de Investigación (Desarrollo e innovación I+D+i) o servicios administrativos, culturales y deportivos (UPM, 2014).

El Parque Científico y Tecnológico (Campus Tecno-Getafe) junto con la colaboración de empresas públicas y privadas es un elemento fundamental en las actividades de I+D+i (UPM, 2019b).

Entre ellos, destacan dos Campus de Excelencia Internacional reconocidos, el Campus de Montegancedo, orientado a la innovación tecnológica internacional y el Campus Moncloa, cuyo objetivo es ser transformado en un campus sostenible que permita ser referente en investigación, formación e innovación (UPM, 2019b).

La UPM trabaja en la aplicación de soluciones innovadoras aplicadas a los principales retos de desarrollo y sostenibilidad global, a través de su actividad investigadora y la formación de profesionales altamente cualificados y competitivos (UPM, 2014).

Ubicada en la Comunidad de Madrid, ofrece un excelente entorno científico e intelectual, cubriendo todas las áreas de la Ingeniería, Arquitectura, Ciencias del Deporte y el Diseño de Moda (UPM, 2014), dividida en cinco Campus Universitarios (UPM, 2019b):

- **Campus de Ciudad Universitaria**: Situado en el distrito de Aravaca-Moncloa en el extremo noroeste de la ciudad de Madrid.

- **Campus Sur:** Se encuentra en la zona Sur-Este del término municipal de la Ciudad de Madrid, en el distrito de Vallecas.
- **Campus Madrid Ciudad:** Conformado por las Escuelas que se encuentran en distintas zonas del centro de la ciudad de Madrid.
- **Campus Parque Tecno-Getafe**: Localizado en el municipio de Getafe.
- **Campus de Montegancedo:** Este Campus está ubicado en el Municipio de Pozuelo de Alarcón en un entorno natural de encinas y monte bajo.

Todos ellos se encuentran subdivididos en Escuelas y Facultades, Departamentos e Institutos Universitarios de Investigación y Centros de Investigación, Desarrollo e innovación (I+D+i), de la siguiente manera (UPM, 2019b):

CAMPUS CIUDAD UNIVERSITARIA: Ubicado en el Distrito Aravaca-Moncloa, se conforma de diversos centros, Escuelas Técnicas Superiores de Ingeniería (E.T.S.I.), Facultades y Servicios de Administración de la comunidad universitaria.

- 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
- Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (INEF)
- Rectorado (Edificios A y B)
- Instituto de Sistemas Optoelectrónicos y Microtecnología (ISOM)
- Instituto de Energía Solar
- Instituto de Ciencias de la Educación (ICE)

CAMPUS SUR: Situado al Sur Este de la Ciudad de Madrid, forma parte del Parque Científico y Tecnológico de la UPM.

- E.T.S. de Ingeniería de Sistemas Informáticos
- E.T.S. de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación
- E.T.S. de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía
- Instituto de Investigación del Automóvil (INSIA)
- Centro Superior de Diseño de Moda de Madrid (centro adscrito a la UPM)
- Centro de Investigación en Tecnologías Sw y Sistemas Multimedia para la Sostenibilidad

CAMPUS MADRID-CIUDAD: Este campus lo conforman cuatro Escuelas situadas en diferentes zonas de la capital.

- E.T.S. de Ingeniería Civil
- E.T.S. de Ingeniería y Diseño Industrial
- E.T.S. de Ingenieros de Minas y Energía
- E.T.S. de Ingenieros Industriales

- Instituto de Fusión Nuclear

CAMPUS MONTEGANCEDO: Forma el Parque Científico y Tecnológico de la UPM junto con el Campus Sur y el Campus Tecno-Getafe. Se encuentra en el Municipio de Pozuelo de Alarcón (CL Badajoz, 0348. Pozuelo de Alarcón, MA.). Sobre este Campus no tenemos referencias de cuál es el origen de nuestros datos, por lo que no haremos diferenciación entre todos los centros y laboratorios que conforman el Campus.

- ETSI Informáticos
- Centro de Investigación en Biotecnología y Genómica de Plantas (CBGP)
- Vivero de Plantas
- Centro de Tecnología Biomédica (CTB) y Center for Open Middeleware (COM)
- Centro de Investigación y desarrollo aeroespacial (CIDA)
- Instituto de Microgravedad "Ignacio da Riva"
- Centro de Operaciones y soporte a usuarios de la estación espacial internacional (E-USOC)
- Centro de Apoyo a la Innovación Tecnológica (CAIT) y el Vivero de Empresas
- Centro de Domótica Integral (CeDInt) y Centro de Supercomputación y visualización de Madrid (CeSVIMa)
- Madrid Institute for Advanced Studies in software development technologies (IMDEA)
- Edificios de Servicios generales e instalaciones comunes

CAMPUS PARQUE TECNO-GETAFE: Tercer Campus en conformar el Parque científico y Tecnológico de la UPM, localizado en el Municipio de Getafe (CL Eric Kandel, 001. Getafe, MA.) Como en el caso anterior, debido a la falta de datos de partida, no se hará diferenciación entre centros y a la hora de realizar los cálculos de huella hídrica.

- Centro Tecnológico de Minas
- Laboratorio Oficial José María de Madariaga (LOM)
- Laboratorio Oficial para Ensayo de Materiales de Construcción (LOEMCO)
- Fundación Gómez Pardo
- Centro Tecnológico Industrial
- Laboratorio Central Oficial de Electrotécnica: Edificio baja tensión, Edificio Vehículos y Edificio alta tensión
- Centro de tecnología de Silicio Solar (CENTASIL)
- Centro tecnológico de Aeronáutica
- Laboratorio de Materiales Avanzados (LMA)
- Laboratorio de Ensayos Fluido-dinámicos (LEF)
- Edificios de Servicios generales e instalaciones comunes

Para poder establecer de manera correcta la cuantificación de HH es necesario definir perfectamente los límites operacionales de nuestra área de estudio, siendo estos:

- **Límites físicos**: Acotan la superficie de estudio de una manera física.
- **Límites organizativos**: Acotan la estructura organizativa del entorno de estudio en función de cómo se estructuran las organizaciones.
- **Límites socioeconómicos**: Acotan la estructura socioeconómica de las organizaciones.

3.1.1 LÍMITES FÍSICOS

Debemos realizar la delimitación física del área de trabajo para definir la magnitud del proyecto. Para ello procedemos a la localización de cada centro, facultad y escuela presentes en nuestro estudio y asociados a los diferentes Campus de la UPM.

Mediante la información proporcionada por el Rectorado de la UPM (facturas de consumo hídrico asociado a cada escuela o centro y superficies edificadas en m^2), los datos accesibles en la Sede Electrónica de Catastro (registro y fichas catastrales, superficie de la parcela, construidas, edificadas y excluidas en m^2,), y otros datos necesarios obtenidos a través del Programa ArcMap 10.5 (superficies verdes y arboladas), definimos las características y localización de los puntos de estudio en este proyecto.

A continuación, encontramos un resumen de los datos de interés para el proyecto, recogidos en las páginas siguientes en forma de tablas referidas a cada uno de los campus y utilizados posteriormente en la cuantificación de la huella hídrica. Siendo estos:

- **Nombre del inmueble**: Diferenciados por los registros de las facturas del Canal de Isabel II, estos son nombres de las diferentes escuelas o centros con registro de consumo de agua. Van asociados a una parcela catastral correspondiente a la Sede electrónica del Catastro. Aquellos inmuebles que cuentan con un asterisco (*) tienen asociado más de una referencia catastral (Anexo III).
- **Centro**s: Parte de los inmuebles que forman la UPM están compuestos por diferentes centros o escuelas, cada uno de ellos desarrolla diferentes actividades. Es por esto que en una misma parcela catastral podemos encontrar diferentes escuelas docentes universitarios, centros de investigación o institutos científicos adicionales a la actividad principal, las cuales forman parte de un mismo edificio. Este tipo de escuelas se denominan multiorgánicas. Revisando las facturas del canal de Isabel II y revisando la información cedida por el Rectorado, dentro de nuestro estudio podemos encontrar algunas de estas parcelas que cuentan con más de una escuela o centro, siendo éstas:
    - La Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas (E.T.S.I. A.A.B.), en ciudad universitaria. Recoge registro hídrico para la propia E.T.S.I. A.A.B., E.T.S.I Agrónomos y E.U.I.T. Agrícola.
    - La Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural (E.T.S.I. M.F.M.N.), registra datos para E.T.S.I. Montes y la E.U.I.T. Forestal.

  - La Escuela Técnica Superior de Ingenieros informáticos (E.T.S.I. Informática y sistemas informáticos), en Campus Sur, se encuentra dentro de una misma parcela con la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación y sistemas de telecomunicación.
  - El Centro de Investigación en Tecnologías Software y Sistemas Multimedia para la Sostenibilidad (CITSEM), compuesto por el edificio que incluye la biblioteca de Campus Sur y el Edificio La Arboleda.
  - El centro de Diseño de Moda y ETSI Industriales, en Campus Madrid Ciudad.
  - El Campus de Montegancedo.
  - El Campus Tenco-Getafe.

- **Actividad:** Cada facultad y centro de estudio tiene una finalidad diferente, dentro de la universidad encontramos edificios con funciones docentes, de investigación, servicios administrativos y servicios de innovación. Esta información se obtuvo a través del "Informe de cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero. Huella de carbono de la UPM 2016. Basado en el TFM "Indicadores de Sostenibilidad en la Universidad. Cuantificación de la Huella de Carbono de la UPM 2016". Realizado por el alumno Jonathan Paul Ortiz Cando, en colaboración con el equipo huella de carbono Montes-UPM (Ortiz, 2016).
- **Superficie parcela:** Define la superficie en m^2 adscrita al perímetro de cada una de las parcelas registradas en la Sede catastral.
- **Superficie construida en planta:** Se refiere superficie en planta de los edificios (m^2). Dato obtenido gracias a la herramienta ArcMap 10.5.
- **Superficie construida:** Cuenta con toda extensión construida sin diferenciaciones, contando con que los edificios pueden tener varios pisos construidos, existiendo aparcamientos, depósitos, almacenes, entre otras instalaciones que no son de nuestro interés a la hora de realizar los cálculos. Estos valores son obtenidos del catastro virtual. Comprobamos que estos valores se aproximan a los registrados en los documentos cedidos por el Rectorado y que mediante el cálculo y aplicación de la superficie edificada podremos acercarnos más a la realidad en la cuantificación de la huella hídrica.
- **Superficie edificada**: Obtenidas a partir de los datos del catastro el registro catastral, nos referimos a todo espacio construido y de uso común para los integrantes de los inmuebles (destinados a la enseñanza, áreas comunes…), teniendo en cuenta los diferentes pisos que contienen los edificios y excluyendo aquellas áreas construidas (diferentes a edificios) y cuya finalidad no corresponde a las actividades anteriormente descritas, que serán denominadas exclusiones. Su extensión es igual a la diferencia entre el área construido y las exclusiones. Estos datos serán utilizados a la hora de calcular la huella gris, en referencia a la limpieza de los diferentes centros, facultades y escuelas.
- **Superficie excluida:** Conocidas por el Catastro, y anteriormente descritas y denominadas "**Exclusiones"**, encontramos como estos espacios: aparcamientos, soportales, porches, almacenes, depósitos, áreas deportivas y obras urbanas interiores. Se llevan a cabo estas diferenciaciones debido a que,

para el cálculo de huella gris, no consideraremos estas superficies como zonas sobre las que se realizan servicios de limpieza.

- **Superficie arbolada**: Se refiere a toda extensión (m^2) con presencia de especies vegetales de carácter arbóreo. Su cálculo se obtuvo a través de las herramientas pertenecientes al software ArcMap 10.5 y la información contenida en las ortofotos PNOA (Plan Nacional de Ortografía Aérea) accesibles en el Centro de Descaras CNIG (Centro Nacional de Información Geográfica) correspondientes a nuestras parcelas catastrales. Estos datos serán utilizados a la hora de calcular la huella verde, concretamente, el cálculo de consumo de las especies arbóreas contenidas en éstas áreas.

Los planos elaborados y las fichas catastrales pueden ser consultados en el Anexo II (Mapas de los límites físicos por campus y escuelas, facultades y centros UPM) y Anexo III (Fichas catastrales de las escuelas y centros UPM referentes al proyecto, Sede virtual del Catastro, 2019). Existe más información accesible en la web: https://www.sedecatastro.gob.es/.

Existen otras Instalaciones pertenecientes a la UPM, destinadas a servicios y actividades propias de la universidad que se encuentran fuera de los limites antes marcados, de Campus Universitarios, o incluso pertenecientes a ellos de los cuales no contamos con información de utilidad a la hora de realizar la cuantificación de HH, por lo que estas edificaciones no se incluyen en las Tablas a exponer.

➢ CAMPUS DE CIUDAD UNIVERSITARIA

Tabla 1: Superficies de Escuelas de Ingeniería y Centros de Investigación del Campus Ciudad universitaria de la UPM.

Nombre del inmueble	Centros	Actividad	Superficie parcela (m2)	Superficie construida en planta (m2)	Superficie construida (m2)	Superficie edificada (m2)	Superficie excluida (m2)	Superficie arbolada (m2)	Exclusiones
E.T.S. de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas (E.T.S.I. A.A.B.)	ETSIA (ETSI Agrónomos), EUITA (Escuela Universitaria de Ingenieria Agrícola) y Ciencias Agracias y Bioeconomía.	Docencia e investigación	59.995,00	13.485,90	44.405,00	26.001,00	18.404,00	16.450,68	Aparcamiento e industrial
Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Mediambientales (CEIGRAM)	Campo de prácticas ETSIAAB	Investigación e innovación	87.437,00	4.731,12	9.189,00	4.822,00	4.367,00	1.696,00	Aparcamiento, almacén y deportivo
E.T.S. de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural (E.T.S.I. M.F.M.N.)	ETSI Montes, EUIT Forestal y GITA (Grado en Ingeniería de Técnicas Ambientales)	Docencia e investigación	69.896,00	11.326,31	120.886,00	88.060,69	32.825,31	58.569,69	Aparcamiento, deportivo, almacén, depósito y porches
E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos		Docencia e investigación	64.888,00	19.220,46	86.783,00	46.161,00	40.622,00	24.314,00	Aparcamiento, deportivo, soportal y obra urbana interior
Rectorado		Servicios Administrativos	13.775,00	4.407,00	18.657,00	7.313,00	11.344,00	3.398,00	Aparcamiento, obra urbana interior y soportal
E.T.S. de Ingenieros de Telecomunicación	ETSIT, Instituto de Energía Solar e ISOM (Instituto de Sistemas Opto electrónicos) y Micro tecnología	Docencia e investigación	52.700,00	16.480,26	48.957,35	21.264,35	27.693,00	13.864,00	Almacén y porche
E.T.S. de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio	ETSI Aeronáuticos y EUIT Aeronáutica	Docencia e investigación	34.687,00	11.589,86	37.118,00	23.036,00	14.082,00	12.281,00	Aparcamiento y porches
E.T.S. de Arquitectura		Docencia e investigación	56.593,00	11.179,00	49.496,00	25.053,55	24.442,45	17.610,90	Aparcamiento y porches
E.T.S. de Ingenieros Navales		Docencia e investigación	21.227,00	4.642,50	17.502,00	16.481,00	1.021,00	10.001,00	Almacén y deportivo
Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (INEF)		Docencia	142.212,00	30.556,44	110.999,00	48.768,00	62.231,00	41.172,64	Aparcamiento, deportivo y almacén

Fuente: Elaboración propia (2019)

➢ CAMPUS SUR

Tabla 2: Superficies de Escuelas de Ingeniería y Centros de Investigación del Campus Sur de la UPM.

Nombre del inmueble	Centros	Actividad	Superficie parcela (m2)	Superficie construida en planta (m2)	Superficie construida (m2)	Superficie edificada (m2)	Superficie excluida (m2)	Superficie arbolada (m2)	Exclusiones
Instituto de Investigación del Automóvil (INSIA)		Investigación	21.153,00	4.421,36	13.021,00	5.708,00	7.313,00	1.875,67	Aparcamiento y obra urbana interior
E.T.S. de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación y E.T.S. de Ingeniería de Sistemas Informáticos	E.T.S.I. Sistemas informáticos, E.T.S. Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación y EEES (Espacio Europeo de Educación Superior)	Docencia e investigación	32.286,00	16.103,00	40.644,00	40.134,00	510,00	12.719,00	Soportal y almacén
E.T.S. de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía	Instituto Geográfico y Catastral	Docencia e investigación	14.486,00	3.225,34	9.646,00	8.882,00	764,00	5.104,61	Aparcamiento y almacén
Centro de Investigación en Tecnologías Software y Sistemas Multimedia para la Sostenibilidad (CITSEM)	Biblioteca, Centro Láser (UPM) y Centro de Empresa "La Arboleda"	Investigación	21.855,00	5.924,18	12.119,00	9.670,00	2.449,00	9.731,94	Aparcamiento
Polideportivo C. Sur	Instalaciones generales compartidas para todos los centros	Instalaciones de Servicios Administrativos y deportivos	12.344,00	3.190,81	4.640,00	4.640,00	-	3.250,44	-

Fuente: Elaboración propia (2019)

➢ CAMPUS DE MADRID CIUDAD

Tabla 3: Superficies de Escuelas de Ingeniería del Campus Madrid Ciudad de la UPM

Nombre del inmueble	Centros	Actividad	Superficie parcela (m2)	Superficie construida en planta (m2)	Superficie construida (m2)	Superficie edificada (m2)	Superficie excluida (m2)	Superficie arbolada (m2)	Exclusiones
E.T.S. de Ingenieros Industriales	ETSII, ETSI Química y Centro de Fusión Nuclear	Docencia e investigación	40.356,00	14.589,00	51.535,00	51.535,00	16.238,00	9.529,00	Aparcamiento, deportortivo y almacén
E.T.S. de Ingeniería y Diseño Industrial		Docencia e investigación	7.747,00	6.039,00	24.959,00	24.817,00	1.850,00	-	Obra urbana interior y deportivo
E.T.S. de Ingenieros de Minas y Energía		Docencia e investigación	7.344,00	4.819,95	21.835,36	21.835,36	-	620,61	-
E.T.S. de Ingeniería Civil		Docencia e investigación	8.546,00	1.951,00	10.793,56	9.725,56	4.197,00	1.115,00	Almacén

Fuente: Elaboración propia (2019)

➢ CAMPUS MONTEGANCEDO

Tabla 4: Superficies de Campus de Montegancedo, UPM.

Nombre del inmueble	Centros	Actividad	Superficie parcela (m2)	Superficie construida en planta (m2)	Superficie construida (m2)	Superficie edificada (m2)	Superficie excluida (m2)	Superficie arbolada (m2)	Exclusiones
Campus de Montegancedo	CBGP (Centro de Investigación en Biotecnología y Genómica de Plantas), Centro de Tecnología Biomédica	Investigación	443.323,00	35.378,00	69.728,00	39.728,00	19.031,00	173.932,00	Aparcamiento, deportivo, almacén y soportal

Fuente: Elaboración propia (Año 2019)

- **CAMPUS PARQUE TECNO-GETAFE**

Tabla 5: Superficies de Campus Parque Tecno-Getafe, UPM.

Nombre del inmueble	Centros	Actividad	Superficie parcela (m2)	Superficie construida en planta (m2)	Superficie construida (m2)	Superficie edificada (m2)	Superficie excluida (m2)	Superficie arbolada (m2)	Exclusiones
Campus Tecno-Getafe	-	Investigación, desarrollo tecnológico e innovación	102.575,00	87.333,00	40.728,00	28.726,00	3.440,00	-	Aparcamiento y almacén

Fuente: Elaboración propia (2019)

3.1.2 LÍMITES ORGANIZATIVOS

En este apartado veremos la estructura organizativa de la Universidad Politécnica de Madrid, describiendo el conjunto de actividades desarrolladas por la organización, incluyendo la forma de organizar, dividir y coordinarlas y las relaciones funcionales que existen con los miembros de la organización que las desempeñan. En este apartado no se incluirán aquellas labores llevadas a cabo por empresas contratadas por la organización (Ordoñez, 2016).

Los Campus están divididos en escuelas, facultades y centros, que éstos a su vez, se subdividen en Departamentos, siendo estos encargados de coordinar las actividades docentes en una o varias áreas del conocimiento, así como regular la labor del personal docente e investigador (Ortiz, 2016).

Según el ámbito en el que desempeñan su actividad, se pueden distinguir dos tipos de departamentos en la UPM (Ortiz, 2016):

- **Departamentos inter-centros:** Su actividad se desarrollan en varias escuelas o centros donde se coordinan áreas de conocimiento transversales (Ortiz, 2016):

- **Lingüística Aplicada a la Ciencia y la Tecnología**: Este departamento con sede en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Comunicación, se encarga de la docencia de lenguas modernas en todos los centros de la UPM.
- **Ingeniería de Organización, Administración de Empresas y Estadística:** Formado por más de 80 profesionales. Su sede se encuentra en la E.T.S.I. Industriales, y da servicio a numerosas Escuelas:
    - E.T.S.I. Aeronáutica y del Espacio
    - E.T.S.I. Industriales
    - E.T.S.I. de Telecomunicación
    - E.T.S.I. de Sistemas Informáticos
    - E.T.S. de Ingeniería y Diseño Industrial
    - E.T.S. de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación
    - E.T.S.I. Informáticos
- **Matemática Aplicada**: Se trata de un departamento de creación reciente, y abarca los departamentos de matemáticas de los siguientes centros:
    - E.U.I.T. Agrícola
    - E.T.S.I. Agrónomos
    - E.T.S. Arquitectura
    - E.T.S. Edificación
    - E.T.S. de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural
- **Matemática Aplicada a las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones:** Tiene su sede en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Informáticos, y está presente en las siguientes Escuelas:
    - E.T.S.I. de Telecomunicación
    - E.T.S. Ingeniería de Sistemas Informáticos
    - E.T.S. de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación

- E.T.S.I. Informáticos

- **Matemáticas del Área Industrial:** Departamento resultado de la fusión de los departamentos de Matemática Aplicada de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial.
- **Matemática e Informática Aplicadas a las Ingenierías Civil y Naval:** Departamento común a los centros de Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio y Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales.
- **Arquitectura, Construcción y Sistemas Oceánicos y Navales (DACSON):** Departamento común a la Escuela Técnica Superior de Edificación y la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales.
- **Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval:** Departamento común a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales y a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio.
- **Construcción y Tecnología Arquitectónicas:** Departamento común a la Escuela Técnica Superior de Arquitectura y la Escuela Técnica Superior de Edificación que consta con más de 50 profesionales dedicados a distintos aspectos del conocimiento de la tecnología de la edificación.

➢ **Departamentos de una Escuela o centro:** Departamentos que pertenecen a una única escuela o centro y suele coordinar áreas de conocimiento específico

- Escuela Técnica Superior de Arquitectura
  - Composición Arquitectónica
  - Estructuras y Física de Edificación
  - Ideación Gráfica Arquitectónica
  - Proyectos Arquitectónicos
  - Urbanística y Ordenación del Territorio
- Escuela Técnica Superior de Edificación
  - Construcciones Arquitectónicas y su Control
  - Tecnología de la Edificación
- Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio
  - Aeronaves y Vehículos Espaciales
  - Matemática Aplicada a la Ingeniería Aeroespacial
  - Materiales y Producción Aeroespacial
  - Mecánica de Fluidos y Propulsión Aeroespacial
  - Sistemas Aeroespaciales, Transporte Aéreo y Aeropuertos
- Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas
  - Biotecnología - Biología Vegetal
  - Economía Agraria, Estadística y Gestión de Empresas
  - Ingeniería Agroforestal
  - Producción Agraria
  - Química y Tecnología de Alimentos.

- Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil
    - Ingeniería Civil: Construcción, Infraestructura y Transporte
    - Ingeniería Civil: Hidráulica y Ordenación del Territorio
- Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural
    - Biotecnología - Biología vegetal
    - Ingeniería y Gestión forestal y Ambiental
    - Sistemas y Recursos Naturales
- Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sistemas Informáticos
    - Inteligencia Artificial
    - Sistemas Informáticos
- Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial
    - Ingeniería Eléctrica, Electrónica Automática y Física Aplicada
    - Ingeniería Mecánica, Química y Diseño Industrial
- Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación
    - Electrónica Física
    - Ingeniería Telemática y Electrónica
    - Teoría de la Señal y Comunicaciones (provisional
- Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
    - Ciencia de Materiales
    - Ingeniería Civil: Construcción
    - Ingeniería Civil: Hidráulica, Energía y Medio Ambiente
    - Ingeniería Civil: Transporte y Territorio
    - Ingeniería y Morfología del Terreno
    - Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras
- Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía
    - Energía y Combustibles
    - Ingeniería Geológica y Minera
- Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación
    - Electrónica Física
    - Ingeniería de Sistemas Telemáticos
    - Ingeniería Electrónica
    - Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones
    - Tecnología Fotónica y Bioingeniería
- Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía
    - Ingeniería Topográfica y Cartografía
- Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
    - Automática, Ingeniería Eléctrica y Electrónica e Informática Industrial

- Física Aplicada e Ingeniería de Materiales
- Ingeniería Energética
- Ingeniería Mecánica
- Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente

▪ Escuela Técnica Superior de Ingenieros Informáticos

- Arquitectura y Tecnología de Sistemas Informáticos
- Inteligencia Artificial
- Lenguajes y Sistemas Informáticos e Ingeniería de Software

▪ Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales

- Ciencia de Materiales
- Ingeniería Energética
- Mecánica de Fluidos y Propulsión Aeroespacial

▪ Escuela Universitaria Ingeniera Técnica Agrícola

- Ciencia y Tecnología Aplicadas a la Ingeniería Técnica Agrícola

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

- Ciencias Sociales de la Actividad Física, del Deporte y del Ocio
- Deportes
- Salud y Rendimiento Humano

▪ Instituto de Ciencias de la Educación ICE

Para el desarrollo del proyecto, se ha utilizado la información global de la Universidad (presente en página web: www.upm.es) y en la información facilitada por el Rectorado (facturas de consumo de agua del Canal de Isabel II), las facturas de consumo de agua en los diferentes contadores presentes en las escuelas y centros. Esto trae como consecuencia no poder aproximarnos de manera muy ajustada al indicador, debido a que los datos de partida, en algunos casos, no especifican aquellos centros a los que corresponden y, en ningún caso, a que departamentos. Viéndonos obligados a realizar la cuantificación del indicador de sostenibilidad de manera muy generalizada, debemos dejar sin especificar o fuera de la cuantificación los siguientes centros e institutos:

CAMPUS CIUDAD UNIVERSITARIA: Sin cuantificar

▪ Instituto de Sistemas Optoelectrónicos y Microtecnología (ISOM)
▪ Instituto de Energía Solar
▪ Instituto de Ciencias de la Educación (ICE)

CAMPUS SUR: Sin cuantificar

▪ Centro Superior de Diseño de Moda de Madrid (centro adscrito a la UPM)

CAMPUS MADRID-CIUDAD: Sin cuantificar

▪ Instituto de Fusión Nuclear

CAMPUS MONTEGANCEDO: Sin especificar

CAMPUS PARQUE TECNO-GETAFE: Sin especificar

3.1.3 LIMITES SOCIOECONÓMICOS

El desarrollo de este proyecto se ve incluido en el ámbito presupuestario de la UPM, presupuestos que incluyen todos aquellos gastos que suponga la actividad docente e investigadora de las Escuelas, Facultades, Departamentos, Institutos Universitarios de Investigación, Centros de I+D+i y otros centros y estructuras organizativas de la UPM (Ortiz, 2016), incluyendo el Equipo Técnico RES2+U coordinador del proyecto.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es conocer la población que forma parte de la Universidad Politécnica de Madrid para efectuar cálculos de ratios de consumo por persona, es decir, la HH relativa. Para ello, el Rectorado nos ha facilitado el número de personas que integran cada Escuela de la UPM en función del tipo de actividad que desempeñan en ellas.

Podemos encontrar:

- **PDI**: Personal docente e investigador.
- **PAS**: Personal de administración y servicio.
- **Alumnos**: Estudiantes de las titulaciones impartidas en los diferentes Centros.
- **Otros**: Trabajadores temporales de los centros de investigación, becarios, otras personas que no pueden identificarse como personal de UPM, visitantes puntuales, entre otros.

En las tablas siguientes quedan reflejados el número de PDI, PAS y Alumnos registrados en cada Escuela durante el curso 2017-2018, excluimos el número de "Otros" por no tener un registro exacto y continuado en el periodo de tiempo establecido en el estudio. Además, existen algunos de los centros definidos en nuestro trabajo de los que no conocemos esta información. Consideramos que todas las categorías de personas anteriormente definidas contribuyen de manera equivalente al consumo de agua, y por tanto a la huella hídrica. Expresamos los datos para los años lectivos 2016-2017 y 2017-2018 de manera independiente.

Tabla 6: Población de Escuelas de Ingeniería y Centros de Investigación del Campus Ciudad universitaria de la UPM. Curso 2017-2018.

		Alumnos		PAS		PDI		Total personas	
Campus	**Escuela/Centro**	**2017**	**2018**	**2017**	**2018**	**2017**	**2018**	**2017**	**2018**
Ciudad universitaria Año 2017: 25.841 Año 2018: 24.047	E.T.S.I Agronómica (ETSI A.A.B.)	3.053	2.643	207	201	284	289	3.544	3.133
	CEIGRAM	-	-	-	-	-	-	-	-
	E.T.S.I Montes (E.T.S.I. M.F.M.N.)	1.524	1.331	111	102	143	139	1.778	1.572
	E.T.S.I Caminos, Canales y Puertos	2.771	2.512	96	88	236	241	3.103	2.841
	Rectorado	597	588	442	420	-	-	1.039	1.008
	E.T.S.I Telecomunicación	3.077	3.060	106	99	245	247	3.428	3.406
	E.T.S.I Aeronáutica y del Espacio	3.735	3.812	135	135	238	241	4.108	4.188
	E.T.S. Arquitectura	5.735	4.989	84	89	365	367	6.184	5.445
	E.T.S.I Navales	902	766	50	47	62	59	1.014	872
	INEF	1.510	1.455	46	48	87	79	1.643	1.582

Fuente: Elaboración propia (2019)

Tabla 7: Población de Escuelas de Ingeniería y Centros de Investigación del Campus Sur de la UPM.

		Alumnos		PAS		PDI		Total personas	
Campus	**Escuela/Centro**	**2017**	**2018**	**2017**	**2018**	**2017**	**2018**	**2017**	**2018**
Campus Sur Año 2017: 4.545 Año 2018: 4.312	INSIA	-	-	9	7	-	-	9	7
	E.T.S.I Sist.s de Telecomunicación	1.875	1.769	59	60	136	131	2.070	1.960
	E.T.S.I. Sist. Informáticos	1.897	1.867	53	50	108	106	2.058	2.023
	E.T.S.I Topografía, Geodesia y Cartografía	325	240	33	33	50	49	408	322
	CITSEM	-	-	1	-	-	-	-	-
	Polideportivo C. Sur	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia (2019)

Tabla 8: Población de Escuelas de Ingeniería y Centros del Campus Madrid Ciudad, Montegancedo, Tecno-Getafe y total UPM

		Alumnos		PAS		PDI		Total personas	
Campus	**Escuela/Centro**	**2017**	**2018**	**2017**	**2018**	**2017**	**2018**	**2017**	**2018**
Madrid ciudad Año 2017: 14.823 Año 2018: 14.472	E.T.S. Ingenieros Industriales	5.204	5.062	128	131	296	297	5.628	5.490
	E.T.S. Ingeniería y Diseño Industrial	3.002	3.107	68	71	150	152	3.220	3.330
	E.T.S. Ingenieros de Minas y Energía	1.952	1.812	85	88	112	111	2.149	2.011
	E.T.S. Ingeniería Civil	1.266	1.091	45	41	84	78	1.395	1.210
Campus Montegancedo Año 2017: 2.431 y Año 2018: 2.431		2.180	2.182	74	77	177	172	2.431	2.431
Campus tecno-Getafe		-	-	-	-	-	-	-	-
Total UPM Año 2017: 45.209 y Año 2018: 42.831		**40.605**	**38.286**	**1.832**	**1.787**	**2.773**	**2.758**	**45.209**	**42.831**

Fuente: Elaboración propia (2019)

3.2. ALCANCE Y ENFOQUE DEL CÁLCULO

Se llevará a cabo el enfoque de control. La UPM se encargará de la evaluación de aquellos impactos ambientales potenciales relacionados con los recursos hídricos. Este enfoque se ajusta a los objetivos del proyecto y al Plan de Sostenibilidad Ambiental y a las estrategias de sostenibilidad de la entidad, por lo que su aplicación será una decisión acertada.

Una vez descrita la universidad y sus límites (físicos, organizativos y socioeconómicos) debemos tenerlos en cuenta a la hora de cuantificar la HH de la UPM. Serán de interés todos ellos; desde los valores de las superficies de los centros, así como las actividades desarrolladas en ellos, hasta el número de personas presentes en cada uno, para determinar los límites operacionales y organizacionales y definir los flujos elementales de los consumos de agua.

Es importante considerar que el análisis del inventario será directo (contabilizando los consumos y los resultados derivados de las actividades dentro de los límites establecidos por la organización), siendo indicadas las exclusiones tomadas.

3.2.1 FUENTES DE SUMINISTRO Y CONSUMO HÍDRICO

Debido a las dimensiones de la Universidad, es complejo poder tener en cuenta cada fuente de suministro y consumo de agua y asociarlo a los centros, escuelas y facultades y a las actividades llevadas a cabo en ellos. En aquellas infraestructuras destinadas a la investigación y experimentación se desarrollan labores muy diferentes a las destinadas a docencia y esto se puede ver reflejado en los consumos de agua y en la cuantificación de los componentes de la huella hídrica.

Para definir las fuentes de consumo nos hemos guiado en el Proyecto Fin de Grado de Daniel Ordoñez Sienes, “Huella hídrica en las organizaciones. Caso de la ETSI de Montes, Forestal y del Medio Natural (2012-2014)” adaptándonos a los datos de partida de nuestro estudio.

Por un lado, contamos con las fuentes de suministro de agua y por otro, con las fuentes de consumo. En función de a que se destine el agua, influirá en un tipo de huella hídrica o en otro. Esquematizamos estas relaciones en la siguiente tabla:

Tabla 9: Fuentes de suministro y consumo hídrico en la UPM.

Suministro	Consumo	Tipo de Huella
Canal de Isabel II	Aseos Servicio de limpieza	HH azul y HH gris
Precipitaciones (lluvia, nieve, granizo) Canal de Isabel II (Riego)	Organismos vegetales	HH verde

Fuente: Elaboración propia. Año 2019

Debemos tener en cuenta que la parte de consumo registrado destinada a riego, forma parte de la huella verde, sin embargo, en nuestro proyecto y por falta de información suficiente este volumen de agua se incluirá dentro de la huella azul, ya que desconocemos que contadores tienen como destino del agua el riego de zonas verdes.

3.2.2 LÍMITES ORGANIZACIONALES DEL INVENTARIO

Conocer el consumo directo del agua en los diferentes centros de la UPM nos ayuda a establecer un control y unas pautas de mejora sobre estos consumos que nos permitan ajustarnos al objetivo del proyecto.

Gracias a los datos facilitados por el Rectorado podemos calcular, mediante las facturas del Canal de Isabel II, los gastos directos producidos en los diferentes contadores. Aun contando con que estos valores son precisos, la dimensión del estudio es muy amplia, por lo que desconocemos la localización exacta de los contadores, así como el número de centros, escuelas y/o departamentos que intervienen en esta contabilidad, por lo tanto, también las actividades desarrolladas por cada centro y el destino de agua en cada uno de ellos, así como la estimación rigurosa de su superficie, o el número de personas que hacen uso del agua, todo ello puede llevar a errores en los resultados finales.

Debido a que la principal fuente de información son las facturas de consumo hídrico del Canal de Isabel II, en las cuales aparece la dirección del suministro al que pertenecen, se obtuvieron de éstas los límites físicos de la UPM ajustados a este estudio. Obtener esta información de esta fuente produce varios problemas, pues la información complementaria (superficies, personal) suministrada por el Rectorado no se ciñe a la información de partida recogida por el Canal de Isabel II. Encontrándonos situaciones como las anteriormente mencionadas, parcelas que cuentan con varios edificios independientes, edificios compuestos por varias escuelas o centros diferenciadas en las facturas, pero no en los datos del Rectorado, centros donde no se registra personal, campus (Montegancedo y Tecno-Getafe) de los que no tenemos información precisa (por ejemplo, los contadores de registro de donde se obtiene la información o el personal que se incluye).

3.3. ANÁLISIS DEL INVENTARIO

En este apartado detallaremos los datos que intervienen en nuestros cálculos, su aplicación y obtención de datos y las limitaciones presentes en el estudio a la hora de desarrollar la metodología del cálculo de HH. Sin olvidar que se trata de un inventario directo.

3.3.1 BASE DE DATOS

Para la cuantificación de HH nos disponemos a hacer cálculos numéricos directos con los datos proporcionados por la UPM (facturas del Canal de Isabel II, datos de superficies edificadas y personal UPM), disminuyendo de esta manera los posibles errores de cálculo. Los datos sobre consumo hídrico a utilizar provienen de la lectura directa de los contadores de los centros, por lo que consideramos sus valores fiables, sin embargo, para realizar los cálculos de las huellas gris y verde principalmente, se hará uso de datos ponderados, estadísticos, o calculados por un criterio propio, pudiendo inducir de esta manera a errores de cálculo posteriormente.

Así mismo, existe una proporción de datos que, por la dimensión del trabajo y el elevado nivel de detalle que supone la cuantificación de estos, quedarán directamente excluidos del análisis y de la metodología. Como ya se indicó anteriormente, no conocemos el destino de consumo de agua en cada uno de los centros y departamentos, así como el consumo puntual del recurso debido a situaciones excepcionales de cada centro o el número de trabajadores temporales, entre otros.

A continuación, se muestra un resumen, en forma de tabla, que recoge información sobre los datos a emplear en nuestro estudio:

Tabla 10: Tipo de datos y su fuente para la cuantificación de la HH

Tipo de Huella	Tipo de dato (ISO 14.046)	Fuente
Azul	Primarios	Facturas facilitadas por la Subdirección de Asuntos Económicos, Patrimonio y Medio Ambiente
	Secundarios (estimados)	Análisis de datos de huella gris
Verde	Primarios	Datos meteorológicos de AEMET Análisis de datos del inventario vegetal por Campus (Rodrigo, 2019)
	Secundarios (estimados)	Análisis de datos de cálculo de HH (Ordoñez, 2014)
Gris	Primarios	Facturas facilitadas por la Subdirección de Asuntos Económicos, Patrimonio y Medio Ambiente
	Secundarios (estadísticos y estimados)	Instituto Nacional de Estadística Análisis de datos de cálculo de HH (Ordoñez, 2014)

Fuente: Elaboración propia (2019)

A la hora de realizar los cálculos relacionados con las **huellas hídricas azul y gris**, vinculadas principalmente a los consumos internos de agua en las infraestructuras, las fuentes de los datos disponibles fueron:

- **Consumos hídricos anuales:** Datos de consumos (en m^3) obtenidos de las facturas del Canal de Isabel II aportados por la organización para los dos años de estudio, desde diciembre de 2016 hasta diciembre de 2018. Es importante tener en cuenta que dentro de estos consumos se encuentran aquellos destinados al riego de los jardines, dato que forma parte de la huella verde, pero que al no tener localizados los contadores correspondientes.
- **Consumos de agua en el uso de aseos:** Estos se obtuvieron por estimación gracias al INE. Contando con la última actualización encontrada en la web, Estadística sobre el Suministro y Saneamiento del agua del año 2016, la cual nos permite conocer el consumo hídrico de una persona al día al hacer uso de las cisternas y del lavabo dentro de un hogar tipo. Estos datos ratificados con los obtenidos a partir de la Guía Técnica sobre Saneamiento, agua y salud No. 9 de la OMS, mayo 2009, sobre la mínima cantidad de agua utilizada por los estudiantes en las escuelas y el número de personas (dato proporcionado por la UPM) en los diferentes centros, estimamos el valor de cuánta agua azul se transforma en gris por el uso en los aseos en cada una de las escuelas, considerando que al menos cada persona fue una vez al servicio (tirando de la cadena y lavándose las manos) todos los días docentes que la UPM abrió como "días de docencia" en los cursos 2017 y 2018 según el calendario escolar publicado en la web de la universidad.. Estos valores son expresados para los dos años de estudio de manera independiente, ya que el valor estadístico es el mismo pero el número de personas/año varió del año 2017 al 2018,
- **Consumos de agua de limpieza:** Para su cálculo, hacemos uso de los datos procedentes del PFG sobre huella hídrica en la ETSI Montes, Forestal y del

Medio Natural, el cual nos proporciona un valor estimado sobre el uso de agua utilizada en la limpieza de la escuela de Montes (m^3/m^2). Conociendo, gracias al Rectorado y el catastro virtual, las superficies edificadas (m^2) de las infraestructuras de las diferentes escuelas y centros que conforman los límites físicos de nuestro proyecto podemos calcular el valor estimado de agua destinada a la limpieza de cada universidad. En este caso, suponemos que las superficies edificadas de los centros son iguales para los dos años de estudio, por lo que se obtiene un valor común para ambos años.

En cuanto a los cálculos relacionados con las zonas verdes (**huella verde**) contamos con datos proporcionado por las siguientes fuentes:

- **Datos de número de pies**: Gracias a la información proporcionada por Aroha Rodrigo Miguel de su Trabajo Fin de Máster (TFM) "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" del año 2019. En este caso, los datos de número de especies tienen registro en el año 2019, hacemos la suposición que el número de pies en los años 2017 y 2018 es el mismo que recoge el inventario utilizado. Obteniendo así un único valor para ambos años de estudio. Se recogen aquellos árboles cuya altura es al menos 1m y su diámetro normal superior a 8 cm (Rodrigo, 2019).
- **Datos de consumo hídrico por pie**: A partir de los datos facilitados por Daniel Ordoñez Sienes autor del Proyecto Fin de Grado "Huella hídrica en las organizaciones. Caso de la ETSI de Montes, Forestal y del Medio Natural (2012-2014).", conocemos el consumo de agua consumido (m^3/pie y año) a las especies vegetales de la escuela de Montes, Forestal y del Medio Natural en los años del 2012 al 2014. Junto con los datos de número de pies por escuela TFM sobre la cuantificación de la contrahuella de carbono (2019) podemos conocer el volumen de agua incorporado a las zonas verdes aprovechado por las especies vegetales en cada escuela UPM.
- **Datos climatológicos**: Sobre los datos registrados por la AEMET para la Estación del Retiro, se toma únicamente esta estación como base de datos porque suponemos que la diferenciación meteorológica entre los distintos campus no va a diferir de manera considerable, siendo esta estación la más próxima a todos los campus UPM. Con estos datos calculamos la ETR (Evapotranspiración Real, evapotranspiración que se produce realmente en las condiciones existentes en cada caso) (Sánchez, 2019). Su cálculo se obtiene a partir del balance hídrico realizado utilizando los datos referentes a los periodos de estudio, años 2017 y 2018.

Todos los registros de los datos sus transformaciones y empleo en la cuantificación de huella hídrica se recogen en el Anexo I: "Cálculos."

3.3.2 CALIDAD DE LOS DATOS

Antes de proceder a la realización de cualquier cálculo, lo primero es analizar los datos presentes y verificar que estos sean de calidad, es decir, que procedan de

fuentes fiables y difieran lo mínimo de la realidad, minimizando así los posibles errores.

Debemos hacer uso de las bases de datos oficiales o, en su defecto, reconocidas, y respaldarnos en los documentos técnicos de cuantificación de HH (Normal ISO 14.046 y Manual técnico Hoekstra) para asegurar la validación de nuestros datos.

En ciertas situaciones, cuando las condiciones idóneas para la obtención de datos y el cálculo no se dan, nos apoyaremos en proyectos reconocidos anteriormente realizados y en profesionales y expertos cualificados en la materia, siempre que sea posible.

En nuestro caso al tener tres tipos de datos diferentes procedemos a confirmar la calidad de cada tipo:

- **Verificación de datos directos (facturas y contadores):** Podemos justificar la confianza de los datos aportados en las facturas de consumo hídrico. Cuyo origen es el Canal de Isabel II, la empresa pública española encargada de gestionar el ciclo integral del agua en la mayor parte de la Comunidad de Madrid, y cuya forma de obtención es desarrollado por empleados del Departamento de Contabilidad dependiente de la Sub-Dirección de Asuntos Económicos, Patrimonio y Medio Ambiente) de la misma UPM.
- **Verificación de datos estimados (procedentes de estudios de apoyo al cálculo):** Debido a la imposibilidad de obtención de datos directos para el desarrollo de la huella hídrica verde y gris, nos apoyaremos en el Proyecto "Huella hídrica en las organizaciones. Caso de la E.T.S.I. de Montes, Forestal y del Medio Natural (2012-2014)" realizado en el año 2014 por un alumno de una Escuela de Montes, para extrapolar los datos de dicho Proyecto fin de Grado, desde el nivel Escuela a nuestras dimensiones de Campus y Universidad. Teniendo en cuenta que, al tratarse de un trabajo finalizado y validado por el tribunal correspondiente, cuenta con la solidez y validez suficiente para utilizarse como material de apoyo.
- **Verificación de datos estadísticos (INE y OMS):** Este tipo de datos se obtiene de un organismo estatal y un organismo especializado de las Naciones Unidas a nivel mundial, los cuales asegura la fiabilidad de sus datos mediante controles de calidad y la subsanación inmediata de posibles errores existentes en sus datos.

3.3.3 EXCLUSIONES

Existe un conjunto de datos que debido a sus características de falta de detalle y/o fiabilidad y carencia de peso sobre el resultado final del estudio pueden ser excluidos de éste, tal y como plasma la Norma ISO-14.046. Del mismo modo, todos aquellos datos cuya exclusión sea en debidamente justificada, podrán no ser incluidos en los cálculos de HH.

En nuestro caso, existe gran variedad de datos que cumplen una o varias de las características anteriores y, por lo tanto, han sido despreciados a la hora de formular la cuantificación del indicador, siendo estos:

- Datos de consumo asociados a las actividades ejecutadas por cada Centro y Departamento de la UPM. Al no conocer en detalle cuales son los diferentes

destinos del recurso en cada uno de los Departamentos y Centros de trabajo, no haremos distinciones del consumo hídrico registrado por los contadores.

- Datos de consumo extraordinario en eventos puntuales celebrados en las diferentes escuelas, pueden suponer picos de gasto en periodo de tiempo pequeños que no supongan una alteración importante en el resultado final del Proyecto.
- Datos de consumo indirecto consecuencia de actividades o productos en relación a otras organizaciones o empresas subcontratadas por la Universidad, como las cafeterías.
- Datos de consumo de agua destinado al riego de las zonas verdes.
- Datos edafológicos de los diferentes centros que podrían variar de una escuela a otra y en la cuantificación de huella verde.
- Datos de especies vegetales y su requerimiento hídrico.

3.4. CONFIANZA DE LOS DATOS

Procedemos a analizar y comprobar el nivel de confianza de los datos. Esto nos ayuda a determinar si los datos de nuestro estudio cuentan con un grado de seguridad suficiente para ser aplicados en las operaciones.

3.4.1 DATOS DE CÁLCULO PARA LA HUELLA HÍDRICA GRIS

Las principales fuentes de datos son el Canal de Isabel II, cuyos datos son registrados de manera directa, obtenidos de los contadores instalados en los diferentes centros y la información proporcionada por el Rectorado de la UPM. Esto proporciona un alto nivel de confianza a la hora de calcular los componentes gris y azul de nuestro indicador, a partir de estos datos. Sin embargo, aun conociendo el número de contador y de factura, no podemos conocer el destino exacto del agua en las diferentes actividades desarrolladas por la universidad, quedando como obstáculo de gran importancia, viéndonos en la situación de tener que estimar los consumos empleados en los aseos y en la limpieza de los inmuebles.

Respecto a la cuantificación de la huella hídricas gris, hemos basado los cálculos en datos estimados y ajustados a nuestro proyecto a partir de datos estadísticos de organismos mundiales (OMS, 2009) y estatales (INE, 2018a) que aseguran fiabilidad y controles de calidad que permitan reducir los posibles errores cometidos. Así como la utilización de datos del PFG (Ordoñez, 2016) sobre huella hídrica en la Escuela de Montes, Forestal y Medio Natural, cuyos datos de cálculo empleados en este proyecto procedían de un riguroso muestreo realizado por el autor.

3.4.2 DATOS DE CÁLCULO PARA LA HUELLA HÍDRICA AZUL

Para el cálculo de la huella azul, utilizaremos los datos de consumo hídrico procedentes del registro realizado por el Canal de Isabel II, lo cual aporta confianza al cálculo (datos primarios). El otro término a emplear en este cálculo,

es el valor de huella hídrica gris, el cual es un dato estimado con rigor para obtenerlo de la manera más fiable y coincidente con la realidad posible.

Esta cuantificación contará además con el consumo de agua destinada al riego de las áreas verdes (termino perteneciente a la huella hídrica verde), debido al desconocimiento del número de aquellos contadores que registran ésta actividad en los diferentes centros, desajustando el valor de los indicadores azul y verde.

3.4.3 DATOS DE CÁLCULO PARA LA HUELLA HÍDRICA VERDE

Respecto a la huella verde podríamos ajustarnos más a los datos reales, si contásemos con datos meteorológicos procedentes de diferentes estaciones de registro de la AEMET, mediante la realización de análisis edafológicos de los campus o conociendo más información sobre los individuos vegetales presentes en las zonas verdes, por ejemplo, la especies y su requerimiento hídrico.

A la hora de tener en cuenta los datos a utilizar y los cálculos a realizar se procuró aproximarse lo máximo posible a la realidad de la universidad, utilizando los datos de alta fiabilidad y reconocimiento, y realizando las aproximaciones con el menor error posible, siempre bajo la supervisión de personas especializadas en el tema.

A pesar de haber realizado los cálculos para la estimación de las huellas hídricas de manera meticulosa, no se puede asegurar un grado de confianza elevado, pues la falta de datos e información referentes a las dimensiones que engloba el proyecto dificultan en gran medida las cuantificaciones.

3.5. EVALUACIÓN DEL INVENTARIO

Apoyándonos en la Norma ISO 14.046 (2014) y en el Manual Hoekstra et al. (2011), el consumo de agua se clasifica en función del tipo de consumo desarrollado por la UPM directo e indirecto y en función de la procedencia y utilización de esa agua de consumo dividimos la huella hídrica en huella gris, huella azul y huella verde.

Al encontrarnos en una situación de alta complejidad no podemos establecer el mismo límite de cálculo operativo indicado en el Manual. Por ello, realizaremos el cálculo de los componentes de la HH a diferentes niveles y sin tener en cuenta el consumo indirecto de agua.

Una vez se han definido las categorías y los límites de cálculo, podemos proceder a la clasificación de los flujos elementales de consumo en los diferentes componentes de huella hídrica.

3.5.1 HUELLA HIDRÍCA GRIS

El sistema operativo diferencia las tres categorías de HH, el indicador gris o huella hídrica gris, el indicador azul o huella hídrica azul y el indicador verde o huella

hídrica verde y aplica un cálculo diferente para cada una de ellas (Hoesktra et al., 2011):

Huella hídrica gris se define como el consumo de agua dulce que se requiere para asimilar la carga de contaminantes, aportados por la organización, más allá de las concentraciones naturales del lugar y la calidad del agua. Está asociada a aguas contaminadas que deben ser tratadas por sistemas de gestión especializados o sistemas de aguas residuales.

Respecto a la huella gris, realizaremos la cuantificación de manera estimada, diferenciando los posibles usos en los que se emplea el agua azul utilizada en las escuelas y centros, a partir de los consumos registrados por el Canal de Isabel II. Para ello, definimos como sumideros de agua los servicios (uso de cisternas y lavabos), y el agua destinado a limpieza de los centros.

Para la contabilidad referente a aseos tenemos en cuenta el número de personas presentes en cada escuela por año de estudio (información cedida por el Rectorado) y los registros de consumo hídrico en los hogares españoles por persona y día (INE, 2018a) ajustados a la entidad y a nuestro proyecto.

Mientras que para la limpieza se hace en referencia a la superficie de cada instalación (superficies edificadas m^2) y se obtiene la ratio de consumo de agua empleado en limpieza por m^2 en la E.T.S.I. de Montes, Forestal y del Medio Natural, a partir del Proyecto Fin de Grado "Huella hídrica en las organizaciones. Caso de la ETSI de Montes, Forestal y del Medio Natural (2012-2014)", realizado por Daniel Ordoñez Sienes, en 2016.

Se excluye de este cálculo aquellas actividades desarrolladas por empresas contratadas por la universidad, como la cafetería, además de los laboratorios, ya que quedan fuera de los límites del inventario fijado.

Quedando transformada la ecuación original de Hoekstra (2011) para el cálculo de huella gris (Ec. 1) en la siguiente (Ec.4):

$$\boldsymbol{HHgris}\ (\mathrm{m3}/_{\mathrm{año}}) = \boldsymbol{\Sigma\ agua\ azul\ contaminada\ (aseos\ y\ limpieza)}$$

{Ec. 4}

3.5.2 HUELLA HIDRÍCA AZUL

Huella hídrica azul se refiere al consumo de los recursos de agua azul (agua superficial y subterránea) a lo largo de la cadena de suministro de un producto, es decir, la pérdida de agua de la masa de agua disponible al ser consumida por parte de los bienes o servicios de la organización. Estas pérdidas se producen cuando el agua se evapora, vuelve a otra zona de captación diferente a la original o al mar y/o su incorporación al producto.

Para la huella azul, Hoekstra et al. (2011) propone calcular los volúmenes de agua evaporada e incorporada de no retorno (Ec. 2). En nuestro caso, conocemos la cantidad de agua dulce utilizada por la organización mediante las facturas del Canal de Isabel II, empresa pública encargada de la gestión integral de las aguas en la Comunidad de Madrid. Estas facturas nos indican el consumo de agua azul registrado por los contadores de la universidad.

Para el cálculo de huella azul tendremos en cuenta que cierta parte de estos consumos van destinados a reducir los contaminantes presentes en el agua utilizada por los usuarios y actividades de la organización (huella gris). Además, deberíamos conocer de estos consumos que cantidad va destinada al riego (huella verde), sin embargo, como lo desconocemos, los valores de consumo de riego, se verán incluidos dentro de la huella azul, en lugar de, como debería, en la huella verde.

Por lo tanto, la contabilización de huella azul, se hará calculando la diferencia entre los consumos de agua azul incorporada en la organización (incluyendo el agua de riego – agua verde) menos la trasformación de estos en agua gris (Ec. 4).

Quedando transformada la ecuación original de Hoekstra (2011) para el cálculo de huella azul (Ec. 2) en la siguiente (Ec.5):

$$\boldsymbol{HHazul}\ (^{\mathrm{m3}}/_{\mathrm{año}}) = \boldsymbol{\Sigma\ agua\ azul\ incorporada\ de\ no\ retorno\ (usuarios, actividades\ y\ riego) - \Sigma\ agua\ azul\ contaminada}$$

{Ec. 5}

3.5.3 HUELLA HIDRÍCA VERDE

La **huella hídrica verde** representa el consumo de los recursos de agua verde, es decir, el agua de lluvia y agua de riego consumida por los individuos vegetales, excluyendo la infiltración y la escorrentía producida en los suelos.

Respecto a la huella verde, fijándonos en la ecuación de origen del Manual de Hoekstra et al. (2011) (Ec. 3) necesitamos saber el volumen de agua incorporada (por precipitación y riego) a las zonas verdes en cada escuela, así como el agua evaporada a través de la materia vegetal que conforma estas áreas (Evapotranspiración real – ETR) y los datos del inventario de especies vegetales y sus requerimientos hídricos.

Puesto que no contamos con un inventario vegetal por especies de nuestra área de estudio, ni los consumos de agua destinados a riego, ni de un análisis edafológico, no podemos ajustar el cálculo de HH verde al presentado en el Manual (Ec. 3). Como ya indicamos, los valores de riego no se introducirán en la ecuación a de huella verde (Ec. 6), sino que formará parte de la huella azul (Ec. 5).

Los valores de precipitación se conocen a través de los registros de datos meteorológicos de la AEMET (Agencia Estatal de Meteorología), concretamente de la estación situada en el Retiro y para el periodo de estudio, datos que junto a las superficies arboladas (m^2) permitirá contabilizar el agua incorporada a las zonas verdes por precipitaciones, mediante el cálculo de ETR.

Por otra parte, conocemos el número de pies en cada una de las escuelas, facultades y centros de la UPM, gracias a la cesión de datos del Trabajo Fin de Máster de la ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural, realizado por Aroha Rodrigo Miguel “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." en el año 2019. Sin embargo, desconocemos las especies vegetales presentes. A través de una estimación basada en los datos del Proyecto Fin de Grado de Daniel Ordoñez Sienes "Huella hídrica en las organizaciones. Caso de la ETSI de Montes, Forestal y del Medio Natural (2012-2014)" podemos hacernos una idea del agua verde consumida por éstas.

Quedando transformada la ecuación original de Hoekstra (2011) para el cálculo de huella verde (Ec. 3) en la siguiente (Ec.6):

$$\boldsymbol{HHverde}\ (^{\mathrm{m3}}/_{\mathrm{año}}) = \boldsymbol{\Sigma agua\ verde\ evaporada}\ (\boldsymbol{ETR}) + \boldsymbol{\Sigma agua\ verde\ consumida}\ (\boldsymbol{vegetación})$$

{Ec. 6}

3.6. CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN LAS ESCUELAS Y CENTROS

Una vez concretado los datos a emplear, explicaremos cómo se hará uso de cada uno de ellos para cuantificar los diferentes componentes de huella hídrica, es decir, la huella gris, la huella azul y la huella verde.

Cada una de las huellas será calculada para ambos años de estudio (2017 y 2018).

Hasta el momento se hizo referencia primero a la huella azul, siguiendo lo establecido en el Manual de Hoekstra (2011). De aquí en adelante, para poder simplificar la comprensión de los cálculos, se hará referencia en primer lugar a la huella gris, debido a que sus resultados son imprescindibles en la cuantificación de la huella azul. En último lugar se hablará de la huella verde.

Los cálculos realizados se apoyan en su totalidad en los métodos definidos por la Norma ISO 14.046 (2014) de manera conjunta con el Manual de Hoekstra et al. (2011), ajustados a los datos de partida de nuestro proyecto, y se encuentran detallados en el Anexo I: "Cálculos de Huella hídrica".

Además, tras su explicación se realizará la aplicación, a modo de ejemplo, de las ecuaciones correspondientes a cada una de las huellas hídricas a la E.T.S. de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas (E.T.S.I. A.A.B.), como método de ayuda a su comprensión

3.6.1 CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA GRIS

Para cuantificar la HHgris, diferenciamos entre los dos sumideros de consumo y actividades contaminantes del agua azul: los **aseos (uso de cisternas y lavabos)** y el agua destinada a la **limpieza de los centros**.

En la siguiente tabla podemos ver cuál es la procedencia de los datos, remarcando en negrita aquellos que se emplearán en la ecuación de cuantificación de huella gris final (Ec. 7). La tabla 12 expresa el uso de las variables en los cálculos empleados para obtener los resultados de huella hídrica gris:

Tabla 11: Datos de partida para el cálculo de huella gris. Años 2017 y 2018

Datos de partida	Valor	Fuente	Empleo en el cálculo
Nº usos cisterna/persona y dia (hogar)	5	INE 2016 (Datos para la estimación de Nº de usos/persona y día (UPM))	-
Nº usos lavabo/persona y dia (hogar)	18		-
Nº usos cisterna/persona y dia (UPM)	**1**	Estimación propia	HH gris (Aseos)
Nº usos lavabo/persona y dia (UPM)	**1**		
Consumo cisterna (m3/uso)	**0,006**	INE 2016	
Consumo lavabo (m3/uso)	**0,004**		
Consumo mínimo en las escuelas (m3/alumno y día)	0,002	OMS 2009 (Dato con finalidad comparativa)	-
Nº dias abierta la UPM en 2017	**150**	UPM 2019	HH gris (Aseos y limpieza)
Nº dias abierta la UPM en 2018	**148**		
Nº de personas en 2017	**Según el centro**		HH gris (Aseos)
Nº de personas en 2018			
Superficie edificada (m2)			HH gris (limpieza)
Consumo limpieza ETSI MFMN (m3/año) Años 2012-2014	85,71	PFG (Ordoñez, 2014)	Estimación de Ratio ETSI MFMN (m3/m2 y año)
Superficie edificada ETSI MFMN (m2)	19.400		
Ratio ETSI MFMN (m3/m2 y año)	**0,0044180**		HH gris (limpieza)

Fuente: Elaboración propia (2019)

Tabla 12: Cálculos de obtención de HHgris. Años 2017 y 2018

Consumo	Nº usos por persona y día	Consumo (m3/uso)	Consumo (m3 por persona y año)	Consumo (m3/año)
Cisternas	1	0,006	0,006×Nº días	0,006×Nº días×Nº personas
Lavabos	1	0,004	0,005×Nº días	0,004×Nº días×Nº personas

Consumo	Consumo ETSI MFMN (m3/año)	Superficie edificada ETSI MFMN	Ratio ETSI MFMN (m3/m2)	Consumo (m3/año)
Limpieza de inmuebles	85,71	19400	0,0044	0,0044×Superficie

Fuente: Elaboración propia (2019)

Respecto a la ecuación 4 referente al cálculo de huella gris (m^3/año) quedaría ajustada a la siguiente forma:

$$\boldsymbol{HHgris} = \left(\left((\mathbf{0,006} + \mathbf{0,004}) \times \frac{\boldsymbol{N^{\circ}\ personas}}{\boldsymbol{año}} \times \boldsymbol{N^{\circ}\ días/año}\right) + (\mathbf{0,004418} \times \boldsymbol{Sup.edificada})\right)$$

{Ec. 7}

- **EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA GRIS**

Caso de la E.T.S. de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas (E.T.S.I. A.A.B.)

Datos de partida:

Año	Alumnos	PAS	PDI	Total personas	Superficie edificada (m2)	Nº días lectivos
2017	3.053	207	284	3.544	26.001,00	150
2018	2.643	201	289	3.133		148

Calculamos la huella gris para el año 2017:

$$\boldsymbol{HHgris} = \left(\left((\mathbf{0,006} + \mathbf{0,004}) \times \frac{\boldsymbol{N^{\circ}\ personas}}{\boldsymbol{año}} \times \boldsymbol{N^{\circ}\ días/año}\right) + (\mathbf{0,004418} \times \boldsymbol{Sup.edificada})\right)$$

$$= \left(((\mathbf{0,006} + \mathbf{0,004}) \times \mathbf{3.544} \times \mathbf{150}) + (\mathbf{0,004418} \times \mathbf{26.001})\right)$$

$$= (\mathbf{0,01} \times \mathbf{3.544} \times \mathbf{150}) + (\mathbf{0,0044} \times \mathbf{26.001}) = \mathbf{5.316} + \mathbf{114,40} = \mathbf{5.430,40}\ \boldsymbol{m3/año}$$

Donde:

HHgris aseos 2017 = 5.316 m^3/año
HHgris limpieza 2017 = 114,40 m^3/año
HHgris 2017 = 5.430,40 m^3/año

Calculamos la huella gris para el año 2018:

$$\boldsymbol{HHgris} = \left(((\mathbf{0,006} + \mathbf{0,004}) \times \mathbf{3.133} \times \mathbf{148}) + (\mathbf{0,0044} \times \mathbf{26.001})\right)$$

$$= (\mathbf{0,01} \times \mathbf{3.133} \times \mathbf{150}) + (\mathbf{0,0044} \times \mathbf{26.001}) = \mathbf{4.637,84} + \mathbf{114,40} = \mathbf{4.752,24}\ \boldsymbol{m3/año}$$

Donde:

HHgris aseos 2018 = 4.637,84 m^3/año
HHgris limpieza 2018 = 114,40 m^3/año
HHgris 2018 = 4.752,24 m^3/año

3.6.2. CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL

Para cuantificar la huella azul, calcularemos la diferencia que existe entre los consumos registrados de agua en los contadores y la HHgris.

La ecuación 5 referente a la huella azul (m^3/año) quedaría modificada la siguiente:

$$\boldsymbol{HHazul = \Sigma\, consumos - \Sigma HHgris}$$

{Ec. 8}

- **EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA HÍDRICA AZUL**

Caso de la E.T.S. de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas (E.T.S.I. A.A.B.)

Datos de partida:

Año	Consumo (m3/año)	HHgris total (m3/año)
2017	32.371,00	5.430,40
2018	27.912,00	4.752,24

Calculamos la Huella azul para el año 2017:

$$\boldsymbol{HHazul = \Sigma\, consumos - \Sigma HHgris = 32.371,00 - 5.430,30 = 26.940,60\ m3/año}$$

Donde:
HHazul 2017 = 26.940,60 m^3/año

Calculamos la Huella azul para el año 2018:

$$\boldsymbol{HHazul = 27.912,00 - 4.752,24 = 23.159,76\ m3/año}$$

Donde:
HHazul 2018 = 23.159,76 m^3/año

3.6.3. CUANTIFICACIÓN HUELLA HÍDRICA VERDE

Para cuantificar la HHverde, diferenciamos entre la cantidad de **agua consumida por la vegetación arbolada** presente en las zonas verdes, así como la **Evapotranspiración real (ETR)** que se produce en estas zonas.

A continuación, en la tabla 13 podemos ver cuál es la procedencia de los datos para los cálculos de huella verde, remarcando en negrita aquellos que se emplearán en las ecuaciones de cuantificación. Su uso en la ecuación de cálculo aparece en la tabla 14:

Tabla 13: Datos de partida para la cuantificación de HHverde. Años 2017 y 2018

Datos de partida	Valor	Fuente	Empleo en el cálculo
Consumo por especies vegetales ETSI MFMN (m3/año)	12.403,65	PFG (Ordoñez, 2014) (Datos para estimación de ratio de consumo ETSI MFMN (m3/pie y año))	-
Nº pies ETSI MFMN	3.312,00	PFM (Rodrigo, 2019)	
Ratio de consumo ETSI MFMN (m3/pie y año)	**3,7416742**	Estimación propia	Consumo por la vegetación
Nº pies	**Según el centro**	PFM (Rodrigo, 2019)	
Datos meteorológicos (temperatura y precipitación mensual) Diciembre 2016-Diciembre 2018	Según el mes y el año	AEMET (Dato para cuantificación de ETR (m3/año))	-
ETR (m3/año y m2) en 2017	**0,25622**	Balance hídrico	ETR (m3/año)
ETR (m3/año y m2) en 2018	**0,39403**		
Superficie arbolada (m2)	**Según el centro**	ArcMap 10.5	

Fuente: Elaboración propia (2019)

Tabla 14: Cálculos de obtención de HHverde. Años 2017 y 2018

Consumo	Ratio Consumo ETSI MFMN (m3/pie y año)	Consumo (m3/año)
Especies vegetales	3,74	3,74 × Nº pies

Consumo	ETR (mm/año y m2)	Consumo (m3/año)
ETR	Balance hídrico anual	ETR (m3/año y m2) × S. arbolada

Fuente: Elaboración propia (2019)

Ajustando la ecuación referente a la huella verde (m3/año) a los datos de partida y los cálculos correspondientes, obtenemos el ajuste de ecuación 6 (Ec. 6), anteriormente descrita:

$$\boldsymbol{HHverde} = (\mathbf{3,74} \times \boldsymbol{N^{\underline{o}}\ pies}) + \left(\boldsymbol{ETR}\left(\frac{\boldsymbol{m3}}{\boldsymbol{año\ y\ m2}}\right) \times \boldsymbol{Sup.arbolada}(\boldsymbol{m2})\right)$$

{Ec. 9}

- **EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA HÍDRICA VERDE**

Caso de la E.T.S. de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas (E.T.S.I. A.A.B.):

Datos de partida:

Año	Nº pies	Superficie arbolada (m2)	ETR (m3/año y m2)
2017	360	16.450,68	0,25622
2018			0,39403

Calculamos la Huella verde para el año 2017:

$$\boldsymbol{HHverde = (3,74 \times N^{\underline{o}}\ pies) + \left(ETR(\frac{m3}{año\ y\ m2}) \times Sup.arbolada(m2)\right)}$$

$$\boldsymbol{HHverde = (3,74 \times 360) + (0,25622 \times 16.450,68) =}$$

$$\boldsymbol{= 1.346,4 + 4.214,99 = 5.561,39\ m3/año}$$

Donde:
HHverde por consumo vegetal 2017 = 1.346,4 m^3/año
HHverde por ETR 2017 = 4.214,99 m^3/año
HHverde total 2017 = 5.561,39 m^3/año

Calculamos la Huella verde para el año 2018:

$$\boldsymbol{HHverde = (3,74 \times 360) + (0,39403 \times 16.450,68) =}$$

$$\boldsymbol{= 1.346,4 + 6.482,06 = 7.828,46\ m3/año}$$

Donde:
HHverde por consumo vegetal 2018 = 1.346,4 m^3/año
HHverde por ETR 2018 = 6.482,06 m^3/año
HHverde total 2018 = 7.828,46 m^3/año

3.7. CUANTIFICACIÓN HUELLA HÍDRICA A NIVEL CAMPUS

Una vez conocemos los valores de las componentes de HH a nivel escuela, facultad y centro, el cálculo a los dos niveles restantes (campus y UPM) es muy sencillo.

Para la cuantificación de las componentes de la HH a **nivel campus**, debemos hacer el sumatorio de aquellos valores obtenidos en el primer nivel. Diferenciando y agrupando, aquellas escuelas, facultades o centros correspondientes a cada uno de los cinco campus.

$$\boldsymbol{HH\ gris\ campus}\left(\frac{\boldsymbol{m3}}{\boldsymbol{año}}\right) = \sum \boldsymbol{HHgris\ centros}$$

{Ec. 10}

$$\boldsymbol{HH\ azul\ campus}\left(\frac{\boldsymbol{m3}}{\boldsymbol{año}}\right) = \sum \boldsymbol{HHazul\ centros}$$

{Ec. 11}

$$\boldsymbol{HH\ verde\ campus}\left(\frac{\boldsymbol{m3}}{\boldsymbol{año}}\right) = \sum \boldsymbol{HHverde\ centros}$$

{Ec. 12}

En el caso de los Campus de Montegancedo y Parque Tecno-Getafe, al no tener diferenciados los centros que los componen su cálculo se ajusta a las ecuaciones vistas en el apartado anterior (Ec. 7 para la HHgris, Ec. 8 para la HHazul y Ec. 9 para la HHverde).

Si buscamos calcular el valor de la huella hídrica a nivel campus, sin hacer diferencias entre sus diferentes componentes, debemos sumar cada una de ellas:

$$\boldsymbol{HHcampus}\left(\frac{\boldsymbol{m3}}{\boldsymbol{año}}\right) = \sum(\boldsymbol{HHgris\ centros} + \boldsymbol{HHazul\ centros} + \boldsymbol{HHverde\ centros})$$

{Ec. 13}

3.8. CUANTIFICACIÓN HUELLA HÍDRICA A NIVEL UPM

De igual manera pasa con el nivel más general, **nivel universidad,** donde realizamos el sumatorio, en este caso, de los valores obtenidos en el segundo nivel, es decir, de los cinco campus. Lo hacemos para cada una de las componentes de la HH, así como de forma generalizada.

$$\boldsymbol{HH\ gris\ UPM}\left(\frac{\boldsymbol{m3}}{\boldsymbol{año}}\right) = \sum \boldsymbol{HHgris\ campus}$$

{Ec. 14}

$$\boldsymbol{HH\ azul\ UPM}\left(\frac{\boldsymbol{m3}}{\boldsymbol{año}}\right) = \sum \boldsymbol{HHgazul\ campus}$$

{Ec. 15}

$$\boldsymbol{HH\ verde\ UPM}\left(\frac{\boldsymbol{m3}}{\boldsymbol{año}}\right) = \sum \boldsymbol{HHverde\ campus}$$

{Ec. 13}

$$\boldsymbol{HH\ UPM}\left(\frac{\boldsymbol{m3}}{\boldsymbol{año}}\right) = \sum(\boldsymbol{HHgris\ campus} + \boldsymbol{HHazul\ campus} + \boldsymbol{HHverde\ campus})$$

{Ec. 17}

3.9. INFORME DE CUANTIFICACIÓN DE HUELLA HÍDRICA

Tal y como se recoge en la Norma ISO 14.046 (2015) debemos realizar un informe de la evaluación de la huella hídrica y de los resultados obtenidos sobre esta, siguiendo las pautas descritas en la Norma. Este documento se ajusta a los objetivos y alcance marcados en el estudio y recoge la información completa y exacta de los resultados y conclusiones objetivas, de la forma más transparente posible. Asignando en caso de no tratarse de un estudio íntegro de la HH el adjetivo que más se acerque a nuestro estudio, siendo en este caso, la huella hídrica no integral o huella hídrica de consumos de la organización.

Su desarrollo permite ser referencia para la elaboración de informes posteriores sobre HH de la universidad y llevar a cabo un seguimiento de los procesos desarrollados por los centros que la componen.

El informe sobre los Indicadores de sostenibilidad de la Universidad Politécnica de Madrid. Cuantificación de la huella hídrica. Años 2017-2018, se encuentra en el anexo IV.

Capítulo 4: Resultados

4. RESULTADOS

A continuación, nos disponemos a presentar los resultados de la HH de la UPM para los tres niveles siguientes en los años de cálculo, 2017 y 2018.

- Escuelas y centros de investigación de la UPM
- Campus universitarios de la UPM
- Universidad Politécnica de Madrid

Se ha recogido en forma de tabla los resultados obtenidos para los consumos hídricos registrados por el Canal de Isabel II y para las diferentes componentes de la huella hídrica (huella gris, huella azul y huella verde). Estos datos nos permiten conocer los valores exactos de consumos y huella hídrica para las diferentes escuelas y campus, pudiendo hacer comparativas tanto de los valores volumétricos como del coste de los consumos.

Comenzaremos analizando los resultados de manera independiente para los consumos y cada uno de los tipos de huella para los tres niveles de estudio. Después se hará una comparativa entre los valores de HH para los dos años de estudio a nivel UPM, para determinar su evolución.

4.1. ANÁLISIS DE LOS CONSUMOS

Para los datos de **consumo** recopilamos los valores cedidos en las facturas del Canal de Isabel II, ordenados de mayor a menor valor en el año 2017 (año base) por escuela, facultad o centro y clasificados por campus. Además de los costes obtenidos (en euros y sin tener en cuenta el IVA, impuesto de valor agregado). Todo ello diferenciando entre ambos años de estudio.

4.1.1. CONSUMOS POR ESCUELAS Y CENTROS UPM

En la tabla 15, se recogen los datos de consumo hídrico registrados por el Canal de Isabel II para las diferentes escuelas, facultades y centros de la UPM. Se señalaron en tonos naranjas las cuatro primeras escuelas con mayor consumo para ambos años, y en verde los centros, facultades o escuelas de menor consumo. Es importante atender que, como se explicó anteriormente, en esta tabla de consumos y en las sucesivas, contamos con dos Campus no desglosados en escuelas (Montegancedo y Parque Tecno-Getafe) debido a la falta de los datos oportunos.

Podemos observar que las escuelas de mayor gasto de agua para ambos años, fueron la ETSI Agronómica, Alimentos y Biosistemas, la ETSI de Telecomunicación y la ETSI de Montes, Forestal y Medio Natural. Estos valores llaman la atención al compararlos con el Campus de Montegancedo, ya que éste se encuentra en la quinta posición dentro del “ranking” de los mayores consumos.

Respecto a los menores valores, encontramos al polideportivo de Campus Sur, la ETSI de Topografía, Geodesia y Cartografía, la ETSI Civil y el Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Medioambientales (CITSEM).

Tabla 15: Consumo hídrico y coste sin IVA por escuelas. Año 2017 y 2018.

	Nombre del inmueble	2017		2018	
		Consumo (m3/año)	Coste (€ sin IVA)	Consumo (m3)	Coste (€ sin IVA)
Ciudad universitaria	ETSI Agrónomos (AAB)	32.371,00	69.403,10	27.912,00	50.699,50
	ETSI Telecomunicación	25.525,00	46.327,85	23.299,00	42.122,01
	ETSI Montes (MFMN)	18.635,00	38.273,66	16.073,00	29.120,04
	ETSI Caminos	12.723,00	25.096,40	8.847,00	15.844,55
	ETS de Arquitectura	12.487,00	23.123,75	11.465,00	23.038,67
	ETSI Aeronáutica	11.923,00	23.971,74	11.255,00	23.083,37
	Rectorado	9.059,00	19.779,82	7.997,00	18.135,70
	ETSI Navales	8.501,00	15.854,08	7.427,00	14.534,81
	INEF	5.888,00	9.168,33	5.296,00	8.039,59
	CEIGRAM	5.057,00	9.528,38	3.725,00	7.848,53
Campus Sur	ETSI Sist. Informáticos	15.186,00	34.097,73	11.458,00	25.020,20
	ETSI y Sist. de Telecomunicación	8.273,00	17.775,09	9.649,00	19.751,34
	INSIA	2.962,00	5.161,82	3.997,00	6.742,90
	CITSEM	2.553,00	10.043,20	2.188,00	9.585,76
	ETSI Topografía	2.092,00	5.173,48	1.204,00	4.089,99
	Polideportivo C. Sur	970,00	2.898,26	659,00	2.517,29
C. Madrid	ETSI Industriales	13.746,00	21.410,27	13.003,00	20.123,08
	ETSI Diseño Industrial	5.280,00	10.727,80	4.217,00	9.394,07
	ETSI Minas	4.454,00	8.148,74	3.939,00	7.565,56
	ETSI Civil	2.517,00	5.555,12	2.140,00	5.024,25
Campus Montegancedo		14.156,00	26.074,58	12.994,00	24.411,65
Campus Parque Tecno-Getafe		3.617,00	7.276,74	4.375,00	8.419,33

Fuente: Elaboración propia (2019)

4.1.2. CONSUMOS POR CAMPUS Y UPM

Para hacer una comparativa más gráfica se presentan a continuación consumos por campus en la tabla 16 y en la figura 11.

Tabla 16: Consumo hídrico y coste sin IVA a nivel campus y universidad. Año 2017 y 2018.

Campus	2017		2018	
	Consumo (m3/año)	Coste (€ sin IVA)	Consumo (m3/año)	Coste (€ sin IVA)
Ciudad Universitaria	142.169,00	280.527,11	123.296,00	232.466,77
Campus Sur	32.036,00	75.149,58	29.155,00	67.707,48
Madrid Ciudad	25.997,00	45.841,93	23.299,00	42.106,96
Montegancedo	14.156,00	26.074,58	12.994,00	24.411,65
Parque tecno-Getafe	3.617,00	7.276,74	4.375,00	8.419,33
Total UPM	**217.975,00**	**434.869,94**	**193.119,00**	**375.112,19**

Fuente: Elaboración propia (2019)

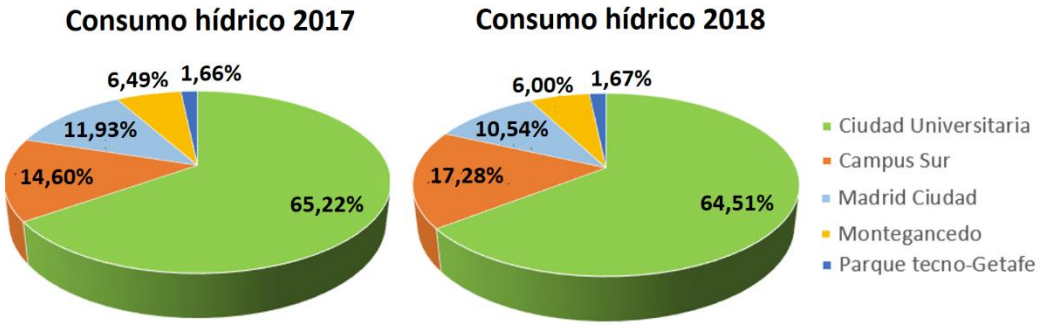


Figura 11: Porcentaje de consumo hídrico por campus. Años 2017 y 2018.
Fuente: Elaboración propia.

Los valores de consumo hídrico difieren mucho de un campus a otro, lo cual no es de extrañar debido a las características de cada uno de ellos.

Observamos que los resultados de consumos para el año 2018 fueron menores en todos los campus, exceptuando el Parque tecnológico de Getafe.

En cuanto a los porcentajes respecto al total, comparando 2017 con 2018, Campus Sur aumentó un 2,58%, Montegancedo se encontró un 0,49% por encima y el Parque tecnológico fue únicamente un 0,01% superior. Frente a el Campus Ciudad universitaria que disminuyó un 0,71% y el de Madrid Ciudad con un 0,49% menos.

A nivel global, el consumo de la UPM disminuyó de un año para otro 24.856,00 m^3 de agua, correspondientes a 59.757,75 euros. Esta diferencia se debe a que todas las escuelas y centros, exceptuando la ETSI y Sistemas de Telecomunicación, el INSIA y el Campus tecno-Getafe) redujeron en mayor o menor proporción su consumo.

4.2. ANÁLISIS DE LA HUELLA HÍDRICA GRIS

En cuanto a la **huella gris**, recogemos la información de la misma manera que en el caso anterior. Conocidos los valores de huella gris (m3/año) de cada escuela y centro, podemos estimar el coste asociado a ésta. Para ello, hemos utilizado las ratios (€/m^3) de cada una de las escuelas, facultades y centros y lo hemos multiplicado por el volumen de agua gris. En la tabla 25, presente en el punto "4.7.: Ratios de huella hídrica" aparecen los valores de la ratio a través del cual conseguimos este valor de coste.

Además, se han creado gráficos de barras para representar los valores de huella gris (m3/año) referentes a los tres niveles de estudio y en el periodo estudiado, y los valores medios aritméticos (grafico lineal para escuelas y campus) correspondientes a las escuelas y los campus. Se asignaron los tonos más oscuros a los datos de 2017 y los tonos claros para el 2018, tanto en las barras como en las gráficas lineales. El formato de presentación será igual en las huellas azul y verde.

Los datos fueron colocados de mayor a menor huella hídrica en 2017 para facilitar la interpretación de estos, siendo escogido el año 2017 por tratarse del año base de estudio.

4.2.1. HUELLA HÍDRICA GRIS POR ESCUELAS Y CENTROS UPM

En este caso, la tabla 17, presente en la página siguiente, recoge la información referente a las huellas grises calculadas y los costes estimados a ellas.

En ella se puede observar que el principal componente de la huella gris es el uso de los aseos por parte de las personas y que existen algunos de los centros de estudio (CEIGRAM, CITSEM, Polideportivo Campus Sur y el Campus Tecno-Getafe), señalizados en color rojo, de los cuales no existe registro de personal o alumnos matriculados, por lo que al hacer la cuantificación del consumo por el uso de aseos no obtenemos ningún resultado, rebajando en gran medida el valor de la huella gris real de los campus y UPM y los valores medios.

A la hora de señalizar en la tabla los centros o escuelas de mayor y menor valor de huella hídrica gris, los anteriormente citados no se han incluido, debido a la falta de datos de partida y, por tanto, a la falta de precisión en el cálculo.

Podemos afirmar que, en este caso, los cálculos de la huella gris son directamente proporcionales al número de personas que aparezcan en el registro de personal y alumnos del Rectorado UPM.

Además, como en el caso anterior de los consumos, se compara los resultados de las facultades, escuelas y centros con valores de campus (caso de Montegancedo y Tecno-Getafe).

Tabla 17: Huella hídrica gris por escuelas, facultades y centros. Año 2017 y 2018.

		HHgris aseos (m3/año)		HHgris limpieza (m3/año) 2017 y 2018	HHgris total (m3/año)		Coste HHgris (€/m3 y año)	
	Inmueble	**2017**	**2018**		**2017**	**2018**	**2017**	**2018**
C. Universitaria	ETS de Arquitectura	9.276,00	8.058,60	110,68	9.386,68	8.169,28	20.495,29	18.526,40
	ETSI Aeronáutica	6.162,00	6.198,24	101,77	6.263,77	6.300,01	9.753,45	9.563,72
	ETSI Agrónomos (AAB)	5.316,00	4.636,84	114,87	5.430,87	4.751,71	10.057,02	9.548,45
	Telecomunicación	5.142,00	5.040,88	93,94	5.235,94	5.134,82	10.753,88	9.302,94
	ETSI Caminos	4.654,50	4.204,68	203,93	4.858,43	4.408,61	8.818,04	7.970,28
	ETSI Montes (MFMN)	2.667,00	2.326,56	389,03	3.056,03	2.715,59	6.552,10	4.932,62
	INEF	2.464,50	2.341,36	215,45	2.679,95	2.556,81	5.049,54	5.387,16
	ETSI Navales	1.521,00	1.290,56	72,81	1.593,81	1.363,37	2.972,40	2.668,15
	Rectorado	1.558,50	1.491,84	32,31	1.590,81	1.524,15	3.137,90	2.729,67
	CEIGRAM	-	-	21,30	21,30	21,30	42,83	43,69
C. Sur	ETSI Sist. de Telecomunicación	3.105,00	3.063,60	78,96	3.183,96	3.142,56	7.149,06	6.862,23
	ETSI Sist. Informáticos	3.087,00	2.994,04	63,03	3.150,03	3.057,07	7.789,96	10.384,86
	ETSI Topografía	612,00	476,56	39,24	651,24	515,80	2.561,90	2.259,75
	CITSEM	-	-	42,72	42,72	42,72	74,45	72,07
	INSIA	13,50	10,36	25,22	38,72	35,58	83,19	72,82
	Polideportivo C. Sur	-	-	20,50	20,50	20,50	61,25	78,30
Madrid ciudad	ETSI Industriales	8.442,00	8.125,20	227,67	8.669,67	8.352,87	13.503,56	12.926,67
	ETSI Diseño Industrial	4.830,00	4.928,40	109,64	4.939,64	5.038,04	10.036,26	11.223,06
	ETSI Minas	3.223,50	2.976,28	96,46	3.319,96	3.072,74	6.073,98	5.901,76
	ETSI Civil	2.092,50	1.790,80	42,97	2.135,47	1.833,77	4.713,06	4.305,28
C. Montegancedo		3.646,50	3.597,88	175,51	3.822,01	3.773,39	7.039,93	7.089,02
C. Parque Tecno-Getafe		-	-	126,91	126,91	126,91	255,31	244,22

Fuente: Elaboración propia (2019)

Las escuelas cuyos valores son los más altos son la ETSI Arquitectura, la ETSI Industriales, la ETSI de Sistemas de telecomunicación y Sistemas Informáticos y la ETSI de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio.

Por el contrario, los valores mínimos de huella gris, serían el INSIA, ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía, el Rectorado y la ETSI Navales.

A continuación, se recoge la información referida a los resultados huella gris de las escuelas y centros de investigación en el siguiente gráfico de barras, junto con sus valores medios por año (Figura 12).

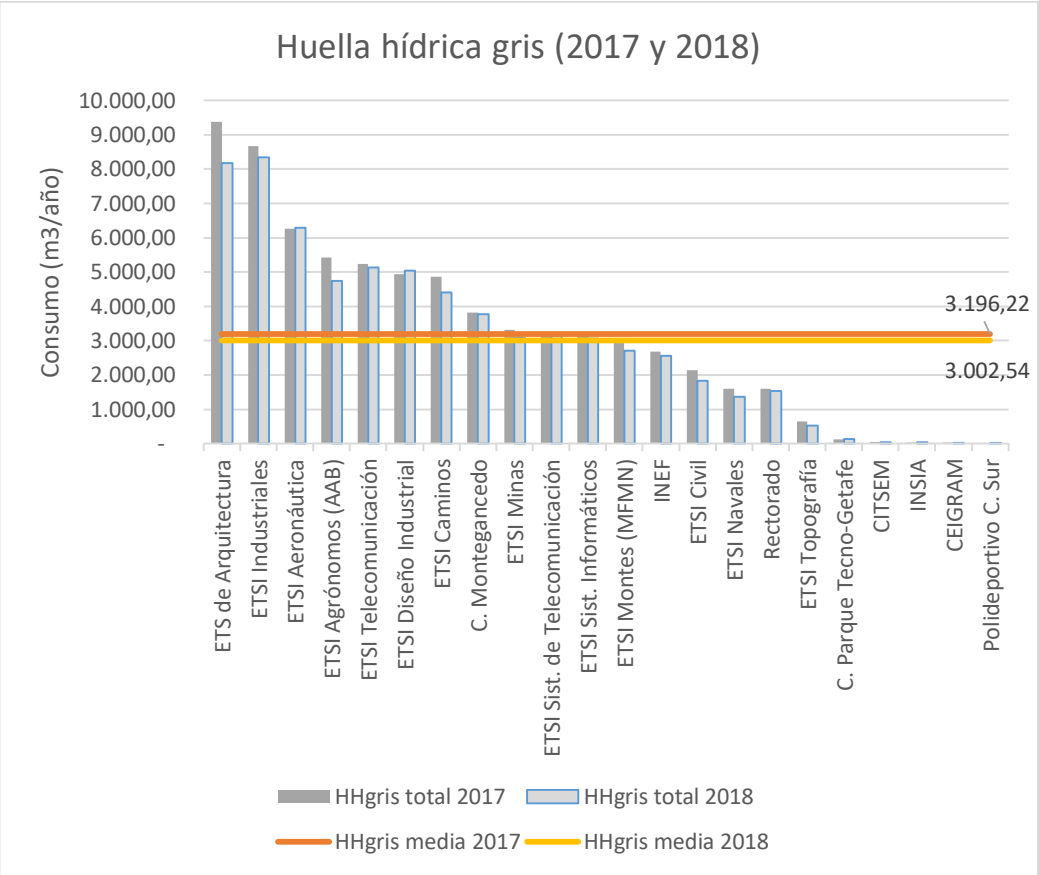


Figura 8: Huella hídrica gris y su media aritmética por escuelas. Años 2017 y 2018.
Fuente: Elaboración propia (2019)

El 40,9% de las escuelas (13 de ellas) consumieron en huella gris un valor por encima de la media en el primer año de estudio, concretamente la ETS de Arquitectura, ETSI Industriales, ETSI Aeronáutica, ETSI AAB, ETSI de Telecomunicación, ETSI de Diseño Industrial, ETSI Caminos, el campus de Monteganceo, ETSI Minas, ETSI de Sistemas de Telecomunicación y ETSI de Sistemas Informáticos. En el año 2018, tanto la ETSI de Sistemas de Telecomunicación como de Sistemas Informáticos redujeron su huella gris sin llegar a estar por encima de la media de ese mismo año 2018.

La tendencia de las escuelas y centros que reducir su huella hídrica gris, sim embargo, existen escuelas que de un año para otro la aumentaron, caso de ETSI Aeronáutica, ETSI AAB y ETSI Civil.

4.2.2. HUELLA HÍDRICA GRIS POR CAMPUS Y UPM

A continuación, se recogen los resultados para huella gris (m^3/año) en forma de tabla y gráfico circular para los diferentes campus y para la UPM.

Tabla 18: Huella hídrica gris a nivel campus y universidad. Año 2017 y 2018.

	HHgris aseos (m3/año)		HHgris limpieza (m3/año) 2017 y 2018	HHgris total (m3/año)		Coste HHgris (€/m3 y año)	
Campus	2017	2018		2017	2018	2017	2018
C. Universitaria	38.761,50	35.589,56	1.356,09	40.117,59	36.945,65	77.632,47	70.673,09
Madrid Ciudad	16.495,50	16.029,88	454,27	16.949,77	16.484,15	29.675,05	30.129,79
C. Sur	12.154,50	11.606,16	418,37	12.572,87	12.024,53	24.074,30	25.794,46
Montegancedo	3.646,50	3.597,88	175,51	3.822,01	3.773,39	7.039,93	7.089,02
C. Tecno-Getafe	-	-	126,91	126,91	126,91	255,31	244,22
Total UPM	71.058,00	66.823,48	2.531,14	73.589,14	69.354,62	138.677,06	133.930,58

Fuente: Elaboración propia (2019)

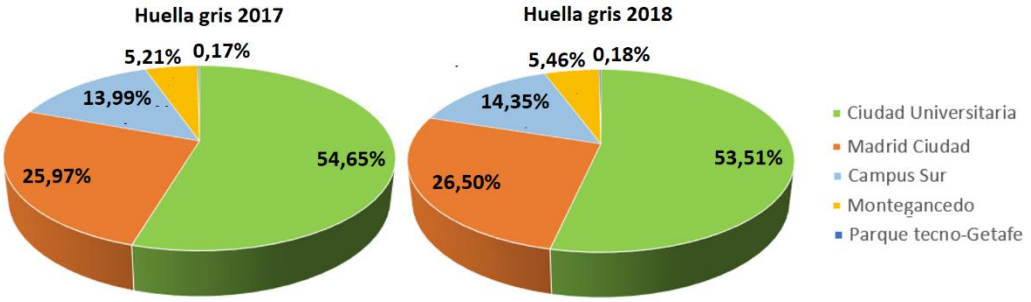


Figura 9: Porcentaje de HHgris por campus. Años 2017 y 2018.
Fuente: Elaboración propia (2019)

La huella gris disminuye en todos los campus de un año para otro, exceptuando el Campus tecnológico de Getafe, que se mantiene constante debido a que, por falta de datos de número de personas, su cálculo no cuenta con la parte de consumo hídrico del uso de los aseos, siendo su cálculo únicamente la parte de limpieza de inmuebles. Podemos comprobar de forma muy sencilla lo anteriormente mencionado en el siguiente gráfico de barras.

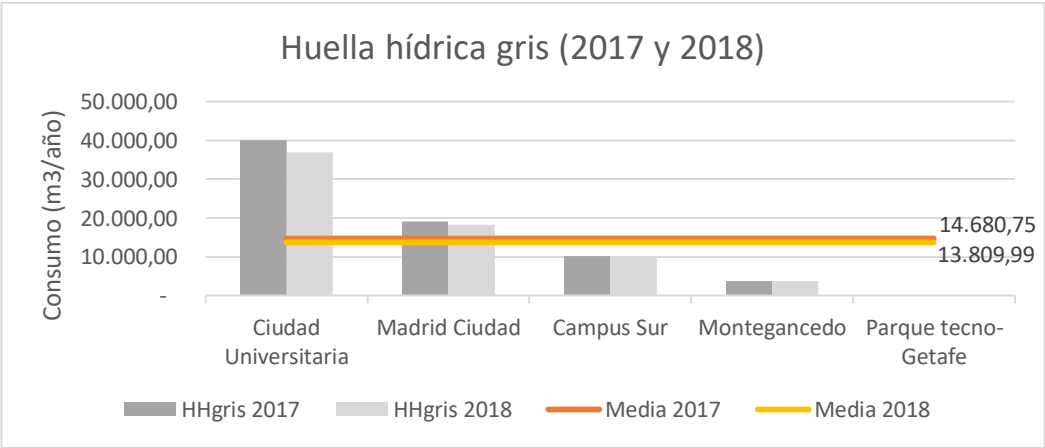


Figura 10: Huella hídrica gris y su media aritmética por campus. Años 2017 y 2018.
Fuente: Elaboración propia (2019)

Los campus de ciudad universitaria y Madrid ciudad superan en ambos años las medias. Y la tendencia en la huella gris por campus es disminuir.

Respecto a la huella gris de la UPM, disminuyó 4.353,78 m^3 en el año 2018 respecto al año anterior, tal y como recoge la figura 14.

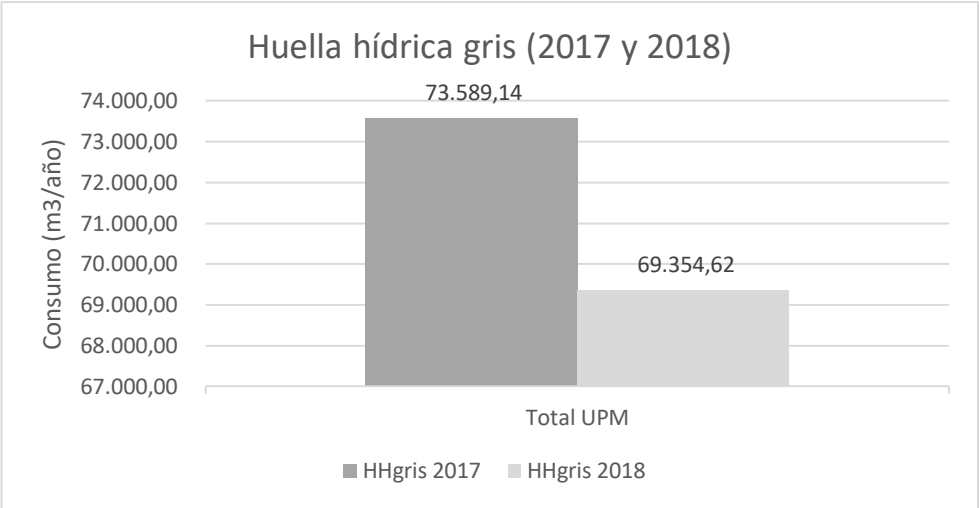


Figura 11: Huella hídrica gris total UPM. Años 2017 y 2018.
Fuente: Elaboración propia (2019)

4.3. ANÁLISIS DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL

Para el cálculo de la **huella azul**, tenemos en cuenta los valores de consumo y de huella gris, estos resultados van íntimamente relacionados, ya que el cálculo de la huella azul se realiza mediante la diferencia entre consumo y huella gris. Obteniendo los siguientes valores para la huella azul (m^3/año) y su coste estimado para los dos años de estudio y los tres niveles.

4.3.1. HUELLA HÍDRICA AZUL POR ESCUELAS Y CENTROS UPM

La tabla 19 presenta los resultados cálculos de huella azul y consumos asociados a esta para las diferentes facultades, escuelas y centros, ordenados por campus y de mayor a menos valor de huella azul en el año 2017, resaltando, como en los casos anteriores, los valores máximos y mínimos obtenidos.

Tabla 19: Huella hídrica gris (m3/año) por escuelas, facultades y centros. Año 2017 y 2018.

		HHazul aseos (m3/año)		Coste HHazul (€/m3 y año)	
	Inmueble	**2017**	**2018**	**2017**	**2018**
C. Universitaria	ETSI AAB	26.940,13	23.160,29	57.759,38	42.068,48
	ETSI Telecomunicación	20.289,06	18.164,18	36.824,62	32.838,82
	ETSI MFMN	15.578,97	13.357,41	31.997,00	24.200,10
	ETSI Caminos	7.864,57	4.438,39	15.513,04	7.948,94
	Rectorado	7.468,19	6.472,85	16.306,38	14.679,22
	ETSI Navales	6.907,19	6.063,63	12.881,68	11.866,66
	ETSI Aeronáutica	5.659,23	4.954,99	11.378,15	10.162,41
	CEIGRAM	5.035,70	3.703,70	9.488,24	7.803,65
	INEF	3.208,05	2.739,19	4.995,33	4.158,23
	ETS de Arquitectura	3.100,32	3.295,72	5.741,25	6.622,68
C. Sur	ETSI Sistemas Informáticos	12.035,97	8.400,93	25.860,09	17.196,57
	ETSI y Sist. de Telecomunicación	5.089,04	6.506,44	8.868,58	10.976,31
	INSIA	2.923,28	3.961,42	6.563,76	8.650,34
	CITSEM	2.510,28	2.145,28	9.875,14	9.398,60
	ETSI Topografía	1.440,76	688,20	3.562,98	2.337,82
	Polideportivo C. Sur	949,50	638,50	2.837,01	2.438,99
C. Madrid	ETSI Industriales	5.076,33	4.650,13	7.906,71	7.196,41
	ETSI Minas	1.134,04	866,26	2.074,76	1.663,80
	ETSI Civil	381,53	306,23	842,06	718,97
	ETSI Diseño Industrial	340,36	-	691,54	-
C. Montegancedo		10.333,99	9.220,61	19.034,65	17.322,63
C. Parque Tecno-Getafe		3.490,09	4.248,09	7.021,43	8.175,11

Fuente: Elaboración propia (2019)

Los resultados de huella azul recogidos en la tabla anterior nos muestran como las tres primeras escuelas cuyos valores son máximos en el primer año (2017) se mantienen en la misma posición en el segundo (2018), encontrándose en cuarto lugar en el año 2018 el Campus de Montegancedo.

Al obtener los resultados de cálculos sobre valor mínimo de la huella hídrica azul, se consideró valor de 0 m^3 a la ETSI de Diseño Industrial, suponiendo que toda el agua consumido en esta escuela fue destinado a los servicios. Esto se debe a que al realizar la diferencia entre los consumos y la huella gris se obtuvo un valor negativo, con un error fiducial inferior del 5%, pudiendo considerar este valor igual a 0 m^3.

En el siguiente gráfico de barras quedan recogidos los datos de huella hídrica azul de mayor a menor y sus medias aritméticas para cada uno de los años.

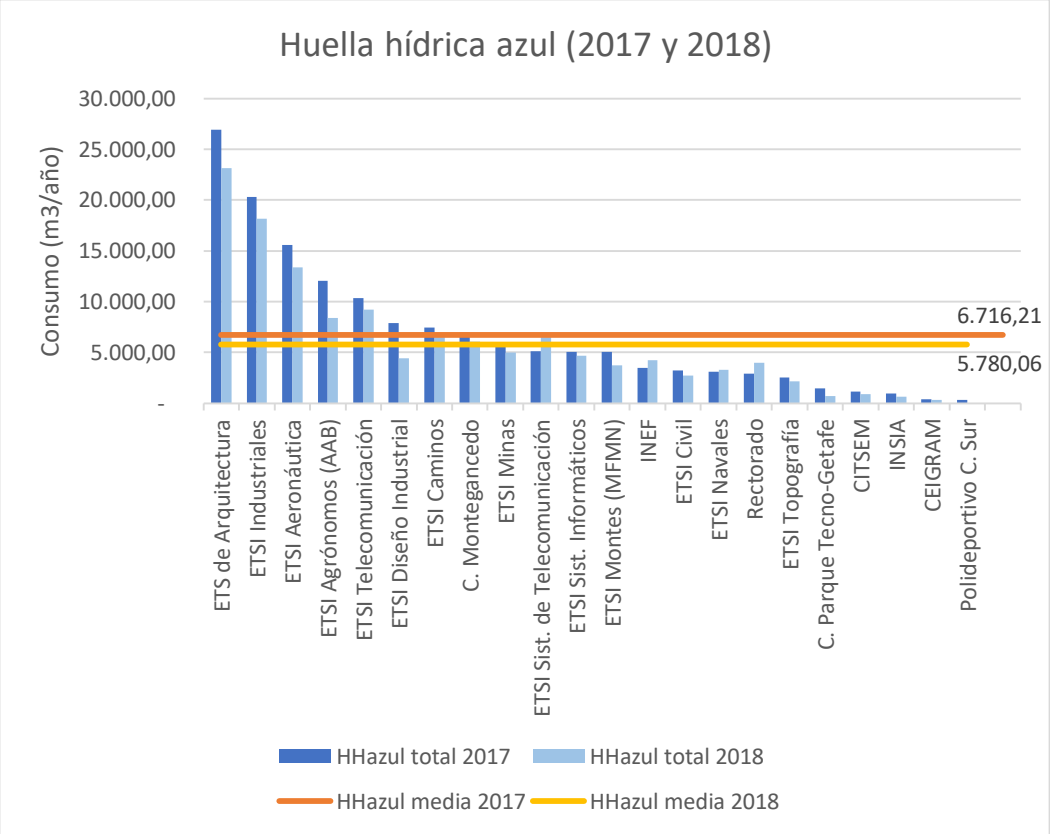


Figura 12: Huella hídrica azul y su media aritmética por escuelas. Años 2017 y 2018.
Fuente: Elaboración propia (2019)

Para los dos años de estudio se observa que el 36,4% (8 de las 22 escuelas, facultades y centros) del total de los centros se encuentran por encima de la media. Siendo estos, la ETSI AAB, ETSI Telecomunicación, ETSI MFMN, ETSI de Sistemas informáticos, el campus Montegancedo, el Rectorado UPM, ETSI Navales para los años 2017 y 2018, ETSI Caminos en 2017 y ETSI y Sistemas de telecomunicación en 2018.

De un año para otro la tendencia de la huella azul fue disminuir, exceptuando la ETSI Sistemas de telecomunicación, INEF, ETSI Navales y el Rectorado.

4.3.2. HUELLA HÍDRICA AZUL POR CAMPUS Y UPM

Los resultados de huella azul para los campus son:

Tabla 20: Huella hídrica azul a nivel campus y universidad. Año 2017 y 2018.

	HHazul total (m3/año)		Coste HHazul (€/m3 y año)	
Campus	**2017**	**2018**	**2017**	**2018**
C. Universitaria	102.051,41	86.350,35	202.885,06	162.349,19
C. Sur	27.099,66	24.998,00	60.471,81	55.182,32
Madrid Ciudad	12.189,92	10.393,10	22.643,01	19.705,41
Montegancedo	10.333,99	9.220,61	19.034,65	17.322,63
C. Tecno-Getafe	3.490,09	4.248,09	7.021,43	8.175,11
Total UPM	**155.165,09**	**135.210,16**	**312.055,96**	**262.734,66**

Fuente: Elaboración propia (2019)

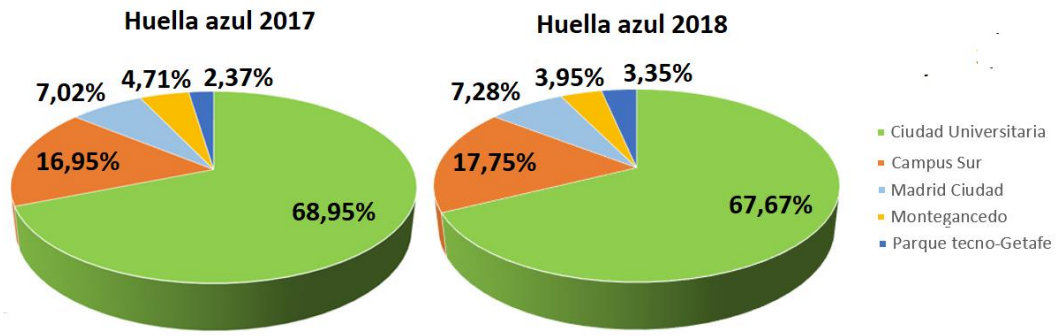


Figura 16: Porcentaje de HHazul por campus. Años 2017 y 2018.
Fuente: Elaboración propia (2019)

Para cada uno de los campus UPM, excepto en el Campus Parque tecno-Getafe, la huella azul disminuyó des año 2017 al 2018.

A nivel UPM la huella azul disminuye 19.952,92 m^3 durante el año 2018.

Añadimos a continuación, los gráficos de barras correspondientes a la huella azul por campus y UPM y un breve comentario a modo de resumen sobre ellos:

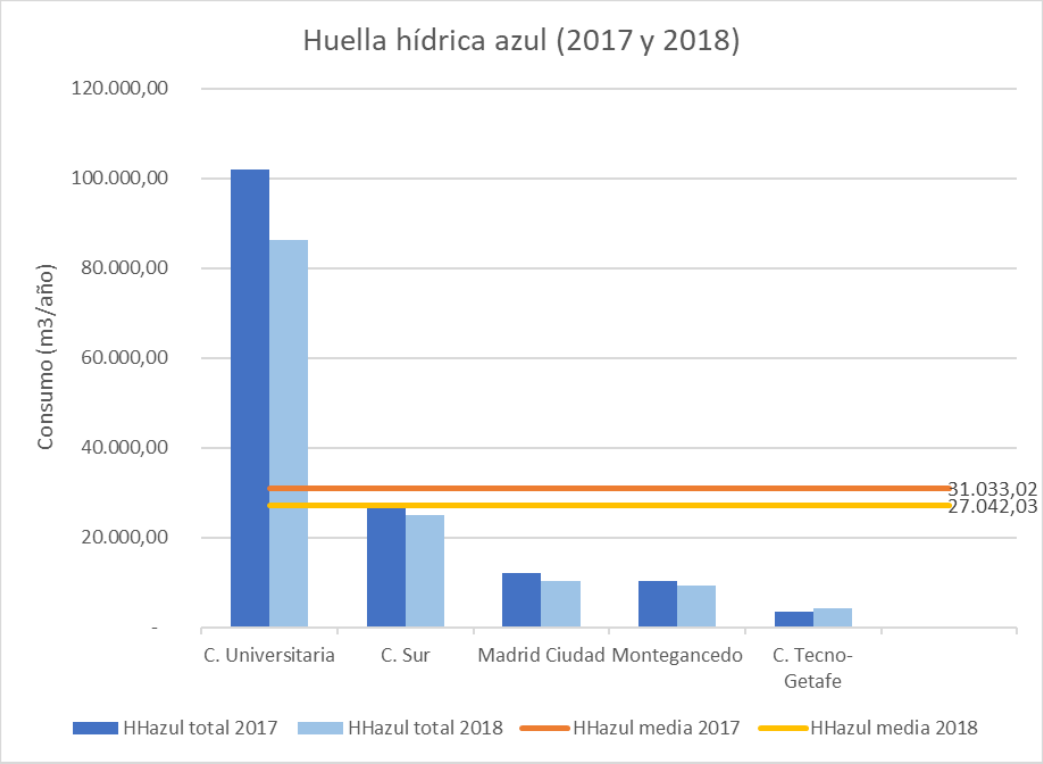


Figura 13: Huella hídrica azul y su media aritmética por campus. Años 2017 y 2018.
Fuente: Elaboración propia (2019)

Respecto a los campus, únicamente Ciudad Universitaria supera con gran diferencia a los demás campus y a las medias correspondientes a ambos años de estudio.

La tendencia en la huella azul de un año para otro fue disminuir, exceptuando el campus tecnológico de Getafe.

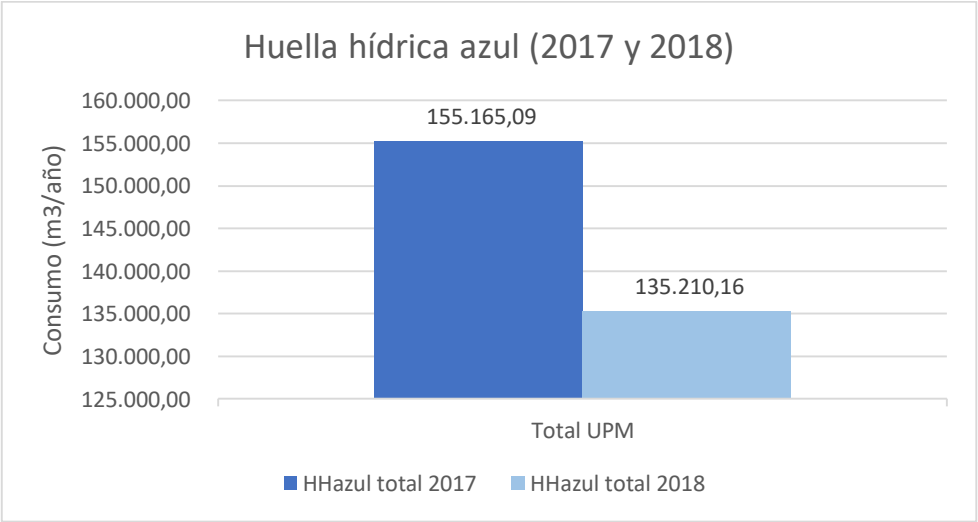


Figura 14: Huella hídrica azul total UPM. Años 2017 y 2018.
Fuente: Elaboración propia (2019)

Comprobamos como el indicador azul redujo desde el año base hasta el 2018 19.952,92 m3.

4.4. ANÁLISIS DE LA HUELLA HÍDRICA VERDE

Sobre la **huella verde** recordamos que los valores de agua destinada a riego no quedaron incluidos dentro del cálculo, valores que deberían formar parte de este indicador "verde" y no del "azul". Para este indicador, desconocemos el coste económico aplicado a él, ya que su cálculo mediante la ratio en este caso podríamos calcularlo únicamente conociendo el volumen de agua destinado al riego.

Se incluyen también los valores de ETR para ambos años de estudio de manera independiente, estos valores son reducidos en comparación a el consumo por las especies vegetales, por lo que podemos afirmar que, sin contar con el riego, el consumo de la vegetación es el elemento determinante en la huella verde.

4.4.1. HUELLA HÍDRICA VERDE POR CAMPUS Y CENTROS UPM

A continuación, se presenta en la tabla 21 los resultados para la huella hídrica verde por facultades, escuelas y centros de investigación de la UPM.

Es importante tener en cuenta que, respecto a los centros INSIA, ETSI Diseño Industrial y Campus tecnológico, no se tiene información sobre los pies inventariados, debido a que el acceso al INSIA no fue posible y la escuela de diseño y el campus tecnológico se encuentran exento de vegetación (Rodrigo, 2019).

Además, las escuelas ETSI Sistemas de Telecomunicación y ETSI Sistemas informáticos, comparten zonas verdes al encontrarse ambas en una misma parcela catastral, en este caso, calcularemos el valor de huella hídrica para ellas de manera conjunta.

Tabla 21: Huella hídrica verde por escuelas, facultades y centros. Años 2017 y 2018.

	Inmueble	Consumo vegetación 2017 y 2018	ETR (m3/año)		HHverde (m3/año)	
			2017	2018	2017	2018
C. Universitaria	ETSI MFMN	12.858,12	15.006,63	23.078,05	27.864,75	35.936,17
	INEF	74,80	10.549,19	16.223,14	10.623,99	16.297,94
	ETSI Caminos	1.978,46	6.229,69	9.580,38	8.208,15	11.558,84
	ETS de Arquitectura	2.221,56	4.512,23	6.939,17	6.733,79	9.160,73
	ETSI AAB	1.346,40	4.214,97	6.482,02	5.561,37	7.828,42
	ETSI Telecomunicación	1.323,96	3.552,21	5.462,79	4.876,17	6.786,75
	ETSI Aeronáutica	1.582,02	3.146,62	4.839,05	4.728,64	6.421,07
	ETSI Navales	1.492,26	2.562,44	3.940,67	4.054,70	5.432,93
	CEIGRAM	3.040,62	434,55	668,27	3.475,17	3.708,89
	Rectorado	546,04	870,63	1.338,90	1.416,67	1.884,94
C. Sur	ETSI Sist. de Telecomunicación y Sist. Informáticos	1.593,24	3.258,84	5.011,63	4.852,08	6.604,87
	CITSEM	684,42	2.493,50	3.834,65	3.177,92	4.519,07
	ETSI Topografía	609,62	1.307,89	2.011,35	1.917,51	2.620,97
	Polideportivo C. Sur	1.039,72	832,82	1.280,76	1.872,54	2.320,48
	INSIA	-	480,58	739,06	480,58	739,06
Madrid	ETSI Industriales	400,18	2.441,50	3.754,69	2.841,68	4.154,87
	ETSI Civil	29,92	285,68	439,34	315,60	469,26
	ETSI Minas	52,36	159,01	244,54	211,37	296,90
	ETSI Diseño Industrial	-	-	-	-	-
C. Montegancedo		13.400,42	44.564,57	68.533,95	57.964,99	81.934,37
C. Parque Tecno-Getafe		-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia (2019)

Podemos ver que las escuelas de mayor huella hídrica verde, señaladas en naranja son, junto con el Campus de Montegancedo, en primer lugar, la ETSI de Montes, INEF y la ETSI AAB.

Respecto a los resultados de huella hídrica mínimos, cuyos valores difieren mucho de los máximos, sin contar el INSIA, el campus de Getafe y la ETSI de Diseño Industrial, ya que no existe un registro de número de pies ni se ha diferenciado un área forestal al realizar el diagnóstico de las imágenes de satélite mediante la herramienta de ArcMap 10.5, tal y como se muestra en los mapas del Anexo ll.

Observando gráficamente el orden y consumo verde de las escuelas en la siguiente figura podemos afirmar que para los dos años de estudio se observa que el 28,6% (5 de las 21 escuelas) del total de los centros se encuentran por encima de la media. Siendo estos, el Campus de Montegancedo, ETSI MFMN, INEF, la ETSI AAB y la ETSI Caminos.

De un año para otro las escuelas aumentaron la huella verde en todos los casos. Al considerar el número de pies el mismo de un año al otro, al igual que las superficies arboladas, sabemos que este valor mayor en el año 2018 se da debido a que el ETR en 2018 (394,03 m3/año) fue mayor que en 2017 (256,22 m3/año).

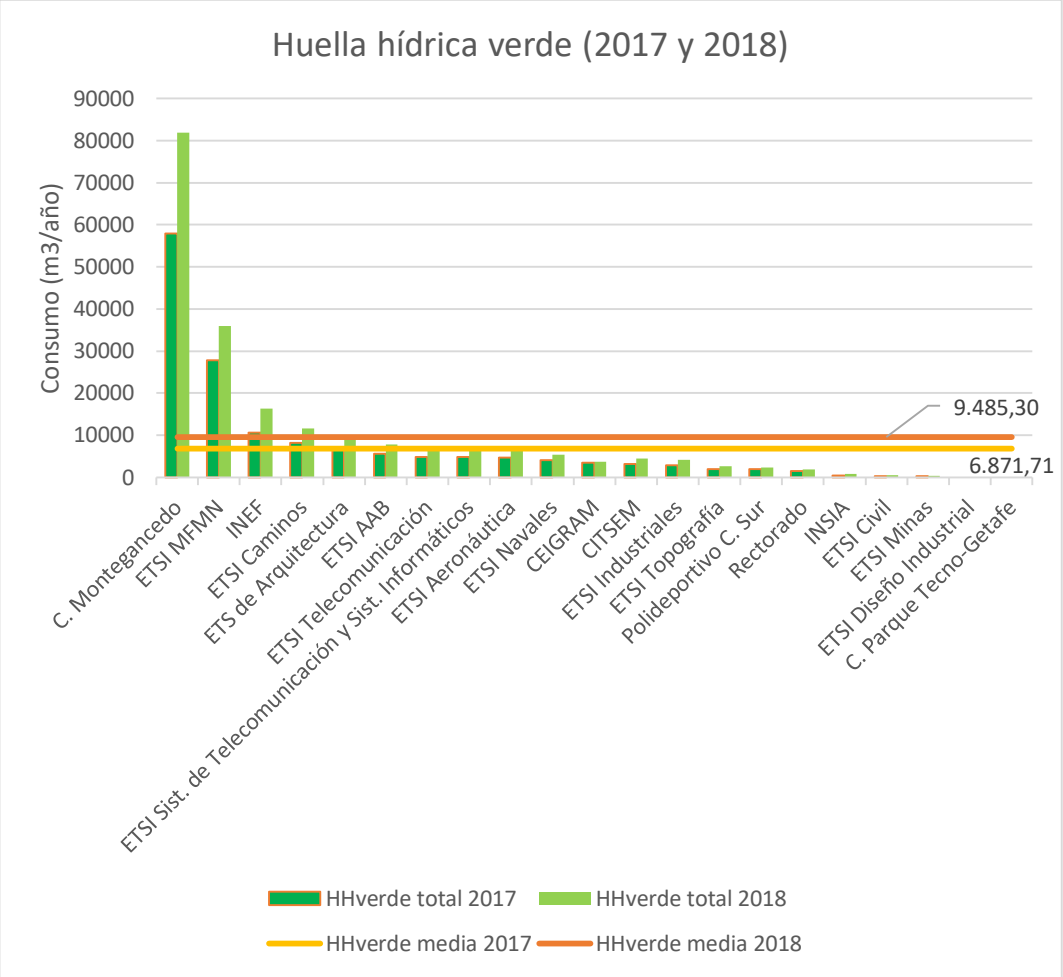


Figura 19: Huella hídrica verde y su media aritmética por campus. Años 2017 y 2018.
Fuente: Elaboración propia (2019)

4.4.2. HUELLA HÍDRICA VERDE POR CAMPUS Y UPM

Recogemos los datos en la siguiente tabla y gráficos:

Tabla 22: Huella hídrica verde a nivel campus y universidad. Año 2017 y 2018.

Campus	Consumo vegetación 2017 y 2018 (m3/año)	ETR (m3/año)		HHverde total (m3/año)	
		2017	2018	2017	2018
C. Universitaria	26.464,24	51.079,16	78.552,44	77.543,40	105.016,68
Madrid Ciudad	13.482,70	45.009,27	69.217,82	58.491,97	82.700,52
Montegancedo	13.400,42	44.564,57	68.533,95	57.964,99	81.934,37
C. Sur	4.473,04	8.763,69	13.477,30	13.236,73	17.950,34
C. Tecno-Getafe	-	-	-	-	-
Total UPM	57.820,40	149.416,68	229.781,52	207.237,08	287.601,92

Fuente: Elaboración propia (2019)

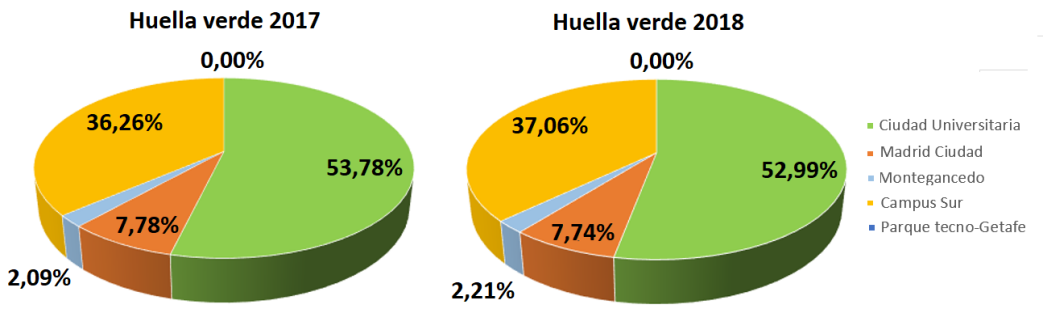


Figura 20: Porcentaje de HHverde por campus. Años 2017 y 2018.
Fuente: Elaboración propia (2019)

Observamos que los valores de ETR para el año 2018 es el factor que mayor peso tiene en este cálculo, este valor es determinado por las condiciones meteorológicas (temperatura media anual y precipitación anual) para este año, según el balance hídrico calculado.

Sería interesante poder analizar la variación de la huella verde contando con los valores de riego, ya que estos son los únicos datos que dependen directamente de la organización y los resultados del indicador serían más acordes a la situación real de los diferentes centros.

En este caso, el campus ciudad Universitaria es el que cuenta con un mayor valor de huella hídrica verde, seguido del Campus de Madrid Ciudad y Montegancedo, encontrándose los tres por encima de las medias en ambos años de estudio, tal y como se muestra a continuación (figura 21).

La huella verde global de la UPM aumentó 80.364,83 m^3 desde el 2017 hasta 2018.

Comprobamos mediante los siguientes gráficos de barras correspondientes a la huella verde, lo anteriormente citado:

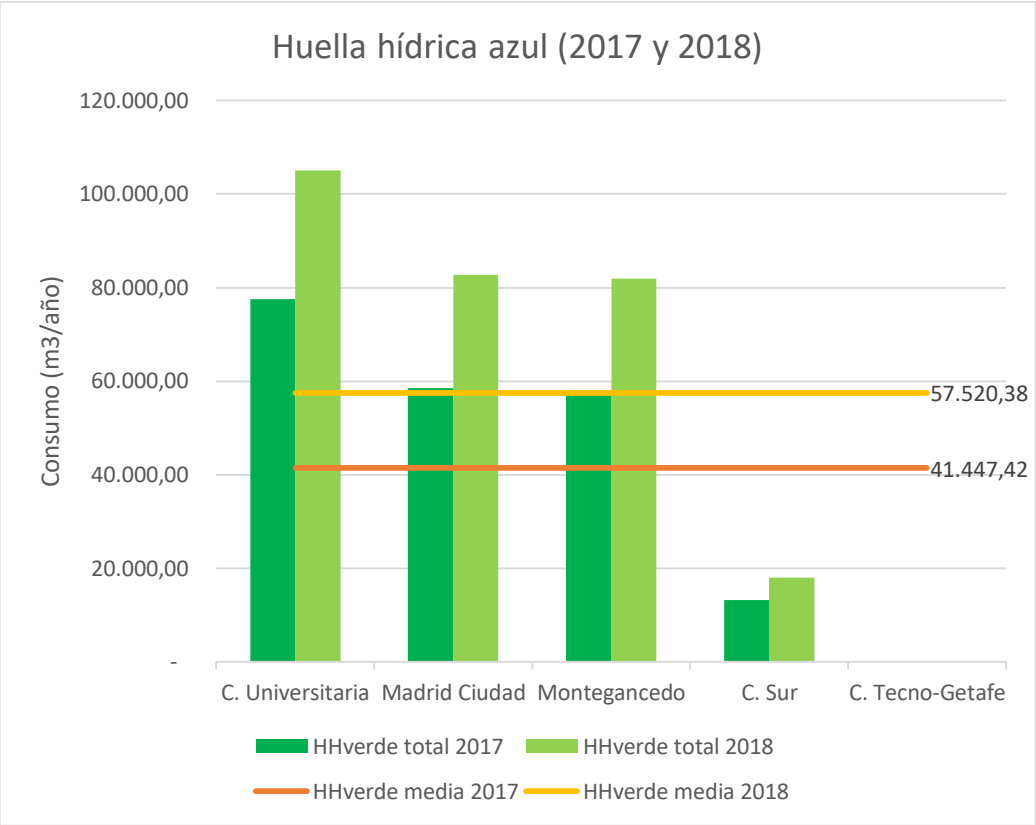


Figura 15: Huella hídrica verde y su media aritmética por campus. Años 2017 y 2018.
Fuente: Elaboración propia (2019)

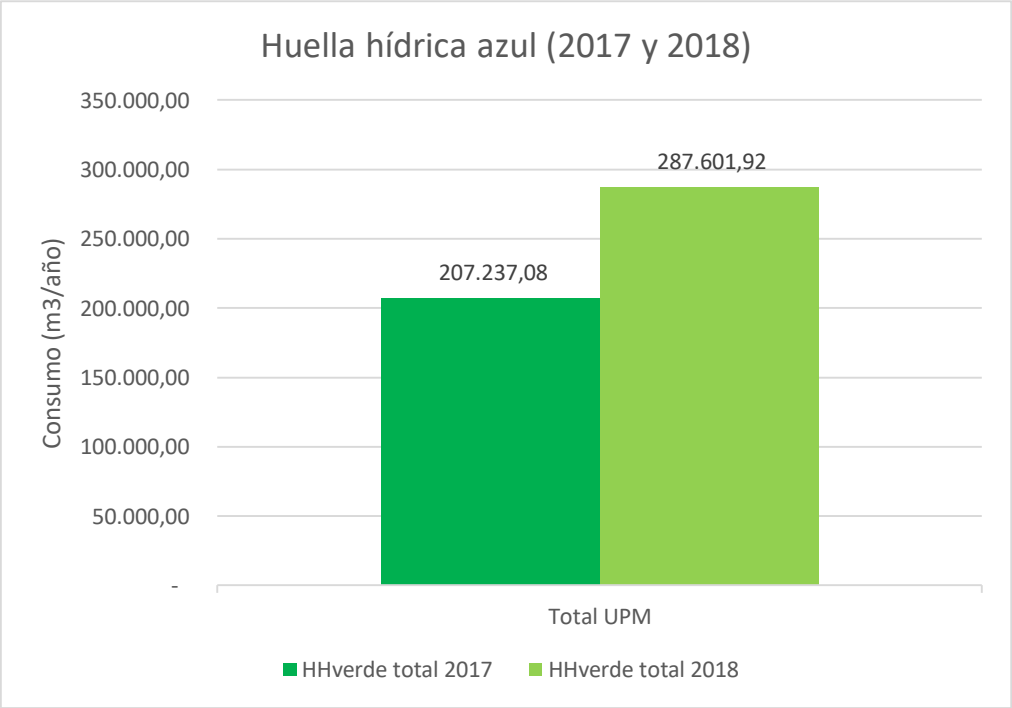


Figura 16: Huella hídrica verde total UPM. Años 2017 y 2018.
Fuente: Elaboración propia (2019)

4.5. ANÁLISIS DE LA HUELLA HÍDRICA

A continuación, analizaremos los indicadores haciendo una comparativa entre ellos para los dos años de estudio a nivel universidad. Resumiendo, los resultados en la siguiente tabla:

Tabla 23: Resultados de las huellas hídricas para la UPM. Años 2017 y 2018

Año	Tipo de huella	Concepto	Volumen (m3/año)	Total por huella (m3/año)	Total Huella hídrica (m3/año)
2017	Huella azul	Incorporada a la organización	155.165,09	155.165,09	435.991,31
	Huella gris	Aseos	71.058,00	73.589,14	
		Limpieza	2.531,14		
	Huella verde	Vegetación	57.820,40	207.237,08	
		ETR	149.416,68		
2018	Huella azul	Incorporada a la organización	135.210,16	135.210,16	492.166,70
	Huella gris	Aseos	66.823,48	69.354,62	
		Limpieza	2.531,14		
	Huella verde	Vegetación	57.820,40	287.601,92	
		ETR	229.781,52		

Fuente: Elaboración propia (2019)

La universidad redujo las huellas hídricas azul y gris desde el año 2017 hasta el año 2018. Reduciéndose exactamente: 19.954,92 m^3/año la huella azul y 4.234,52 m^3/año la huella gris. Sin embargo, la huella verde aumentó en gran proporción (80.364,83 m^3/año).

Este incremento en el indicador verde, se ve reflejado en el valor de huella hídrica como indicador global. La huella hídrica de la UPM aumentó 56.175,39 m^3 desde el 2017 hasta el 2018.

Los resultados frente a las huellas gris y azul pueden significar la concienciación por parte de la organización y sus ocupantes respecto el uso y consumo del agua. Haciendo un uso cada vez más racional y eficiente del recurso.

Sin embargo, el consumo de huella verde aumenta debido a que el consumo por parte de la vegetación se trata de un dato estimado (3,74 m^3/año y pie) cuya procedencia, la ETSI de Montes, Forestal y del Medio Natural, es una escuela que cuenta con aporte hídrico de su arboreto mediante riego. De esta manera, estamos suponiendo que todas las escuelas y centros estudiados en este proyecto cuentan con la misma proporción de riego en sus áreas verdes.

Para poder conocer el consumo hídrico que realizan los pies arbóreos sería necesario conocer qué especies existen, sus requerimientos hídricos y el aporte hídrico mediante riego que cada zona verde recibe.

A continuación, se añade un gráfico acumulado con las tres huellas hídricas diferenciadas para los dos años de estudio para los diferentes campus de la universidad y a nivel UPM. Este gráfico nos permite comparar de manera sencilla la evolución de las tres huellas, así como la huella global de la UPM.

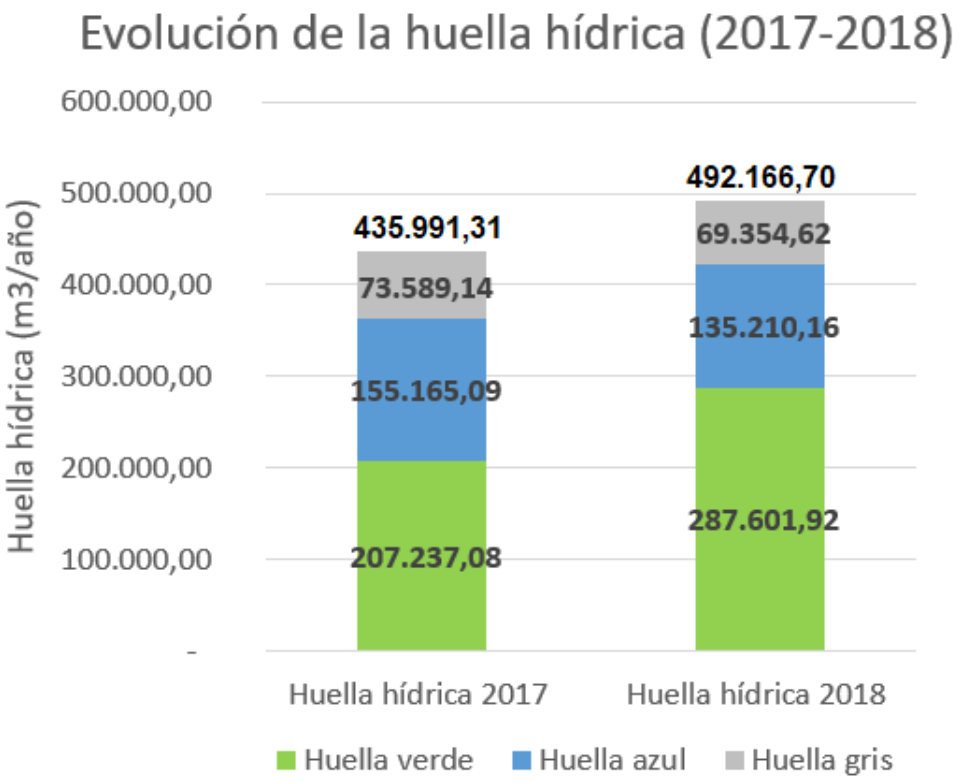


Figura 17: Comparativa de las huellas hídricas entre los dos años de estudio
Fuente: Elaboración propia

Observamos en el gráfico como el valor de las componentes gris y azul disminuyeron en 2018 a diferencia de la huella verde y el valor global del indicador.

El mayor consumo hídrico de la universidad fue destinado a la huella verde, siendo un 47,53% del total), seguido de las huellas azul con un valor correspondiente al 35,59% del total y gris 16,88% en el **año 2017**.

Para el **año 2018** los valores de huella hídrica fueron el 58,44% para la huella verde, 27,47% para la huella azul y 14,09% para la huella gris.

Esto teniendo en cuenta que de la huella azul una cantidad considerable de agua iría destinada al riego, incrementando así la huella verde y disminuyendo la azul.

Podemos observar las variaciones en los porcentajes para ambos años de estudio en el siguiente gráfico circular:

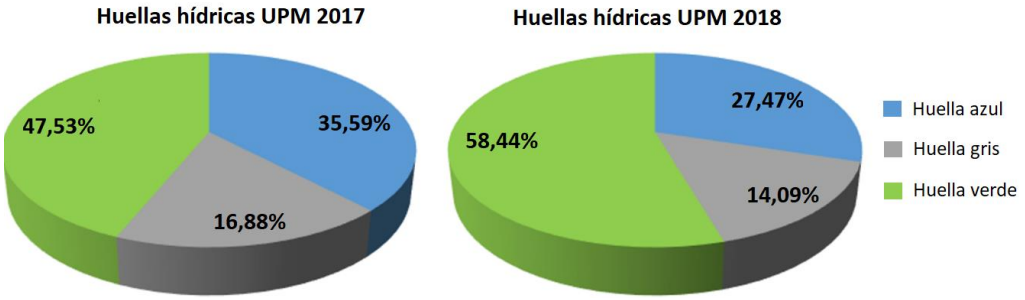


Figura 18: Porcentaje de huella hídrica a nivel UPM. Años 2017 y 2018.
Fuente: Elaboración propia (2019)

4.6. ANÁLISIS DE COSTES: "CONTADORES 0"

A la hora de analizar y traspasar la documentación cedida por el Rectorado sobre las facturas del Canal de Isabel II, hemos encontrado ciertos contadores de registro hídrico que cuentan con gasto económico, pero su consumo es cero. Esto, implica un aumento en el coste de las facturas, y, por tanto, un aumento en la ratio de coste del recurso.

A continuación, se recoge en la siguiente tabla el número de estos contadores, denominados "Contadores 0", como el centro de suministro al que pertenecen y el coste, "coste de consumo 0", asociado a ellos.

Conociendo esta situación y teniendo localizados los contadores, es importante que la organización tome medidas, pudiendo reducir así, el gasto económico. Pudiendo observar en la tabla 24, que los costes en el año 2017 en este tipo de contadores ascendieron a 35.935,56 €/año, siendo aún mayores en el año 2018 con un valor de 37.691,84 €/año. Lo cual implica la necesidad inmediata de evitar estos gastos económicos en el menor tiempo posible.

Tabla 24: Coste asociado a los "contadores de consumo 0". Años 2017 y 2018.

			Coste de consumo 0 (€/año)	
Campus	**Inmueble**	**Nº de Contador consumo 0**	**2017**	**2018**
Ciudad universitaria (2017: 13.857,43€ 2018: 14.890,83€)	Rectorado (Ed. B)	07W705682	4.158,98	4.147,54
	E.T.S.I. Aeronáutica (EUIT Aeronáutica)	G015434	2.674,47	2.652,45
	E.T.S.I Montes (EUIT forestales)	A11WH727808S	2.669,04	2.677,35
	E.T.S.I AAB (Ingeniería agrícola)	004394	2.656,12	1.066,27
	E.T.S.I AAB (Escuela Ingeniería Técnica Agrícola)	90073970	1.063,33	2.674,47
	E.T.S. Arquitectura	D10428	405,36	1.672,75
	E.T.S.I. Montes (ETSI Montes)	3576163	230,13	-
Campus Sur (2017: 10.790,6€ 2018: 10.664,59€)	E.T.S.I. Sist. Telecomunicación	06W714698	4.158,96	4.158,96
	CITSEM (Ed. La Arboleda)	FF37506	4.158,96	4.158,96
	CITSEM (Bilioteca)	08XG017643	1.777,56	1.777,58
	INSIA	E28306	695,12	569,09
Madrid Ciudad (2017: 5.145,81€ 2018: 5.675,99€)	E.T.S. de Ingeniería y Diseño Industrial	6327	1.777,60	1.772,71
	E.T.S. de Ingeniería Civil	002975	1.777,60	1.772,71
	E.T.S.I. Diseño Industrial (EIT Industrial)	D622024	1.066,27	1.063,34
	E.T.S.I. Minas	05W333978	524,34	1.067,23
Campus Montegancedo (2017: 4.671,8€ y 2018: 4.970,00€)		06XH130391	2.259,00	2.253,64
		69802098	917,58	913,40
		E10XF066049G	903,97	901,49
		4403737	591,25	-
		69802127	-	901,49
Campus tecno-Getafe (2017: 1.469,92€ y 2018: 4.970,02€)		09XG169958	1.469,92	1.490,41
Total UPM:			**35.935,56**	**37.691,84**

Fuente: Elaboración propia (2019).

En el apartado siguiente, al realizar el análisis de costes, a través de las ratios de costes (€/m^3) para los dos años de estudio, comprobamos que estos valores económicos son bastante elevados, lo cual puede deberse a esta situación.

4.7. RATIOS DE HUELLA HÍDRICA EN LA UPM

Para poder comparar los consumos de la universidad con cada una de las variables empleadas en el proyecto (número de personas, superficies edificadas y los costes sin IVA) se han elaborado la siguiente tabla que relaciona los diferentes consumos hídricos de cada año con cada una de las variables en forma de ratios. Los valores presentados equivalen a cada escuela, facultad o centro para cada variable y año y a los valores medios, también por variable y año.

Tabla 25: Ratios de consumo por escuelas y centros para las diferentes variables. Años 2017 y 2018.

		Ratios por persona (m3/persona y año)		Ratios por superficie (m3/m2 y año)		Ratios por coste (€/m3 y año)	
	Inmueble	**2017**	**2018**	**2017**	**2018**	**2017**	**2018**
Ciudad universitaria	ETSI Agrónomos (AAB)	9,13	8,91	1,24	1,07	1,18	1,04
	ETSI Telecomunicación	7,45	6,84	1,20	1,10	0,98	0,68
	ETSI Montes (MFMN)	10,48	10,22	0,21	0,18	1,06	1,13
	ETSI Caminos	4,10	3,11	0,28	0,19	1,25	1,64
	ETS de Arquitectura	2,02	2,11	0,50	0,46	1,92	2,01
	ETSI Aeronáutica	2,90	2,69	0,52	0,49	0,77	0,71
	Rectorado	8,72	7,93	1,24	1,09	5,11	5,27
	ETSI Navales	8,38	8,52	0,52	0,45	2,72	3,10
	INEF	3,58	3,35	0,12	0,11	1,62	1,48
	CEIGRAM	-	-	1,05	0,77	13,72	13,61
Campus Sur	ETSI Sist. Informáticos	7,38	5,66	1,06	0,80	0,34	0,36
	ETSI Sist. de Telecomunicación	2,00	2,36	0,21	0,24	4,12	2,59
	INSIA	329,11	571,00	0,52	0,70	1,74	1,69
	CITSEM	-	-	0,26	0,23	3,93	4,38
	ETSI Topografía	5,13	3,74	0,24	0,14	8,50	16,40
	Polideportivo C. Sur	-	-	0,21	0,14	2,99	3,82
C. Madrid	ETSI Industriales	2,44	2,37	0,27	0,25	1,56	1,55
	ETSI Diseño Industrial	1,64	1,27	0,21	0,17	1,54	1,79
	ETSI Minas	2,07	1,96	0,20	0,18	1,25	1,28
	ETSI Civil	1,80	1,77	0,26	0,22	4,26	4,39
Campus Montegancedo		5,82	5,35	0,36	0,33	1,84	1,88
Campus Parque Tecno-		-	-	0,13	0,15	2,01	1,92
Valores medios		**5,00**	**4,60**	**0,49**	**0,43**	**2,93**	**3,31**

Fuente: Elaboración propia (2019)

Se han resaltado, como en los casos anteriores los valores máximos y mínimos para cada uno de las ratios en las escuelas. Debemos tener en cuenta que el valor obtenido para el Instituto de Investigación del Automóvil (INSIA) no ha entrado dentro del cálculo medio ni de la valoración debido a su poca repetitividad con la realidad. El error en este valor se produce al tener en cuenta el número de personas de esta entidad. Al documentar la información cedida por el Rectorado respecto al número de personas vemos que para el INSIA queda registrado únicamente el personal de Administración y Servicio, siento de 9 y 7 personas para cada año.

De la misma manera que ocurría con la huella gris, para ciertos centros no aparece registro de personas, por lo que esta ratio tampoco tiene valor en estos centros.

Respecto a los valores medios para cada una de las ratios podemos indicar lo siguiente:

- Los **valores medios de las ratios** evolucionan favorablemente de un año para otro en referencia a la disminución del consumo medio por persona y la disminución del consumo medio por superficie edificada en el año 2018 respecto al año base. Por el contrario, el valor de la ratio por coste en el año 2018 es notablemente mayor en el segundo año.
- Para las **ratios por personas**, para el año 2017, tenemos un valor medio de 5,00 m^3/persona, que al compararlos con cada uno de los centros de los que obtuvimos un valor, excluyendo el INSIA, ya que dispararía los valores medios. Al igual que los valores nulos que inducirían el cálculo en sentido contrario. Podemos ver que 8 de ellos se encuentran por encima de la media y 9 de ellos por debajo de esta.
  En el año 2018, encontramos la misma situación anterior (8 superiores frente 9 inferiores), siendo en este caso el valor medio de 4,60 m^3/persona, 0,40 m^3/persona menos que el año anterior.
- En cuanto a las **ratios de superficie**, se han utilizado los valores de superficie edificada. A pesar de que la superficie arbolada también interviene en el consumo mediante el riego, al no conocer expresamente qué escuelas y en qué cantidad destinan agua al riego, no se han incluido estos valores. En el año 2017, el valor medio fue de 0,49 m^3/m^2, quedando exactamente el 50% los valores de ratio de los centros por encima y por debajo de este valor. Lo mismo ocurrió en el año 2018, siendo este valor medio 0,6 m^3/m^2 inferior al 2017.
- En cuanto a las **ratios de coste**, encontramos para ambos años un número mayor de centros por encima de los valores medios (2,93€/ m^3 en 2017 y 3,31€/ m^3 en 2018), encontrando ocho escuelas o centros de los 22 estudiados, por encima en 2017 y seis en 2018.

Respecto a los resultados de ratios medias para los campus, se analiza la siguiente información:

Tabla 26: Ratios de consumo por campus para las diferentes variables. Años 2017 y 2018.

	Ratios por persona (m3/persona y año)		Ratios por superficie (m3/m2 y año)		Ratios por coste (€/m3 y año)	
Campus	**2017**	**2018**	**2017**	**2018**	**2017**	**2018**
Ciudad Universitaria	6,31	5,96	0,69	0,59	3,03	3,07
Campus Sur	4,84	3,92	0,42	0,37	3,60	4,87
Madrid Ciudad	1,99	1,84	0,24	0,21	2,15	2,25
Montegancedo	5,82	5,35	0,36	0,33	1,84	1,88
Parque Tecno-Getafe	-	-	0,13	0,15	2,01	1,92
Valores medios	**5,00**	**4,60**	**0,49**	**0,43**	**2,93**	**3,31**

Fuente: Elaboración propia (2019)

En este caso, el valor resultante del INSIA y los valores nulos, también han sido excluido del cálculo.

Vemos que para las ratios por persona el campus por encima el valor medio es Ciudad universitaria y Montegancedo, en ambos años de estudio. Respecto al consumo hídrico en referencia a la superficie construida, observamos que Ciudad Universitaria, cuentan con un valor por encima de las medias en ambos años. Respecto al coste, Ciudad Universitaria y Campus Sur tienen sus ratios (años 2017 y 2018) por encima de las medias.

Capítulo 5: Propuestas de mejora

5. PROPUESTAS DE MEJORA

Los resultados obtenidos reflejan la importante necesidad por parte de la Universidad Politécnica de Madrid de tomar medidas de control y mejora sobre el empleo de los recursos hídricos dentro de la universidad, existiendo en algunos casos, decisiones a tomar y necesidades a solventar en el menor tiempo posible, que nos ayuden a mitigar el impacto medioambiental y económico en las diferentes escuelas, facultades y centros. En este apartado, se disponen algunas sencillas medidas enfocadas a la resolución de los problemas e impactos evaluados a lo largo del proyecto, cuya finalidad es facilitar a la organización a cumplir con los objetivos relacionados con la evaluación de la huella hídrica y gestión de los recursos hídricos.

Tras la realización de este proyecto y la obtención de resultados sobre los consumos hídricos presentes en la universidad, podemos hacernos una primera idea sobre la importancia que tiene la gestión de éstos, es decir, cuáles son las necesidades de la gestión y evaluación hídrica, las fuentes y los focos de destino del recurso, los volúmenes de agua utilizados o consumidos por la organización y en qué medida. Este primer contacto sirve como punto de partida para años futuros en los cuales se continúe estudiando y mejorando el consumo del agua como recurso cada vez más escaso e inaccesible.

Para poder plantear objetivos futuros debemos marcar propósitos a corto, medio y largo plazo vinculados a la reducción de los impactos ambientales y económicos en relación al agua. El uso y consumo hídrico se encuentra fuertemente ligado a los hábitos y costumbres de la sociedad actual, así como a las actividades que se desarrollan en las diferentes entidades públicas y privadas. Existiendo cada vez una mayor concienciación y compromiso por parte de estas para hacer un uso adecuado y sostenible de los recursos naturales. Sin embargo, es cierto que el hecho de contar con estrategias de sostenibilidad y medidas de reducción de impactos, no significa que en muchos casos sea posible llevarlas a cabo, tanto por la dificultad que pueda suponer su implementación o ya sea porque dependen de factores sociales, económicos, temporales, estructurales, entre otros. muchas veces difíciles de cumplir.

En nuestro caso, se proponen medidas a corto y medio plazo que no supongan una inversión económica inicial excesivamente elevada y sirvan como base para estudios futuros que se puedan ajustar de forma cada vez más eficiente a medidas de control y mejora. Adaptándose también, a los posibles cambios que se hayan producido los años posteriores al periodo de estudio de este proyecto, es decir, del año 2018 en adelante.

3.1. MEDIDAS RESPECTO A LOS DATOS

El principal problema a la hora de realizar este estudio se tuvo en el manejo de los datos y determinación de los límites físicos de la organización, debido a la presencia de contradicciones y falta de información entre las dos principales fuentes de referencia, el Canal de Isabel II y el Rectorado de la UPM. Impidiendo

que nos ajustemos a la metodología presente en el Manual de evaluación de huella hídrica de Hoekstra et. al (2011). Por lo que sería necesario que la organización contase con los datos de partida necesarios para la cuantificación de huella hídrica o estuviesen ajustados a las diferenciaciones de los inmuebles que constan según el Canal de Isabel II. Evitando encontrarnos con situaciones como la falta del número de personas para un edificio determinado, la falta de distribución de recursos hídricos por centros para campus enteros (Montegancedo y Tecno-Getafe), el consumo destinado a riego por cada centro, entre otros. Conocer de manera detallada todos los datos necesarios para la cuantificación de la huella hídrica es fundamental, al ser los datos los cimientos indispensables para su correcto desarrollo.

Una manera de facilitar esta situación, sería llevar a cabo los objetivos sobre huella hídrica a niveles de estudio menores, es decir, plantear los alcances de la cuantificación a nivel campus de manera independiente y posteriormente aunando los resultados para obtener resultados globales a nivel UPM. Pudiendo concretar y conocer de forma más concisa los límites de nuestra organización y los datos de partida para la cuantificación del indicador.

5.1. MEDIDAS RESPECTO A LAS INSTALACIONES

Actualmente, existen gran variedad de elementos y medidas eficientes que nos permiten reducir los consumos y las pérdidas de agua. En este estudio, se ha hecho referencia al consumo de agua por parte de los aseos y los servicios de limpieza en la escuela.

Respecto al consumo de agua en los servicios, se hacía distinción en el uso de las cisternas y los lavabos. Existen nuevos sistemas de cisterna y grifos que permiten reducir el consumo en gran medida en comparación a los más anticuados. Una primera propuesta relacionada con esto sería hacer una revisión de cada uno de los elementos del servicio presentes en cada una de las escuelas y centros, como de las posibles fugas que puedan sufrir. Además de ser aconsejable la revisión y actualización de todo aparato o electrodoméstico que en su utilización requiera el consumo de agua. En los últimos años las industrias han evolucionado de tal forma que ofrecen tecnología ecológica y eficiente medioambiental y económicamente.

La instalación de atomizadores o reductores de caudal, sensores de movimiento u otros mecanismos en grifos y cisternas son una opción sencilla y barata que permiten hacer ahorro de hasta un 50% del recurso (Heras, 2019). Dos minutos del grifo abierto se traducen en 30 litros de agua sin la utilización de estos componentes (Canal de Isabel II, 2019a). Cisternas de descarga parcial o doble tecla (2 o 3 litros) cuyo consumo es un tercio de agua respecto a los antiguos, pulsadores de interrupción voluntaria o cisternas de descarga presurizada que permiten utilizar la mínima cantidad de agua para eliminar los desechos (Heras, 2019), son solo algunos ejemplos de ahorro en el baño y, por tanto, en la huella hídrica gris. Pudiendo reducir, según los resultados obtenidos para la huella gris

de la UPM en aproximadamente 74.000 m^3 al año, correspondientes a 45.500 € al año.

Además, la presencia de papeleras y la señalización adecuada para asegurar su uso dentro de cada baño es importante, evitando así hacer del WC un cubo de basura que contamina y multiplica el uso de las cisternas.

Como pudimos ver en el capítulo de resultados, apartado 4.7.: "Análisis de costes: Contadores 0" existen contadores de consumo 0 que ocasionan altos incrementos económicos en las facturas del Canal de Isabel II sin que exista registro de consumo hídrico en ellos. Es importante que la organización tenga consciencia de qué agua se consume, hacia donde se dirige y en caso de pérdidas o gasto económico incongruente se tomen medidas al respecto, revisando los contadores y las facturas del agua podemos evitar situaciones como estas y buscar soluciones necesarias. El Canal de Isabel II ofrece un número de contacto y un grupo de técnicos especialistas que ayudan a solventar estos problemas.

El cierre de las llaves de paso en periodos en los que la escuela se encuentra cerrada durante largos periodos (finales de diciembre – principios de enero y finales de julio y el mes de agosto) es conveniente cerrar las llaves de paso, evitando posibles fugas de las instalaciones. Así como mantenerla ligeramente cerrada, reduce el volumen del caudal sin que se aprecien los cambios.

5.2. MEDIDAS RESPECTO A LAS ZONAS VERDES

El primer paso a tener en cuenta en este punto es conocer de manera detallada todas aquellas zonas verdes presentes en las escuelas, facultades o centros de la universidad. Con esto nos referimos a su superficie, a la diferenciación de zonas dentro de la superficie global de zonas verdes (zonas arboladas, zonas de césped o zonas áridas) así como las especies vegetales que las forman y la presencia o ausencia de agua destinada al riego en cada una de ellas y en caso de que exista, sus proporciones, el origen del agua o la forma de aplicación.

Respecto al riego, es interesante realizar un estudio sobre los sistemas utilizados. Y en caso de que sean mejorables o sustituibles a un sistema más eficaz, proceder a hacerlo. Existen múltiples técnicas de riego que pueden ajustarse más o menos a las condiciones y características de nuestros jardines.

La instalación de áreas de captación y depósitos de almacenamiento de aguas procedentes de lluvias, el uso de aguas reutilizadas y aptas para su uso en los sistemas de riego son una buena forma de reducir gastos.

El estudio del balance hídrico nos permite conocer los meses en los cuales la vegetación, en función de sus características (especie, edad, tipo de sistema radicular…), necesita incorporar agua de riego y en qué medida evitando someter a nuestras zonas a periodos de sequía prolongados o a incorporación de agua en exceso.

Para los años de estudio de este proyecto los meses de alto estrés hídrico se centran en julio y agosto, pudiendo reducir los meses de riego a estos dos meses y ampliándolo según las necesidades fisiológicas de la vegetación

(requerimientos hídricos, meses de fructificación…), y programando las horas de riego donde la evaporación superficial del suelo sea mínima (horas de menor temperatura).

Además, sería interesante tener en cuenta la existencia de los llamados jardines mediterráneos, estos, se caracterizan por el empleo de especies vegetales cuyos requerimientos hídricos son bajos y tienen capacidad de resistir a las altas temperaturas características de la Comunidad de Madrid durante los veranos.

En el caso de ser necesaria o se busque la implantación de una zona verde en alguno de los inmuebles que conforman la UPM, tener esta opción en cuenta es muy interesante, ya que esto nos permitiría mitigar o suprimir el consumo de agua en las épocas de riego.

5.3. MEDIDAS RESECTO A LAS PERSONAS

Es interesante hacer llegar a las personas que forman la organización, por ejemplo, los trabajadores temporales o los visitantes puntuales, la problemática a nivel mundial sobre la escasez de agua y mostrar el interés y el compromiso por parte de la organización sobre la sostenibilidad del recurso hídrico. La realización de campañas informativas y la publicación de los resultados obtenidos sobre el consumo de agua y huella hídrica, así como su evolución en el tiempo, pueden ser formas interesantes de captar la atención de todas aquellas personas relacionadas con la UPM. Actualmente existen diferentes canales de información que permiten llegar a toda persona perteneciente a la universidad, ya sean los correos electrónicos, mensajes o carteles informativos en las zonas más concurridas o donde existen puntos de agua en las instalaciones, información en la web UPM, entre otros, pueden dar buenos resultados como forma de concienciación y fomentar la participación activa en la comunidad sobre el consumo de agua.

Es importante que el mensaje haga repercusión tanto de puertas para adentro de la organización como de puertas para fuera, es decir, llevado a la vida cotidiana de la comunidad universitaria. La publicación de datos y registros de la situación de la universidad y a nivel mundial de un modo comparativo, puede ayudar a reflexionar sobre la situación del recurso, mostrando como actualmente el agua es un privilegio para unos y una necesidad inmediata para otros.

El concepto de huella hídrica y economía Verde, entre otros, no son conocidos por una gran parte de la población, por lo que proyectos como este son una buena manera de hacer llegar a las personas información relacionada con la huella hídrica y el interés por el agua. Mostrar el esfuerzo realizado por parte de la UPM (por ejemplo, proyectos en relación a la sostenibilidad, medidas de mejora y optimización de recursos) que permitan dar visibilidad a la importancia que tiene la reducción de los consumos hídricos y los impactos ambientales asociados a ellos, sirve como herramienta de garantía y transparencia para demostrar su compromiso con el medio ambiente.

5.4. MEDIDAS RESPECTO A OTRAS EMPRESAS RELACIONADAS CON LA UPM

En muchas de las escuelas y centros que forman la universidad podemos encontrar empresas subcontratadas por la organización que ofrecen diferentes servicios. Ejemplos comunes de ello son los laboratorios de investigación, las cafeterías, los servicios de limpieza, los proveedores o distribuidores de materiales…. Sería interesante conocer el nivel de compromiso que tienen estas empresas con el medio ambiente, en concreto con el agua, pues de manera indirecta, esto influye también a la huella hídrica de la universidad tal y como se explica en el Manual de evaluación de huella hídrica Hoekstra et al. (2011), siendo este un nivel de estudio mayor al aplicado en este proyecto. Procurando instaurar, si fuera necesario, métodos de concienciación en las personas implicadas con la universidad y en sus actividades.

Capítulo 6: Conclusiones

6. CONCLUSIONES

En este capítulo se exponen las conclusiones resultantes tras la realización del proyecto.

La principal conclusión tomada es que basar nuestro estudio en la Norma 14.046 sobre Gestión ambiental (huella hídrica) con el apoyo del Manual de Evaluación de huella hídrica de Hoekstra, nos permite tomar decisiones apropiadas a la hora de trabajar en el indicador, procurando ajustarnos lo máximo a lo expuesto en estos documentos y, por tanto, obteniendo resultados lo más precisos y fidedignos posible. La compatibilidad que ofrece la aplicación ambos documentos aportan la información necesaria a la hora de estudiar la huella hídrica, ya que las debilidades de cada uno de ellos se ven compensadas por las fortalezas del otro.

El establecimiento de un año base de cálculo de huella hídrica en la Universidad Politécnica de Madrid, siendo este el 2017, y el estudio progresivo en el año 2018, y en futuros años sucesivos. Nos permite hacer de este proyecto una herramienta clave de comparación y valoración sobre la huella hídrica basada en criterios técnico-científicos.

Los valores de consumo de la UPM se encuentran por debajo del último valor umbral hídrico por persona en España, según lo publicado en junio de 2018 por el INE, cuyo registro de datos fue en 2016, y por el Canal de Isabel II, en 2018. Donde se registra un consumo medio de 136 litros/habitante y día según el INE y de 127,1 m^3/habitante y día para los clientes del Canal de Isabel II. Hemos de tener en cuenta que estos datos hacen referencia a los hogares españoles, y que, por lo tanto, en consumo en una organización va a ser menos, debido a que el tiempo que pasamos en ella es menor. En nuestro caso concretamente, se obtiene un valor de 39 litros/persona y día en 2017 y de 36 litros/persona y día en 2018.

Respecto al coste del metro cúbico de agua para los años de estudio, obtenemos valores de 2,11€/ m^3 y 2,20€/ m^3 para los años 2017 y 2018 respectivamente. Sin embargo, el Canal de Isabel II registra en sus Informes anuales que el precio del metro cúbico fue para estos años de 1,47€/ m^3. Un valor bastante bajo en comparación a lo obtenido de nuestros datos, lo cual puede verse relacionado con la presencia de los contadores 0, cobrando de esta manera a la entidad por consumos registrados como 0 m^3.

Este proyecto nos permite llevar a cabo una valoración sobre las necesidades hídricas reales y los sobrecostes de consumo derivados por las actividades desarrolladas por la organización, permitiéndonos comprobar las fortalezas y debilidades de ésta. Así como evaluar la importancia y el valor de estos consumos.

Es importante determinar el compromiso y la transparencia de mejora ambiental de la UPM. Pudiendo reducir los consumos y propiciar un uso responsable, racional y adecuado del agua en el desarrollo de sus actividades. Además, dar a conocer la consideración y dedicación que tiene la organización en la lucha contra

el cambio climático dentro de la estrategia de sostenibilidad en el mundo universitario. Cumpliendo con los objetivos de optimización de recursos y reducción de costes.

Capítulo 7: Presupuesto

7. PRESUPUESTO

Recogido dentro del Informe ejecutivo, en este capítulo se recoge la información pertinente a los costes y actividades desarrolladas para la realización de este proyecto, de forma aproximada.

El desarrollo de trabajados de asesoramiento técnico y carácter científico están sujetos al pago de los precios públicos que figuran en el Boletín Oficial del Estado (B.O.E.) num. 229, del viernes 22 de septiembre de 2017 y la oficina de empleo. Valorando económicamente el tiempo invertido en el proyecto por equipos de investigación, funcionarios del Organismo y personas cuya finalidad sea el desarrollo de las tareas. Así como el uso de los equipos y materiales científicos necesarios para el correcto desarrollo de las actividades, uso de instalaciones, costes asociados a viajes, entre otros (B.O.E., 2017).

Nuestro proyecto al tratarse de un Proyecto Fin de Grado tendremos en cuenta las posibles variaciones que esto pueda significar con respecto a otro trabajo como los anteriormente citados, como los costes asociados a empresas privadas.

3.1. COSTE DEL PROYECTO

Las diferentes actividades desarrolladas para la elaboración de este proyecto, pueden ir asociadas a gastos económicos. Estas actividades se han recogido en la tabla siguiente, donde se muestra información sobre el coste unitario de cada una de ellas y el número de horas tomadas para desarrollarla. Esta información nos permite conocer el coste total (€) aplicado a cada actividad y, por tanto, al proyecto.

Tabla 27: Presupuesto del proyecto

Concepto	Coste unitario	Nº unidades	Coste total (€)
Transporte público CAM	20€/mes	7 meses	140,00
Personal no titulado	426€/mes	7 meses	2.982,00
Acciones de formación	139,75€/actuación	12	1.677,00
Gastos generales (10%)			479,90
Gastos indirectos (3%)			143,97
IVA (21%)			1.007,79
Total			**6.430,66**

Fuente: Elaboración propia (2019)

El coste de realización del proyecto es de seis mil cuatrocientos treinta euros con sesenta y seis céntimos (6.430,66€).

7.1. CRONOGRAMA

Mediante un Diagrama de Gantt dividido por semanas y meses, se muestra el trascurso de las actividades y el tiempo (en semanas) empleado en cada una de ella.

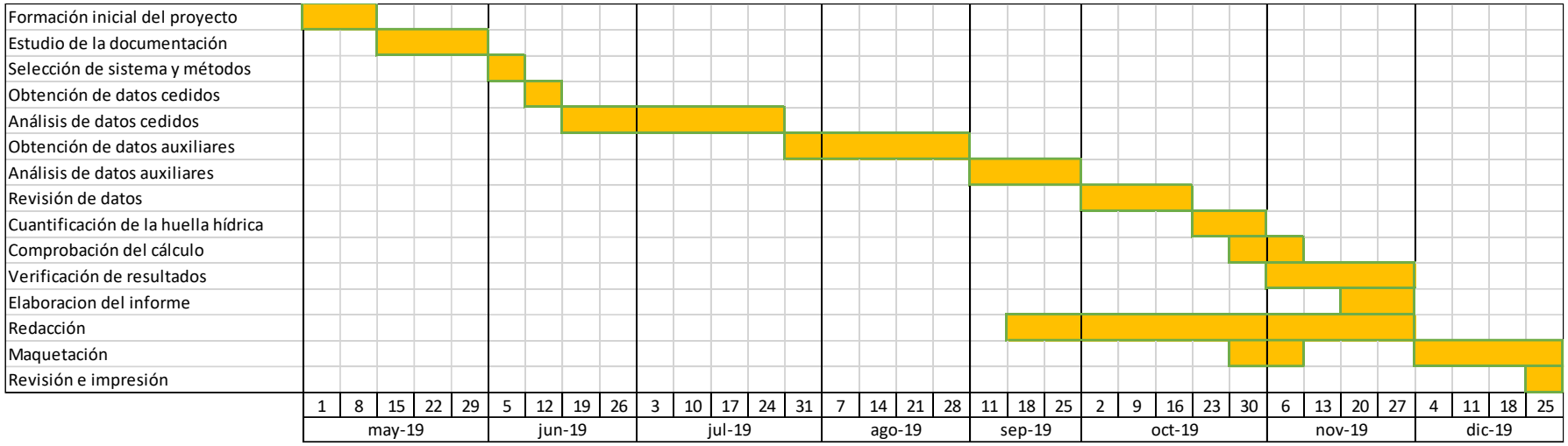


Figura 19: Cronograma de actuaciones. Año 2019.
Fuente: Elaboración propia (2019).

7.2. FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la elaboración del presupuesto se han consultado las siguientes referencias:

- Precio del transporte público Comunidad Autónoma de Madrid (https://www.crtm.es/)
- Precio personal no titulado (becarios): Oficina de empleo de la Comunidad Autónoma de Madrid.
- Acciones de formación: Boletín Oficial del Estado num. 229, del viernes 22 de septiembre de 2017 (Precios públicos para la realización de trabajos de carácter científico).
- Cálculo de horas de proyecto: Estipulado por la UPM.
- $PFG\ (horas) = 12\ ECTS\ \times 30\ \left(\frac{horas}{ECTS}\right) = 360\ horas$

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

ABCL, Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana (2012). *Las nubes y el ciclo de la energía.* Federación Bioquímica de la Provincia de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. Recuperado el 21 de diciembre de 2019, de https://www.redalyc.org/pdf/535/53559383004.pdf

Acciona S.A. (27 de abril de 2016). *Acciona*. Recuperado el 12 de junio de 2019, de https://www.acciona.com/es

Acciona, S.A (2017). *Informe de sostenibilidad.* Recuperado el 12 de junio de 2019, de https://informeanual2017.acciona.com/

Acciona, S.A (2017). *Informe Integrado.* Madrid, España: Acciona. Recuperado el 10 de agosto de 2019, de https://informeanual2017.acciona.com/download/01_informe_integrado/Informe-Integrado-2017.pdf

Acciona, S.A (2017). *Sostenibilidad para todos*. Recuperado el 23 de diciembre de 2019, de Las energías renovables: La fuerza del agua: https://www.sostenibilidad.com/energias-renovables/las-energias-renovables-la-fuerza-del-agua/

ACMS, Grupo consultores. (2019). *Grupo ACMS, Consultores*. Recuperado el 23 de julio de 2019, de ¿Qué significan las siglas ISO?: https://www.grupoacms.com

AEMET, Agencia Estatal de Meteorología (20 de febrero de 2008). *AEMET, Agencia Estatal de Meteorología*. Recuperado el 2019 de julio de 2019, de Resúmenes climatológicos. Comunidad de Madrid: www.aemet.es/es/serviciosclimaticos

Aguilera Carbonel, L. M., Brusi Belmonte, D., Casas Úbeda, J. M., Cerezo Gallego, J. M., Diez Molina, M. C., García Fernandez, F., & Garrido Garrido, J. L. (2005). La enciclopedia del estudiante: *Ciencias de la Tierra y del Universo* (Vol. 10). Torrelaguna, Madrid, España: Santillana Educación S.L. Recuperado el 30 de noviembre de 2019

Álamo, C. (13 de septiembre de 2017). *iAgua*. (iAgua, Editor) Recuperado el 12 de octubre de 2019, de Consumo de agua en una vivienda unifamiliar de Madrid. Alternativa con agua de lluvia: https://www.iagua.es/blogs/carlos-alamo/consumo-agua-vivienda-unifamiliar-madrid-alternativa-agua-lluvia

Aldaya, M. (Productor), & UNEP, Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (Dirección). (2017). *La Huella del agua* [Película]. Recuperado el 22 de octbubre de 2019, de https://www.youtube.com/watch?v=iBNn0vhiGvc

Aldaya, M. (2012). Análisis y comparación del empleo de la Huella Hídrica. *Seminario Nacional sobre la Planificación Hidrológica y el uso de la Huella Hídrica en España Madrid, 13 enero 2012.* Santander. Recuperado el 18 de agosto de 2019, de http://www.lis.edu.es/uploads/dd820d50_58ba_43e2_9192_876e56564068.pdf

Aldaya, M. (14 de junio de 2015). Introducción al cálculo de la huella hídrica según Water Footprint Network. *La huella hídrica como instrumento para la planificación hidrológica y reducción de conflictos, Seminario Nacional del Observatorio del Agua Madrid, 22 Junio 2015.* Santander, España: Recuperado el 09 de junio de 2019, de https://www.fundacionbotin.org

Aldaya, M. M. (Enero 2012). Seminario Nacional sobre la Planificación Hidrológica y el uso de la Huella Hídrica en España. En F. Botín (Ed.), *7º Seminario Nacional - Observatorio del Agua* (pág. 3). Santander: Fundación Marcelino Botín. Obtenido de https://www.fundacionbotin.org/89dguuytdfr276ed_uploads/Observatorio%20Tendencias/Sem%20NACIONALES/7%20sem%20nacional/7%20sem%20nacional-conclusiones.pdf

Aquae. (2013). *Aquae fundación*. Recuperado el 12 de octubre de 2019, de https://www.fundacionaquae.org/

Armada, Jefatura de apoyo logístico. Arsenal de Ferrol. (2019). *Definición de condificiones técnicas particulares.* Ferrol, España. Recuperado el 10 de noviembre de 2019, de http://www.armada.mde.es/contratos/doc/3-65-42-15-104-PPT.PDF

Beltrán, M. J., & Velazquez, E. (2015). *La ecología política del agua virtual y huella hídrica. Reflexiones sobre la necesidad de un análisis crítico de los indicadores de flujos virtuales de agua en la economía.* Universidad Pablo de Olavide. Sevilla, España: Revista de economía crítica. Recuperado el 10 de agosto de 2019, de http://www.revistaeconomiacritica.org/sites/default/files/revistas/n20/MariaBeltran-EstherVelazquez_Ecologia-Politica-Agua-Virtual.pdf

Benavides Ballesteros, H. O. & León Aristizabal, G. E. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático.* Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Colombia: IDEAM–METEO/008-2007. Recuperado el 02 de diciembre de 2019, de http://www.ideam.gov.co/

BO., Boletín Oficial (2006). *Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid.* Ayuntamiento de Madrid 22/06/2006 num. 5709.

BOE, Boletín Oficial del Estado (2017). Ministerio de economía, *Núm. 229, Viernes 22 de septiembre de 2017* (págs. Sec. III. Pág. 93124- 93127). Madrid, España. Recuperado el 12 de septiembre de 2019, de https://www.boe.es/boe/dias/2017/09/22/pdfs/BOE-A-2017-10821.pdf

Botín, F. (29 de junio de 2019). *7º Seminario Nacional: Planificación Hidrológica y el uso de la Huella hídrica en España*. Obtenido de https://www.fundacionbotin.org/

CAM, Comunidad Autónoma de Madrid (2019). *Conoce el territorio de la Comunidad a través de los mapas*. Recuperado el 28 de junio de 2019, de http://www.comunidad.madrid/servicios/mapas

CAM, Comunidad Autónoma de Madrid (2019). *Información completa de agua*. Recuperado el 12 de julio de 2019, de https://www.comunidad.madrid

CAM, Comunidad Autónoma de Madrid (2019). *Oficina de empleo*. Recuperado el 28 denoviembre de 2019, de https://www.comunidad.madrid/servicios/empleo/oficina-empleo

Canal de Isabel II. (2017). *Informe anual.* Madrid, España: Canal de Isabel II. Recuperado el 28 de octubre de 2019, de https://www.canaldeisabelsegunda.es/documents/20143/578755/Informe_Anual_2017+Canal+de+Isabel+II.pdf/653943d5-f87f-9c6f-f6c4-954b4fb0b0d6?t=1552901166256

Canal de Isabel II. (2018). *Informe anual.* Madrid, España: Canal de Isabel II. Recuperado el 28 de octubre de 2019, de https://www.canaldeisabelsegunda.es/documents/20143/84800/04112019_Informe_Anual_2018.pdf/5b3d688d-2543-9f40-cff4-15ea2ce335a6?t=1572868866536

Canal de Isabel II, S.A. (2019a). *Cuidamos el agua. Tarifas 2019.* Madrid. Recuperado el 10 de noviembre de 2019, de https://www.canaldeisabelsegunda.es/cuidamos-el-agua

Canal de Isabel II, S.A. (01 de enero de 2019). *El consumo de agua en la Comunidad de Madrid ha aumentado un 7,6 % durante la ola de calor*. Recuperado el 24 de AGOSTO de 2019, de https://www.canaldeisabelsegunda.es/-/el-consumo-de-agua-en-la-comunidad-de-madrid-ha-aumentado-un-7-6-durante-la-ola-de-calor

Canal de Isabel II, S.A. (2018). *Canal de Isabel II*. Recuperado el 04 de julio de 2019, de https://www.canaldeisabelsegunda.es/

CAPYCLO (2019). *Cooperativa de Agua Potable, Otros Servicios Públicos y Vivienda de Villa Nueva Limitada.* Recuperado el 08 de diciembre de 2019 de https://www.capyclo.com/servicio-agua-potable/

Casa Úbeda, J. M., Cerezo Gallego, J. M., Escarré Esteve, A., Garrido Garrigo, J. L., & Majadas García, A. (2005). LA enciclopedia del estudiante: *Ecología* (Vol. 11). Torrelaguna, Madrid, España: Santillana Educación S.L. Recuperado el 30 de noviembre de 2019

Catastro, Dirección General (2019). *Sede Electrónica del Catastro*. Recuperado el 18 de junio de 2019, de https://www.sedecatastro.gob.es/

CICESE (Dirección). (2016). *Hojas de papel - Huella Hídrica* [Película]. Recuperado el 07 de septiembre de 2019, de https://www.youtube.com/watch?v=Mb5or1CG8tM

CONAMA, Congreso Nacional del Medio Ambiente (20 de septiembre de 2019). *Diez claves de CONAMA 2014*. Obtenido de www.conama2014.conama.org

CRANA, Fundación Centro de Recursos Ambientales de Navarra (2003). *Fundación CRANA*. Recuperado el 12 de noviembre de 2019, de Normativa estatal sobre agua: www.crana.org

CRTM, Consorcio Regional de Transportes de Madrid (2019). *Tarjeta de transporte público.* Recuperado el 07 de septiembre de 2019: https://tarjetatransportepublico.crtm.es

de la Peña, J. M. (2010). *Sistemas romanos de abastecimiento de agua.* Córdoba, España: Aquae. Recuperado el 17 de noviembre de 2019, de http://www.traianvs.net/pdfs/2010_10_delapena.pdf

Endesa energía, S.A. (2019). *Tweenergy*. Recuperado el 03 de agosto de 2019, de ¿Cuánta agua consumimos en un hogar?: https://twenergy.com/

EsAgua. (2017). *Informe, El valor de la Huella Hídrica.* EsAgua. Recuperado el 02 de septiembre de 2019, de http://www.esagua.es/wp-content/uploads/2018/04/El-valor-de-la-Huella-Hídrica_EsAgua.pdf

FAO, Oganización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2018b). *El estado del planeta. Los grandes desafíos.* España: El País, S.L. Recuperado el 04 de octubre de 2019

FAO, O ganización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2018a). *El estado del planeta. Los retos del futuro.* España: El País, S.L. Recuperado el 22 de octubre de 2019

Ferrer, M., & Viegas, F. (2014). *Huella hídrica: La nueva normal internacional ISO:14.046: 2014 y su implementación.* Universidad de León. España: CONAMA, Congreso Nacional de Medio Ambiente. Recuperado el 28 de junio de 2019, de http://www.conama2014.conama.org/web/es/presentacion/diez-claves-de-conama2014.html

Ferrovial. (2019). *Plan de Operación y Mantenimiento de las infraestructuras de abastecimiento de agua.* Recuperado el 12 de noviembre de 2019, de https://blog.ferrovial.com/wp-content/uploads/sites/3/2015/03/Cuadriptico-Mantenimiento.pdf

Geoinnova, Asociación. (2019). *Geoinnova*. Recuperado el 21 de noviembre de 2019, de https://geoinnova.org/

Heras, F. (2019). *El inodoro como símbolo.* CENEAM, Centro Nacional de Educación Ambiental. Recuperado el 23 de septiembre de 2019, de https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/documentos/agua01inodoro_tcm30-172151.pdf

Hidalgo, M. M. (2014). *Los riesgos globales del 2014.* IEEE, Instituto Español de Estudios Estratégicos. Recuperado el 12 de julio de 2019, de http://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_informativos/2014/DIEEEI03-2014_RiesgosGlobales_2014_MMHG.pdf

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (5 de junio de 2011). *The water footprint assessment manual.* Londres: Earthscan. Obtenido de https://waterfootprint.org/

Howard, G., & Bartram, J. (2003). *Domestic Water Quantity, Service Level and Health.* Water Engineering and Development Centre. Geneva, Suiza: World Health

Organization. Recuperado el 15 de julio de 2019, de https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf

iAgua. (2019). *Las infraestructuras del agua españolas en números*. Recuperado el 23 de diciembre de 2019, de https://www.iagua.es/noticias/espana/locken/17/07/11/infraestructuras-agua-espanolas-numeros

iAgua Conocimiento, S.A. (3 de septiembre de 2019). *iAgua*. Obtenido de https://www.iagua.es/

Ibañez, J. C., & Pérez, D. (2018). *Cuaderno de I+D+i. Las claves del consumo domestico del agua en la Comunidad de Madrid.* Madrid, España: Canal de Isabel II. Recuperado el 05 de septiembre de 2019, de https://www.canaldeisabelsegunda.es/documents/20143/629259/28_CONSUMO+DOMÉSTICO_Electrónico_reducido+%281%29.pdf/2a185e67-2bc6-be46-ac33-db81ba105ec3?t=1562661331409

INE, Instituto Nacional de Estadística (2007). *Medio ambiente y desarrollo sostenible.* Medio ambiente. INE. Recuperado el 12 de septiembre de 2019, de https://www.ine.es/

Ihoeks

INE, Instituto Nacional de Estadística (2009). *Encuesta de Hogares y Medio Ambiente.* Hogares y medio ambiente . INE. Recuperado el 12 de septiembre de 2019, de https://www.ine.es/

INE, Instituto Nacional de Estadística (27 de noviembre de 2018a). *El consumo medio de agua de los hogares.* Estadística sobre el Suministro y Saneamiento del Agua. INE. Recuperado el 30 de agosto de 1039, de https://www.ine.es/prensa/essa_2016.pdf

INE, Instituto Nacional de Estadística (enero de 2018b). *Hacia un sistema integral de información ambiental*. Obtenido de https://www.ine.es/ss/Satellite?L=es_ES&c=INECifrasINE_C&cid=1259951032125&p=1254735116567&pagename=ProductosYServicios%2FINECifrasINE_C%2FPYSDetalleCifrasINE

INTECO, Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (2015). *INTE ISO 14046:2015, Gestión ambiental — Huella de agua — Principios, requisitos y directrices.* Costa Rica: INTECO. Recuperado el 11 de septiembre de 2019, de https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14046:ed-1:v1:es

ISO, International Organization for Standardization (2006). *ISO 14.064: Greenhouse gases*. Recuperado el 14 de septiembre de 2019, de https://www.iso.org/standard/66453.html

ISO, International Organization for Standardization (2014). *ISO 14.046: Environmental management — Water footprint — Principles, requirements and guidelines.* ISO 2014.

ISO, International Organization for Standardization (2018). *ISO 14.067: Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification.* ISO 2018.

Issuu, Inc. (8 de julio de 2019). *Issuu*. Recuperado el 01 de diciembre de 2019, de https://issuu.com/

itdUPM (Dirección). (2017). *Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo itdUPM* [Película]. Madrid, España. Recuperado el 01 de diciembre de 2019, de https://www.youtube.com/watch?v=4m6kSLbxAiY

Loaiza, P. M., & Quiceno, A. C. (2008). *"Cálculo de la Huella Hídrica en Universidades" caso de estudio Universidad Católica de Manizales,en el marco del Sistema de Gestión Ambiental.* Manizales, Caldas, Colombia. Recuperado el 02 de noviembre de 2019, de http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/2362/Pamela%20Mar%C3%ADa%20Loaiza%20G%C3%B3mez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Maps, Google (2019). *Google Maps*. Recuperado el 10 de julio de 2019, de https://www.google.es/maps/

Media Analytics, Ldt. (2019). *Global Water Intelligence*. Recuperado el 12 de julio, de American Water Intelligence: https://www.globalwaterintel.com/

Monographies, W. (2015). *El agua y el desarrollo sostenible.* España: Ramiro Aurín Lopera. Recuperado el 12 de septiembre de 2019, de https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/WM_IIIESP.pdf

OMS, Organización Mundial de la Salud. (mayo 2009). *Cantidad mínima de agua necesaria para uso doméstico: Guía Técnica sobre Saneamiento, agua y salud No. 9 de la OMS.* Recuperado el 15 de octubre de 2019, de http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/9-UsoDomestico.pdf

ONU, Organización de las Naciones Unidas. (22 de Marzo de 2006). *Noticias ONU*. Recuperado el 22 de noviembre de 2019, de ONU destaca la importancia del agua en la cultura: https://news.un.org/es/story/2006/03/1075461

ONU, Organización de las Naciones Unidas. (22 de Marzo de 2007). *Noticias ONU*. Recuperado el 22 de noviemnre de 2019, de Día Mundial del Agua: ONU llama a gestión coordinada del recurso: https://news.un.org/es/story/2007/03/1100371

ONU, Organización de las Naciones Unidas. (2009). *Cantidad mínima de agua necesaria para uso doméstico.* Guías técnicas sobre saneamiento, agua y salud. Guía técnica No. 9 – Revisión mayo 2009. Recuperado el 02 de noviembre de 2019, de http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/9-UsoDomestico.pdf

Ordoñez, D. (2016). *Huella hídrica en las organizaciones. Caso de la E.T.S.I. de Montes, Forestal y del Medio Natural (2012-2014).* Madrid, España. Recuperado el 05 de junio de 2019

Ortiz, J. P. (2016). *Informe de cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero. Huella de Carbono de la UPM 2016.* Huella de carbono Montes-UPM, Madrid. Recuperado el 09 de 0ctubre de 2019

Pacto Mundial Red España. (19 de septiembre de 2019). *UN Global Compact*. Recuperado el 21 de noviembre de 2019, de Empresas y organizaciones ante el ODS 6: https://www.pactomundial.org

Pascual, T. (14 de agosto de 2017). *Instituto Tomás Pascual Sanz*. Recuperado el 17 de septiembre de 2019, de Funciones del agua en el cuerpo humano: https://www.institutotomaspascualsanz.com/funciones-del-agua-cuerpo-humano/

Pellicer-Martínez, F., & Martínez, J. M. (2014). *La evaluación de la Huella Hídrica Gris en una Demarcación Hidrográfica.* CONAMA, Congreso Nacional del Medio Ambiente.

PNUD, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (22 de octubre de 2019). *Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento*. Obtenido de https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html

RES2+U, Campus Sostenible UPM (2019). *Responsables, Sostenibles, Sociales y Universitarios (Campus Sostenible UPM)*. Recuperado el 09 de septiembre de 2019, de https://blogs.upm.es/res2masu/

Rodrigo, A. (2019). *Inventario, tipificación y bases para la ordenación de las zonas verdes de la Universidad Politécnica de Madrid para la cuantificación de la contrahuella de carbono.* Huella de carbono Montes-UPM, Madrid. Recuperado el 09 de 0ctubre de 2019

Sánchez, F. J. (2019). Evapotranspiración. Salamanca, España: Departamente de Geología Universidad de Salamanca. Recuperado el 17 de agosto de 2019, de http://hidrologia.usal.es/temas/Evapotransp.pdf

SIWI, Stockholm International Water Institute (06 de agosto de 2019). *World Water Week*. Obtenido de https://www.worldwaterweek.org/

Sotelo, J. A., Olcina, J., García, F., & Sotelo, M. (2012). Huella hídrica de España y su diversidad territorial. Madrid, España: UCM, Universidad Complutense de Madrid. Recuperado el 23 de julio de 2019, de https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/34083/1/2012_Sotelo_etal_EstudGeogr.pdf

UMEP, United Nations Environment Programme (Dirección). (2014). *Two Minutes on Oceans w/ Jim Toomey: Wastewater* [Película]. Recuperado el 26 de septiembre de 2019, de https://www.youtube.com/watch?v=itCOY7VviRU

UNESCO, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2016). *The United Nations World Water Development Report 2016 - Water and Jobs.* París, Francia: Ediciones UNESCO. Recuperado el 28 de octubre de 2019, de

htthttps://www.undp.org/content/dam/saudi_arabia/docs/Publications/SA%20-%202016%20world%20water%20report.pdf

UNESCO, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (22 de octubre de 2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019. No dejar a nadie atrás.* París, Francia: Ediciones UNESCO. Recuperado el 11 de septiembre de 2019, de https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf

UPM, Universidad Politécnica de Madrid (Dirección). (2014). *Descubre la UPM en tres minutos* [Película]. Recuperado el 11 de agosto de 2019, de https://www.youtube.com/watch?v=ryUHqY2yx1g

UPM, Universidad Politécnica de Madrid (2019a). *Plan de Sostenibilidad Ambiental 2018/2019.* UPM sostenible, Madrid. Recuperado el 15 de septiembre de 2019, de http://minasyenergia.upm.es/attachments/article/2980/Plan%20de%20Sostenibilidad%20Ambiental_UPM.pdf

UPM, Universidad Politécnica de Madrid (2019b). *upm*. Recuperado el 02 de julio de 2019, de www.upm.es

USGS, United States Geological Survey (21 de octubre de 2019). *USGS, science for a changing world*. Obtenido de How much water do I use at home each day?: https://www.usgs.gov/

USGS, United States Geological Survey (2019). *USGS, sicence for a changing world*. Recuperado el 12 de septiembre de 2019, de The water cycle: https://www.usgs.gov/

Water Footprint Network. (28 de agosto de 2019). *Water Footprint Network*. Obtenido de https://waterfootprint.org/en/

We Are Water, Fundation. (2019). *Fundación We Are Water*. Recuperado el 27 de octubre de 2019, de https://www.wearewater.org/es

ÍNDICE DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

- A.C.V.: Análisis de ciclo de vida
- A.E.M.E.T.: Agencia Estatal de Meteorología
- C.A.M.: Comunidad Autónoma de Madrid
- C.B.G.P.: Centro de Investigación en Biotecnología y Genómica de Plantas
- C.E.I.G.R.A.M.: Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Medioambientales
- C.I.T.S.E.M.: Centro de Investigación en Tecnologías Software y Sistemas Multimedia para la Sostenibilidad
- C.O.N.A.M.A.: Congreso Nacional de Medio Ambiente
- CNIG: Centro Nacional de Información Geográfica
- E.E.E.S.: Espacio Europeo de Educación Superior
- E.T.P.: Evapotranspiración Potencial
- E.T.R.: Evapotranspiración Real
- E.T.S.: Escuela técnica superior
- E.T.S.I. A.A.B.: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas
- E.T.S.I. AAB.: Escuela Técnica Superior de Agrónomos, Alimentos y Biosistemas
- E.T.S.I. M.F.M.N.: Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural
- E.T.S.I.: Escuela Técnica Superior de Ingeniería
- E.T.S.I.: Escuelas Técnicas Superiores de Ingeniería
- E.T.S.I.I.: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Informáticos
- E.T.S.I.T.: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación
- E.U.I.T.A.: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola
- EUIT: Escuela Universitaria de Ingenieros Técnicos
- G.E.I.: Gases de Efecto Invernadero
- G.I.T.A.: Grado en Ingeniería de Técnicas Ambientales
- H.H.: Huella hídrica
- I.G.N.: Instituto Geográfico Nacional
- I.N.E. Instituto Nacional de Estadística
- I.N.E.F.: Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte
- I.N.S.I.A.: Instituto de Investigación del Automóvil
- I.S.C.N.: International Sustainable Campus Network
- I.S.O.: International Organization for Standardization
- I.S.O.M.: Instituto de Sistemas Opto electrónicos
- I.V.A.: Impuesto de valor agregado
- O.M.S.: Organización Mundial de la Salud
- O.N.U.: Organización de las Naciones Unidas
- P.F.G.: Proyecto Fin de Grado
- P.F.M: Proyecto Fin de Grado
- P.N.O.A.: Plan Nacional de Ortografía Aérea
- P.N.U.D.: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
- P.N.U.M.A.: Programa de la ONU para el Medio Ambiente
- R.S.U.: Responsables, Sostenibles, Universitarios
- U.C.M.: Universidad Complutense de Madrid

- U.P.M.: Universidad Politécnica de Madrid
- W.C.: Water closet

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Superficies de Escuelas de Ingeniería y Centros de Investigación del Campus Ciudad universitaria de la UPM. 50

Tabla 2: Superficies de Escuelas de Ingeniería y Centros de Investigación del Campus Sur de la UPM. 51

Tabla 3: Superficies de Escuelas de Ingeniería del Campus Madrid Ciudad de la UPM . 52

Tabla 4: Superficies de Campus de Montegancedo de la UPM. 53

Tabla 5: Superficies de Campus Parque Tecno-Getafe de la UPM 54

Tabla 6: Población de Escuelas de Ingeniería y Centros de Investigación del Campus Ciudad universitaria de la UPM. Curso 2017-2018. 60

Tabla 7: Población de Escuelas de Ingeniería y Centros de Investigación del Campus Sur de la UPM. 61

Tabla 8: Población de Escuelas de Ingeniería y Centros del Campus Madrid Ciudad, Montegancedo, Tecno-Getafe y total UPM 62

Tabla 9: Fuentes de suministro y consumo hídrico en la UPM. 64

Tabla 10: Tipo de datos y su fuente para la cuantificación de la HH 66

Tabla 11: Datos de partida para el cálculo de huella gris. Años 2017 y 2018 74

Tabla 12: Cálculos de obtención de HHgris. Años 2017 y 2018 74

Tabla 13: Datos de partida para la cuantificación de HHverde. Años 2017 y 2018 77

Tabla 14: Cálculos de obtención de HHverde. Años 2017 y 2018 77

Tabla 15: Consumo hídrico y coste sin IVA por escuelas. Año 2017 y 2018. 86

Tabla 16: Consumo hídrico y coste sin IVA a nivel campus y universidad. Año 2017 y 2018.) 87

Tabla 17: Huella hídrica gris por escuelas, facultades y centros. Año 2017 y 2018. 89

Tabla 18: Huella hídrica gris a nivel campus y universidad. Año 2017 y 2018. 91

Tabla 19: Huella hídrica gris (m3/año) por escuelas, facultades y centros. Año 2017 y 2018. 93

Tabla 20: Huella hídrica azul a nivel campus y universidad. Año 2017 y 2018. 95

Tabla 21: Huella hídrica verde por escuelas, facultades y centros. Años 2017 y 2018. .. 98

Tabla 22: Huella hídrica verde a nivel campus y universidad. Año 2017 y 2018. 99

Tabla 23: Resultados de las huellas hídricas para la UPM. Años 2017 y 2018 102

Tabla 24: Coste asociado a los "contadores de consumo 0". Años 2017 y 2018. 105

Tabla 25: Ratios de consumo por escuelas y centros para las diferentes variables. Años 2017 y 2018. 106

Tabla 26: Ratios de consumo por campus para las diferentes variables. Años 2017 y 2018..... 107

Tabla 27: Presupuesto del proyecto 124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo hidrológico. Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (2019) 4

Figura 2: Proporción de la población que utiliza al menos servicios básicos de agua potable. Año 2015. Fuente: UNESCO, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2019). 6

Figura 3: Distribución mundial de la escasez hídrica en las principales cuencas hidrográficas. Año 2018. FAO. El estado del planeta. Los retos del futuro (2018b) 11

Figura 4: Las tres dimensiones del desarrollo sostenible. Fuente: Instituto Nacional de Estadística (2008). 13

Figura 5: Representación esquemática de los componentes de la huella hídrica. Fuente: Mayte Aldaya, Seminario Nacional del Observatorio del Agua (2015). 20

Figura 6: Evolución de las huellas hídricas mundiales. Años 1996-2005. Fuente: We are water foundation (2019) 21

Figura 7: Herramientas de cálculo de HH en las organizaciones. Fuente: Elaboración propia (2019) 22

Figura 8: Huella hídrica gris y su media aritmética por escuelas. Años 2017 y 2018. Fuente: Elaboración propia (2019) 90

Figura 9: Porcentaje de HHgris por campus. Años 2017 y 2018. Fuente: Elaboración propia (2019) 91

Figura 10: Huella hídrica gris y su media aritmética por campus. Años 2017 y 2018. Fuente: Elaboración propia (2019) 91

Figura 11: Huella hídrica gris total UPM. Años 2017 y 2018. Fuente: Elaboración propia (2019) 92

Figura 12: Huella hídrica azul y su media aritmética por escuelas. Años 2017 y 2018. Fuente: Elaboración propia (2019) 94

Figura 13: Huella hídrica azul y su media aritmética por campus. Años 2017 y 2018. Fuente: Elaboración propia (2019) 96

Figura 14: Huella hídrica azul total UPM. Años 2017 y 2018. Fuente: Elaboración propia (2019) 96

Figura 16: Huella hídrica verde y su media aritmética por campus. Años 2017 y 2018. Fuente: Elaboración propia (2019) 101

Figura 17: Huella hídrica verde total UPM. Años 2017 y 2018. Fuente: Elaboración propia (2019) 101

Figura 18: Comparativa de las H.H. entre los dos años de estudio Fuente: Elaboración propia 103

Figura 19: Porcentaje de HH por UPM. Años 2017 y 2018. Fuente: Elaboración propia (2019) 104

Figura 20: Cronograma de actuaciones. Año 2019. Fuente: Elaboración propia (2019). 125

Anexos

Anexo I: Cálculos

Cuantificación de la huella gris y azul:

$$HHgris = \left((0,006 + 0,004) \times \frac{Nº\ personas}{año} \times Nº\ días/año + 0,004418 \times Sup.edificada \right)$$

{Ec. 7}

$$HHazul = \Sigma\ consumos - \Sigma HHgris$$

{Ec. 8}

Datos de partida	Valor	Empleo en el cálculo
Nº usos cisterna/persona y dia (hogar)	5	-
Nº usos lavabo/persona y dia (hogar)	18	-
Nº usos cisterna/persona y dia (UPM)	**1**	HH gris (Aseos)
Nº usos lavabo/persona y dia (UPM)	**1**	
Consumo cisterna (m3/uso)	**0,006**	
Consumo lavabo (m3/uso)	**0,004**	
Consumo mínimo en las escuelas (m3/alu	0,002	
Nº dias abierta la UPM en 2017	**150**	
Nº dias abierta la UPM en 2018	**148**	
Nº de personas en 2017	**Según el centro**	
Nº de personas en 2018		
Superficie edificada (m2)		HH gris (limpieza)
Consumo limpieza ETSI MFMN (m3/año)	85,71	
Superficie edificada ETSI MFMN (m2)	19.400	
Ratio ETSI MFMN (m3/m2 y año)	**0,0044180**	

	Inmueble	Total personas 2017	Total personas 2018	Superficie edificada (m2)
Ciudad universitaria	ETSI Agronomos (AAB)	3.544,00	3.133,00	26.001,00
	CEIGRAM	-	-	4.822,00
	ETSI Montes (MFMN)	1.778,00	1.572,00	88.060,69
	ETSI Caminos	3.103,00	2.841,00	46.161,00
	Rectorado	1.039,00	1.008,00	7.313,00
	ETSI Telecomunicación	3.428,00	3.406,00	21.264,35
	ETSI Aeronáutica	4.108,00	4.188,00	23.036,00
	ETS de Arquitectura	6.184,00	5.445,00	25.053,55
	ETSI Navales	1.014,00	872,00	16.481,00
	INEF	1.643,00	1.582,00	48.768,00
Campus Sur	INSIA	9,00	7,00	5.708,00
	ETSI Sist. de Telecomunicación	4.128,00	4.093,00	40.134,00
	ETSI Sist. Informáticos	2.058,00	2.023,00	14.266,23
	ETSI Topografía	408,00	322,00	8.882,00
	CITSEM	-	-	9.670,00
	Polideportivo C. Sur	-	-	4.640,00
Madrid Ciudad	ETSI Industriales	5.628,00	5.490,00	51.535,00
	ETSI Diseño Industrial	3.220,00	3.330,00	24.817,00
	ETSI Minas	2.149,00	2.011,00	21.835,36
	ETSI Civil	1.395,00	1.210,00	9.725,56
Campus Montegancedo		2.431,00	2.431,00	39.728,00
Campus Parque Tecno-Getafe		-	-	28.726,00
Total UPM		47.267,00	44.964,00	566.627,74

	Inmueble	Consumo (m3/año)		HHgris aseos (m3/año)		HHgris limpieza	HHgris total (m3/año)		HHazul (m3/año)	
		2017	2018	2017	2018		2017	2018	2017	2018
Ciudad universitaria	ETSI Agronomos (AAB)	32.371,00	27.912,00	5.316,00	4.636,84	114,87	5.430,87	4.751,71	26.940,13	23.160,29
	CEIGRAM	5.057,00	3.725,00	-	-	21,30	21,30	21,30	5.035,70	3.703,70
	ETSI Montes (MFMN)	18.635,00	16.073,00	2.667,00	2.326,56	389,03	3.056,03	2.715,59	15.578,97	13.357,41
	ETSI Caminos	12.723,00	8.847,00	4.654,50	4.204,68	203,93	4.858,43	4.408,61	7.864,57	4.438,39
	Rectorado	9.059,00	7.997,00	1.558,50	1.491,84	32,31	1.590,81	1.524,15	7.468,19	6.472,85
	ETSI Telecomunicación	25.525,00	23.299,00	5.142,00	5.040,88	93,94	5.235,94	5.134,82	20.289,06	18.164,18
	ETSI Aeronáutica	11.923,00	11.255,00	6.162,00	6.198,24	101,77	6.263,77	6.300,01	5.659,23	4.954,99
	ETS de Arquitectura	12.487,00	11.465,00	9.276,00	8.058,60	110,68	9.386,68	8.169,28	3.100,32	3.295,72
	ETSI Navales	8.501,00	7.427,00	1.521,00	1.290,56	72,81	1.593,81	1.363,37	6.907,19	6.063,63
	INEF	5.888,00	5.296,00	2.464,50	2.341,36	215,45	2.679,95	2.556,81	3.208,05	2.739,19
Campus Sur	INSIA	2.962,00	3.997,00	13,50	10,36	25,22	38,72	35,58	2.923,28	3.961,42
	ETSI Sist. de Telecomunicación	8.273,00	9.649,00	6.192,00	6.057,64	177,30	6.369,30	6.234,94	1.903,70	3.414,06
	ETSI Sist. Informáticos	15.186,00	11.458,00	3.087,00	2.994,04	63,03	3.150,03	3.057,07	12.035,97	8.400,93
	ETSI Topografía	2.092,00	1.204,00	612,00	476,56	39,24	651,24	515,80	1.440,76	688,20
	CITSEM	2.553,00	2.188,00	-	-	42,72	42,72	42,72	2.510,28	2.145,28
	Polideportivo C. Sur	970,00	659,00	-	-	20,50	20,50	20,50	949,50	638,50
Madrid Ciudad	ETSI Industriales	13.746,00	13.003,00	8.442,00	8.125,20	227,67	8.669,67	8.352,87	5.076,33	4.650,13
	ETSI Diseño Industrial	5.280,00	4.217,00	4.830,00	4.928,40	109,64	4.939,64	5.038,04	340,36	-
	ETSI Minas	4.454,00	3.939,00	3.223,50	2.976,28	96,46	3.319,96	3.072,74	1.134,04	866,26
	ETSI Civil	2.517,00	2.140,00	2.092,50	1.790,80	42,97	2.135,47	1.833,77	381,53	306,23
Campus Montegancedo		14.156,00	12.994,00	3.646,50	3.597,88	175,51	3.822,01	3.773,39	10.333,99	9.220,61
Campus Parque Tecno-Getafe		3.617,00	4.375,00	-	-	126,91	126,91	126,91	3.490,09	4.248,09
Total UPM		217.975,00	193.119,00	70.900,50	66.546,72	2.503,24	73.403,74	69.049,96	144.571,26	124.069,04

Cuantificación de la huella verde:

$$HHverde = 3,74 \times N^{\circ}\ pies + \left(ETR\left(\frac{m3}{año\ y\ m2}\right) \times Sup.\ arbolada(m2)\right)$$

{Ec. 9}

Datos de partida	Valor	Empleo en el cálculo
Consumo por especies vegetales ETSI MFMN (m3/año)	12.403,65	-
Nº pies ETSI MFMN	3.312,00	
Ratio de consumo ETSI MFMN (m3/pie y año)	**3,7416742**	Consumo por la vegetación
Nº pies	**Según el centro**	
Datos meteorológicos (temperatura y precipitación mensual) Dic. 2016-Dic. 2018	Según el mes y el año	Balance hídrico ETR
ETR (m3/año y m2) en 2017	**0,25622**	ETR (m3/año)
ETR (m3/año y m2) en 2018	**0,39403**	
Superficie arbolada (m2)	**Según el centro**	

	Inmueble	Nº pies	Superficie arbolada (m2)
Ciudad universitaria	ETSI Agronomos (AAB)	360	16.450,68
	CEIGRAM	813	1.696,00
	ETSI Montes (MFMN)	3.438	58.569,69
	ETSI Caminos	529	24.314,00
	Rectorado	146	3.398,00
	ETSI Telecomunicación	354	13.864,00
	ETSI Aeronáutica	423	12.281,00
	ETS de Arquitectura	594	17.610,90
	ETSI Navales	399	10.001,00
	INEF	20	41.172,64
Campus Sur	INSIA	-	1.875,67
	ETSI Sist. de Telecomunicación y Sist. Informáticos	426	12.719,00
	ETSI Topografía	163	5.104,61
	CITSEM	183	9.731,94
	Polideportivo C. Sur	278	3.250,44
Madrid Ciudad	ETSI Industriales	107	9.529,00
	ETSI Diseño Industrial	-	-
	ETSI Minas	14	620,61
	ETSI Civil	8	1.115,00
Campus Montegancedo		3.583	173.932,00
Campus Parque Tecno-Getafe		-	-
Total UPM		11.838	417.236,16

Balance hídrico:

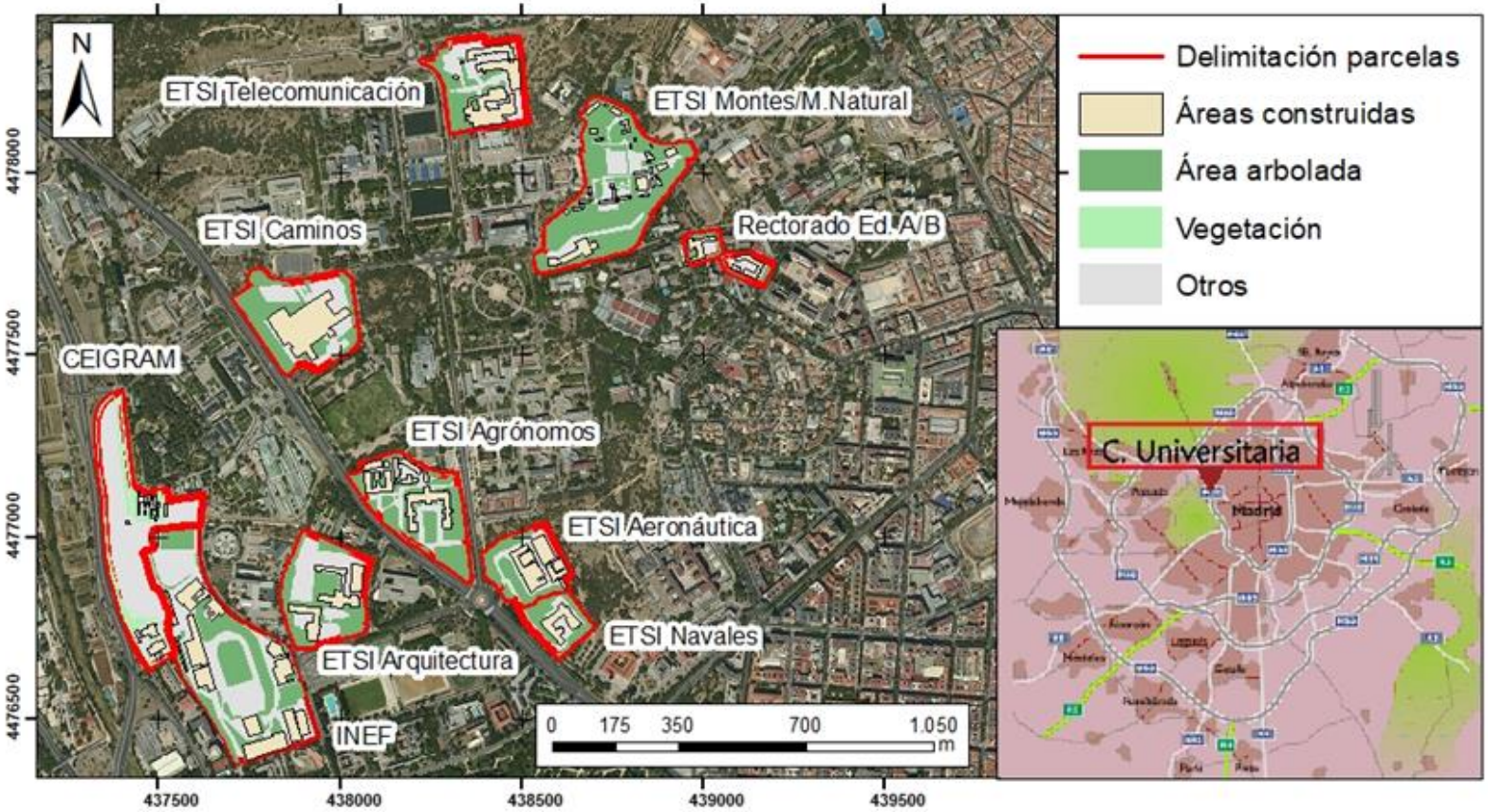
2017	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
T	6,00	9,20	12,20	16,00	20,10	26,40	26,80	26,70	21,50	18,70	10,20	6,80
ETP-ref	8,04	17,07	34,65	60,63	101,01	165,78	173,04	160,97	96,33	69,30	20,52	9,71
Kc	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ETP	8,04	17,07	34,65	60,63	101,01	165,78	173,04	160,97	96,33	69,30	20,52	9,71
Pbruta	21,50	44,80	19,20	12,40	27,10	4,70	49,30	26,00	0,00	24,70	9,00	17,40
% E.D.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
E superf.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P	21,50	44,80	19,20	12,40	27,10	4,70	49,30	26,00	0,00	24,70	9,00	17,40
P-ETP	13,46	27,73	-15,45	-48,23	-73,91	-161,08	-123,74	-134,97	-96,33	-44,60	-11,52	7,69
PPA	0,00	0,00	-15,45	-63,69	-137,60	-298,68	-422,41	-557,39	-653,72	-698,31	-709,84	0,00
K	21,18	48,91	48,91	48,91	48,91	48,91	48,91	48,91	48,91	48,91	48,91	7,69
ST	21,18	48,91	35,66	13,30	2,94	0,11	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	7,69
ΔST	13,49	27,73	-13,25	-22,36	-10,37	-2,83	-0,10	-0,01	0,00	0,00	0,00	7,69
ETR	8,04	17,07	32,45	34,76	37,47	7,53	49,40	26,01	0,00	24,70	9,00	9,71

2018	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
T	7,20	6,30	8,80	13,40	17,10	22,20	25,90	27,70	24,00	15,40	10,40	7,80
ETP-ref	13,42	10,64	22,62	48,68	80,57	124,80	163,42	170,93	118,99	52,93	24,28	14,76
Kc	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ETP	13,42	10,64	22,62	48,68	80,57	124,80	163,42	170,93	118,99	52,93	24,28	14,76
Pbruta	50,40	73,00	140,70	78,80	78,40	19,00	0,00	0,00	9,80	57,30	70,40	11,40
% E.D.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
E superf.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P	50,40	73,00	140,70	78,80	78,40	19,00	0,00	0,00	9,80	57,30	70,40	11,40
P-ETP	36,98	62,36	118,08	30,12	-2,17	-105,80	-163,42	-170,93	-109,19	4,37	46,12	-3,36
PPA	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,17	-107,97	-271,38	-442,31	-551,50	0,00	0,00	-3,36
K	84,62	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	4,77	50,89	50,89
ST	84,62	100,00	100,00	100,00	97,85	33,97	6,63	1,20	0,40	4,77	50,89	47,63
ΔST	36,98	15,38	0,00	0,00	-2,15	-63,88	-27,34	-5,43	-0,80	4,37	46,12	-3,26
ETR	13,42	10,64	22,62	48,68	80,55	82,88	27,34	5,43	10,60	52,93	24,28	14,66

	Inmueble	Consumo vegetación 2017 y 2018	ETR (m3/año)		HHverde (m3/año)	
			2017	2018	2017	2018
C. Universitaria	ETSI MFMN	12.858,12	15.006,63	23.078,05	27.864,75	35.936,17
	INEF	74,80	10.549,19	16.223,14	10.623,99	16.297,94
	ETSI Caminos	1.978,46	6.229,69	9.580,38	8.208,15	11.558,84
	ETS de Arquitectura	2.221,56	4.512,23	6.939,17	6.733,79	9.160,73
	ETSI AAB	1.346,40	4.214,97	6.482,02	5.561,37	7.828,42
	ETSI Telecomunicación	1.323,96	3.552,21	5.462,79	4.876,17	6.786,75
	ETSI Aeronáutica	1.582,02	3.146,62	4.839,05	4.728,64	6.421,07
	ETSI Navales	1.492,26	2.562,44	3.940,67	4.054,70	5.432,93
	CEIGRAM	3.040,62	434,55	668,27	3.475,17	3.708,89
	Rectorado	546,04	870,63	1.338,90	1.416,67	1.884,94
C. Sur	ETSI Sist. de Telecomunicación y Sist. Informáticos	1.593,24	3.258,84	5.011,63	4.852,08	6.604,87
	CITSEM	684,42	2.493,50	3.834,65	3.177,92	4.519,07
	ETSI Topografía	609,62	1.307,89	2.011,35	1.917,51	2.620,97
	Polideportivo C. Sur	1.039,72	832,82	1.280,76	1.872,54	2.320,48
	INSIA	-	480,58	739,06	480,58	739,06
Madrid	ETSI Industriales	400,18	2.441,50	3.754,69	2.841,68	4.154,87
	ETSI Civil	29,92	285,68	439,34	315,60	469,26
	ETSI Minas	52,36	159,01	244,54	211,37	296,90
	ETSI Diseño Industrial	-	-	-	-	-
C. Montegancedo		13.400,42	44.564,57	68.533,95	57.964,99	81.934,37
C. Parque Tecno-Getafe		-	-	-	-	-
Total UPM		44.274,12	106.903,57	164.402,41	151.177,69	208.676,53

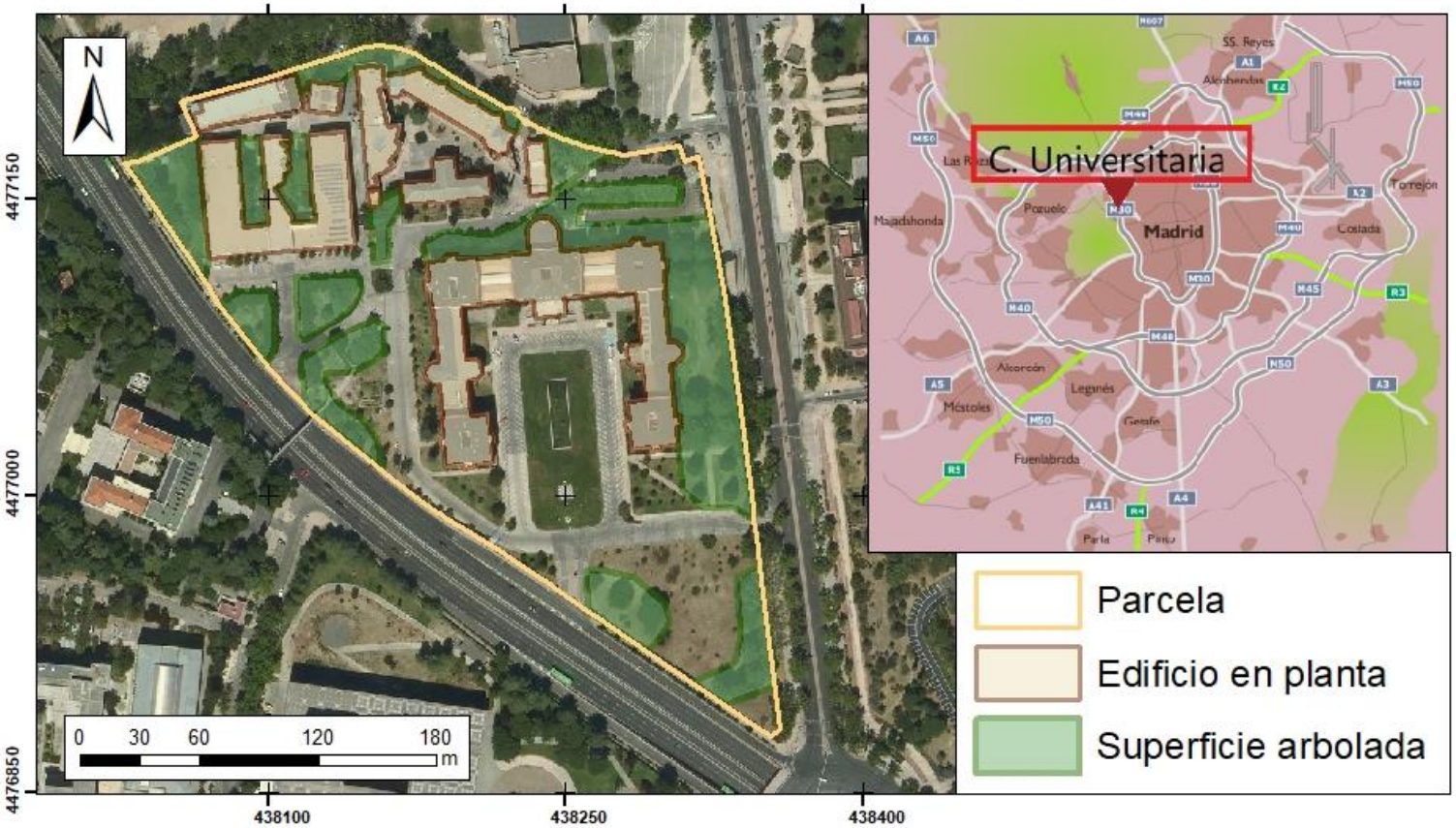
Anexo II: Mapas

CAMPUS CIUDAD UNIVERSITARIA



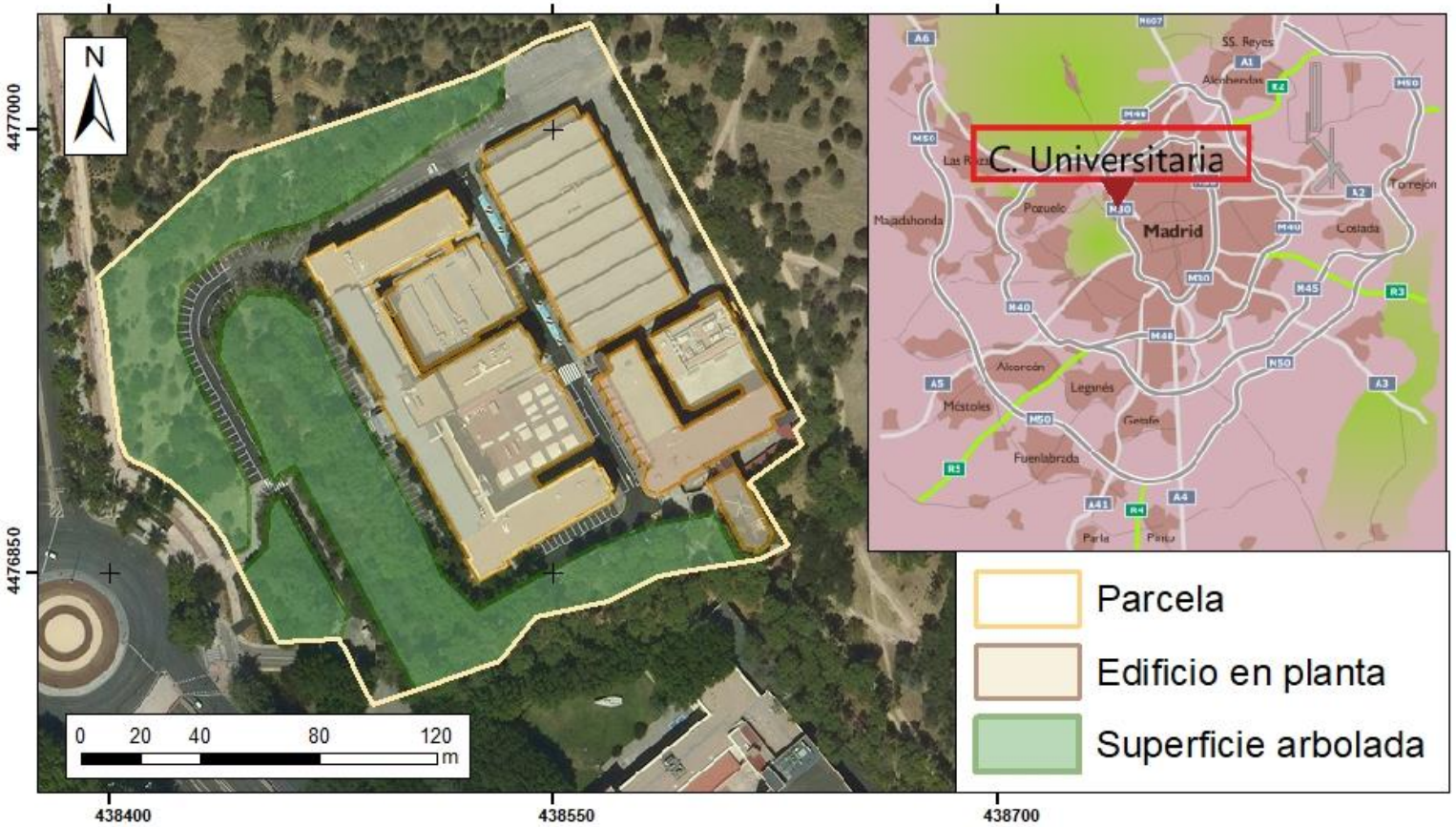
POLITÉCNICA / MONTES Y MEDIO NATURAL	Huella Hídrica en las Organizaciones. Caso de la Universidad Politécnica de Madrid
	Plano de detalle Campus Ciudad Universitaria. Madrid, ES
Autora: María Pérez Núñez	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural
Fecha: 05/09/2019	

E.T.S. de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas (E.T.S.I. A.A.B.)



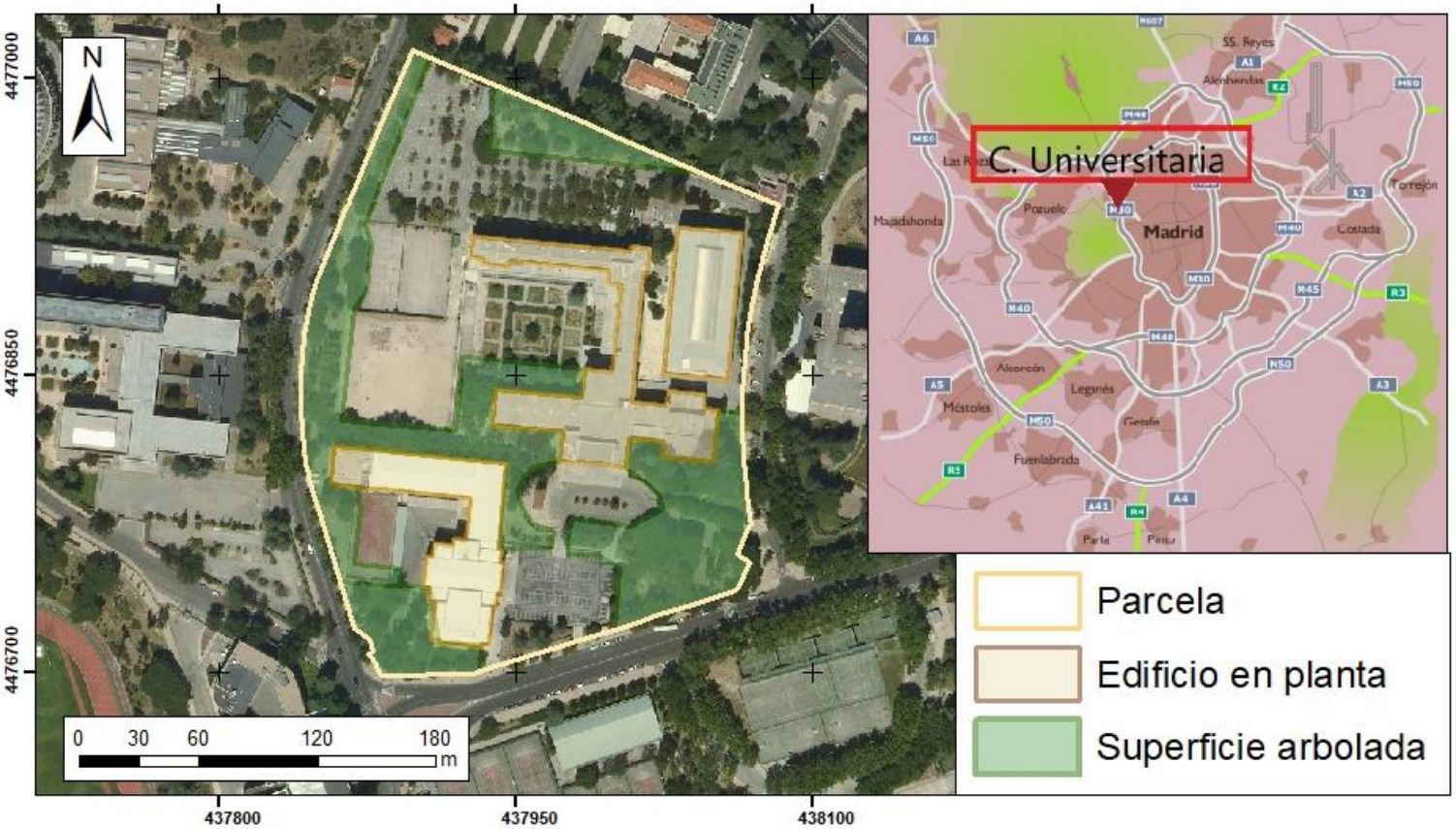
Huella Hídrica en las Organizaciones. Caso de la Universidad Politécnica de Madrid	
Plano de detalle ETSI AAB. Av. Complutense 03, Madrid, ES	
Autora: María Pérez Núñez	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural
Fecha: 05/09/2019	

E.T.S. de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio



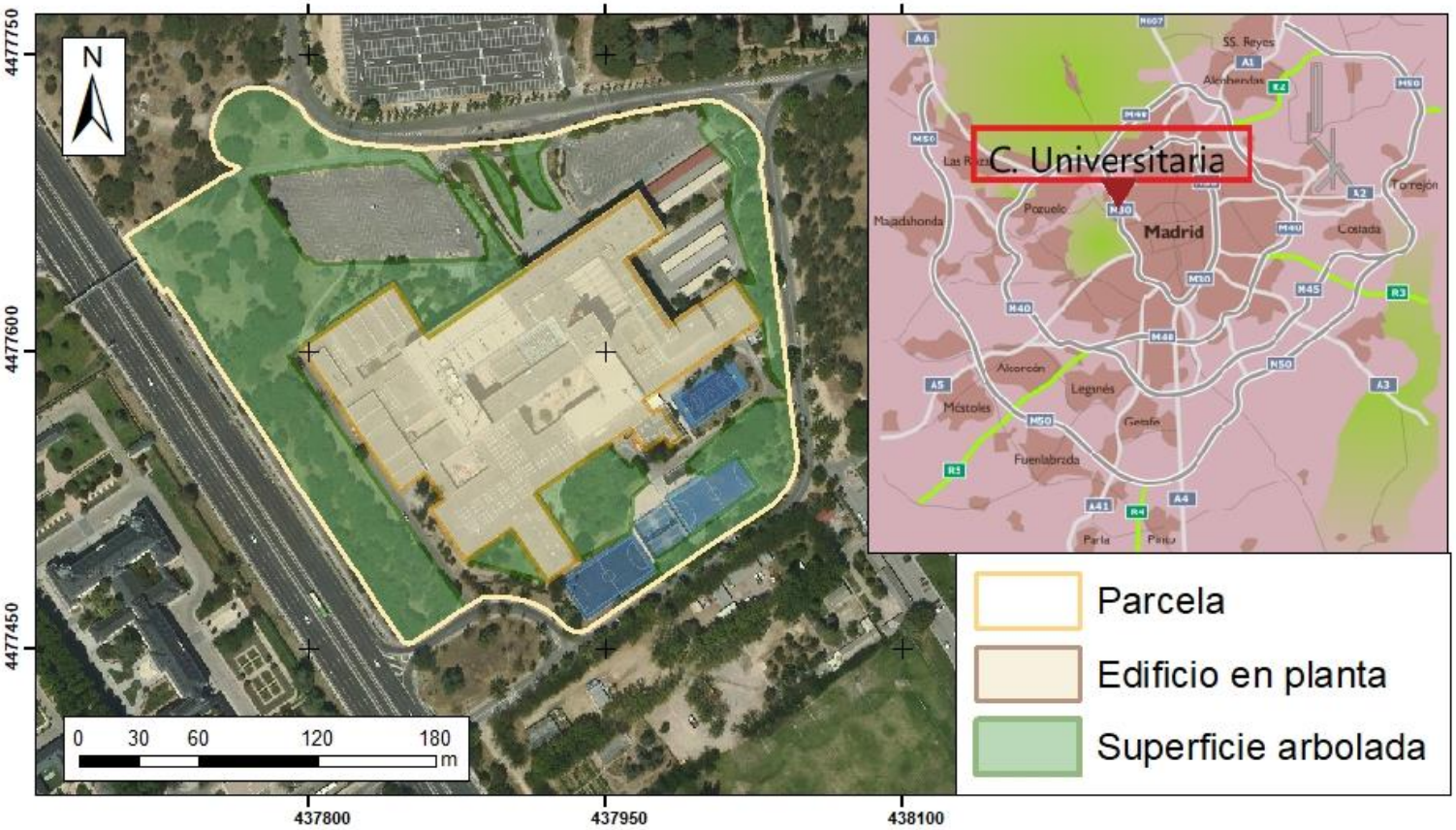
Huella Hídrica en las Organizaciones. Caso de la Universidad Politécnica de Madrid	
Plano de detalle ETSI Aeronáuticos. Pz. Cardenal Cisneros 02, Madrid, ES	
Autora: María Pérez Núñez	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural
Fecha: 05/09/2019	

E.T.S. de Arquitectura



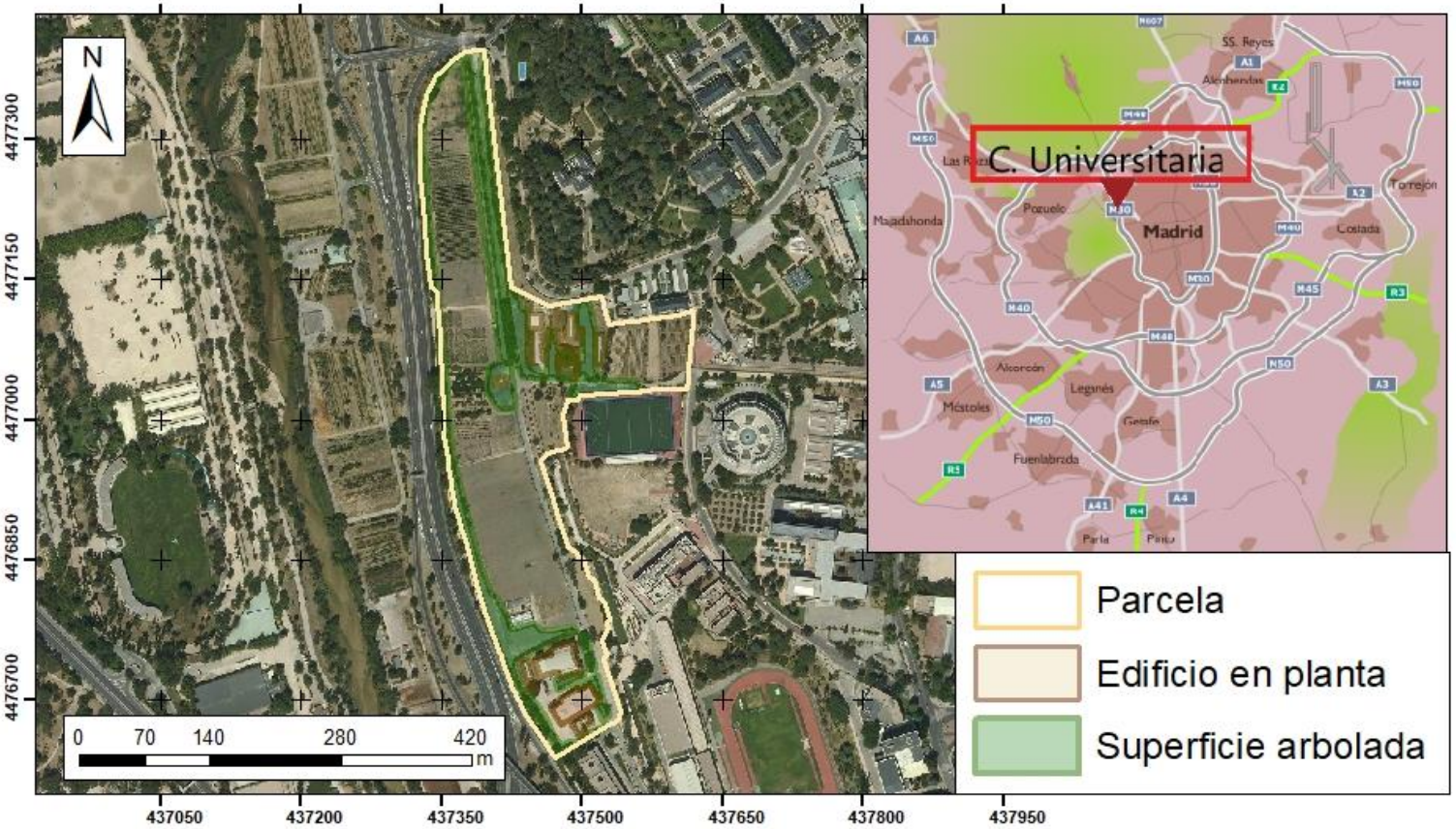
Huella Hídrica en las Organizaciones. Caso de la Universidad Politécnica de Madrid	
Plano de detalle ETSI Arquitectura. C. Paul Guinard, 01, Madrid, ES	
Autora: María Pérez Núñez	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural
Fecha: 05/09/2019	

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos



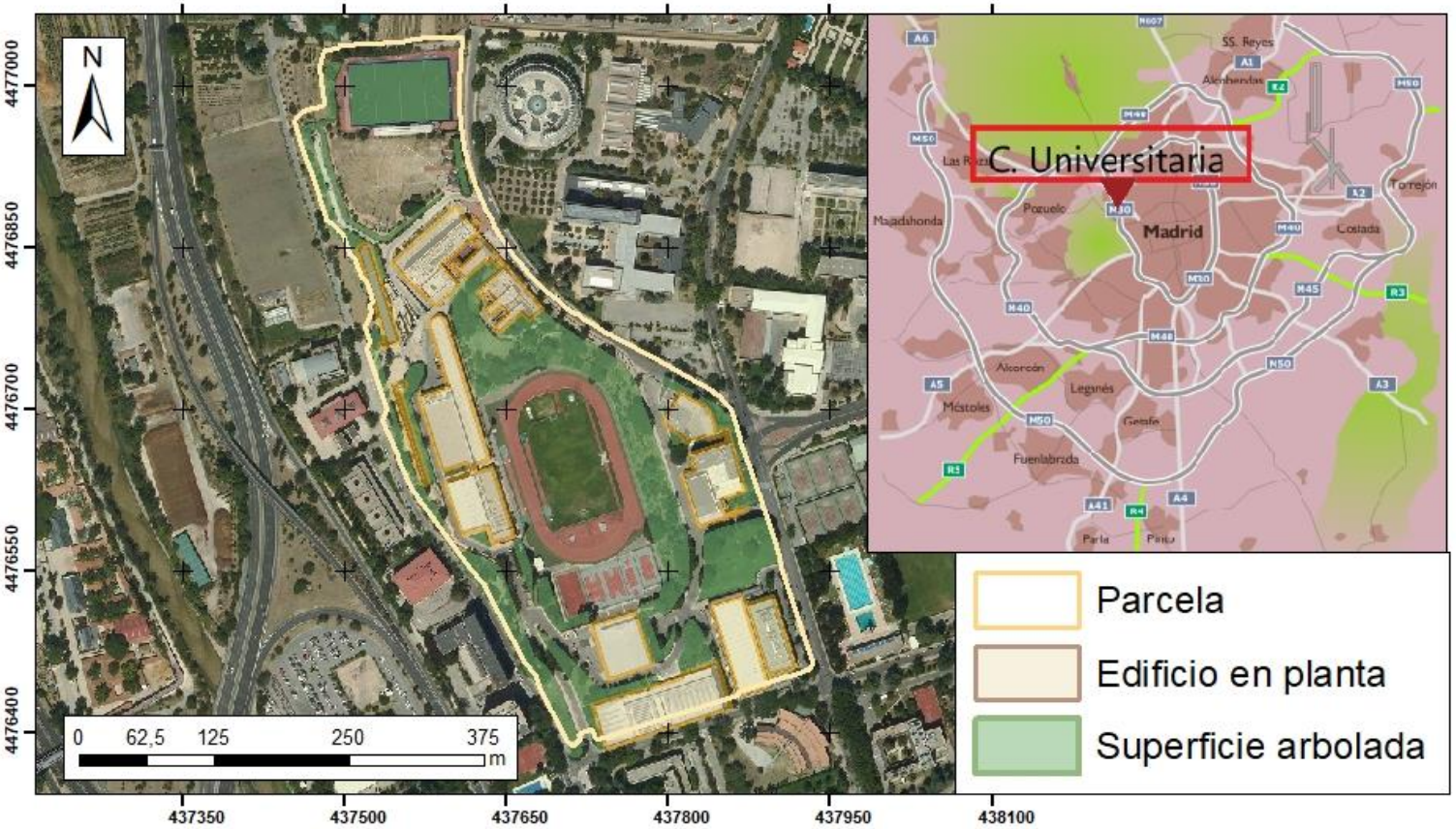
Huella Hídrica en las Organizaciones. Caso de la Universidad Politécnica de Madrid	
Plano de detalle ETSI Caminos. C. Profesor Aranguren, 03, Madrid, ES	
Autora: María Pérez Núñez	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural
Fecha: 05/09/2019	

Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Mediambientales (CEIGRAM)



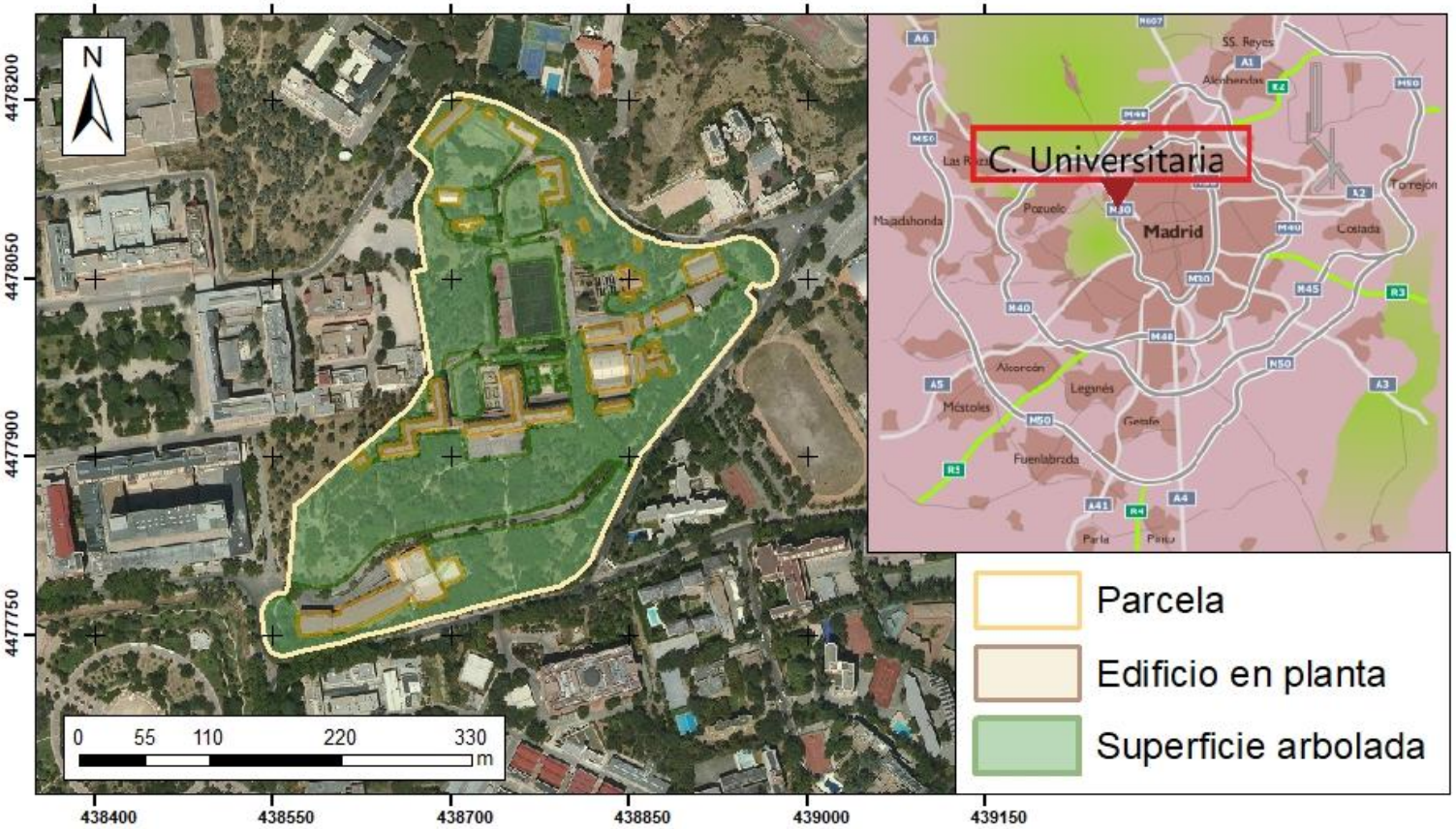
Huella Hídrica en las Organizaciones. Caso de la Universidad Politécnica de Madrid	
Plano de detalle CEIGRAM. Ps Senda del Rey, 133, Madrid, ES	
Autora: María Pérez Núñez	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural
Fecha: 05/09/2019	

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



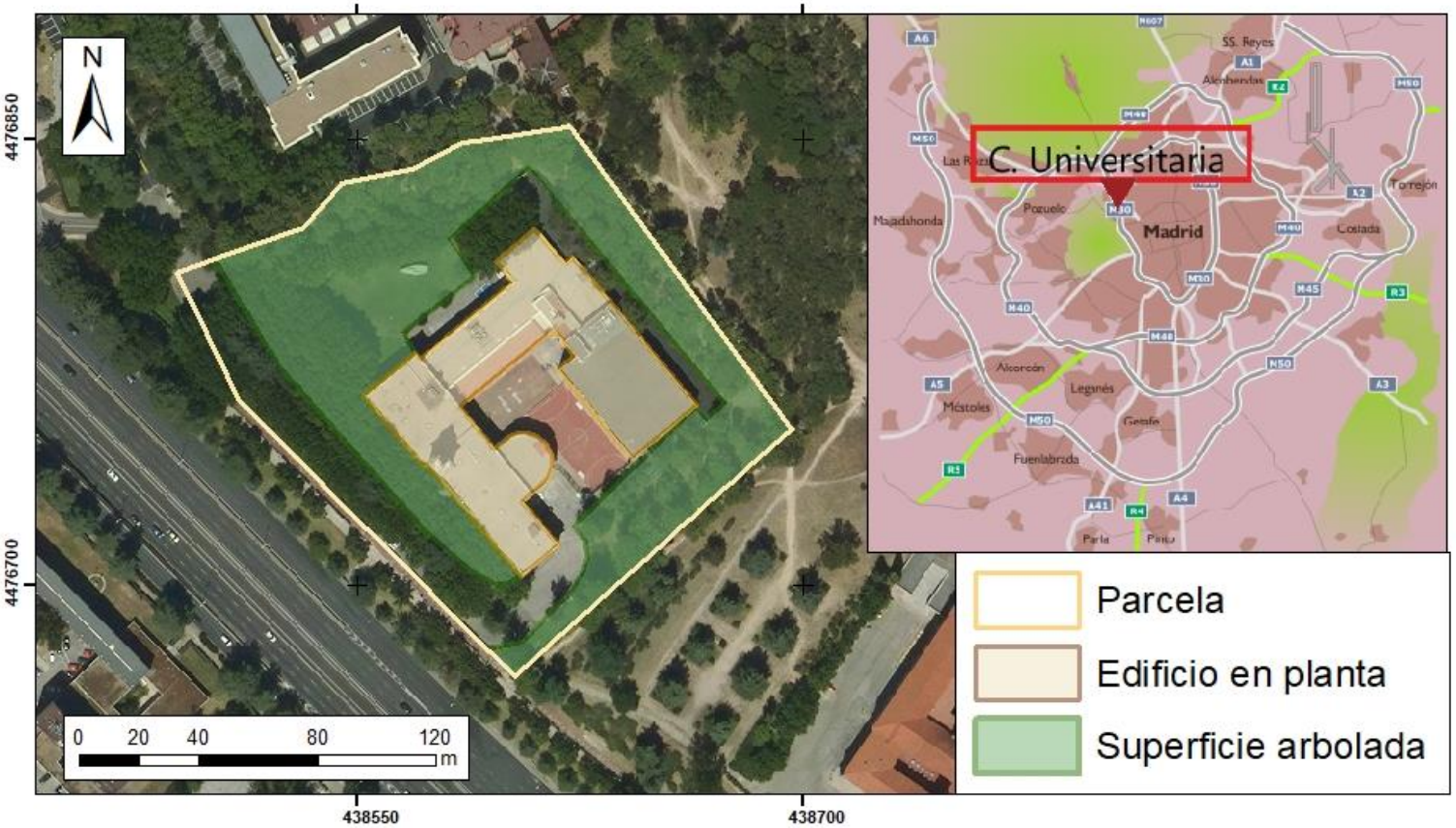
Huella Hídrica en las Organizaciones. Caso de la Universidad Politécnica de Madrid	
Plano de detalle INEF. C. Martin Fierro, 05, Madrid, ES	
Autora: María Pérez Núñez	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural
Fecha: 05/09/2019	

E.T.S. de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural (E.T.S.I. M.F.M.N.)



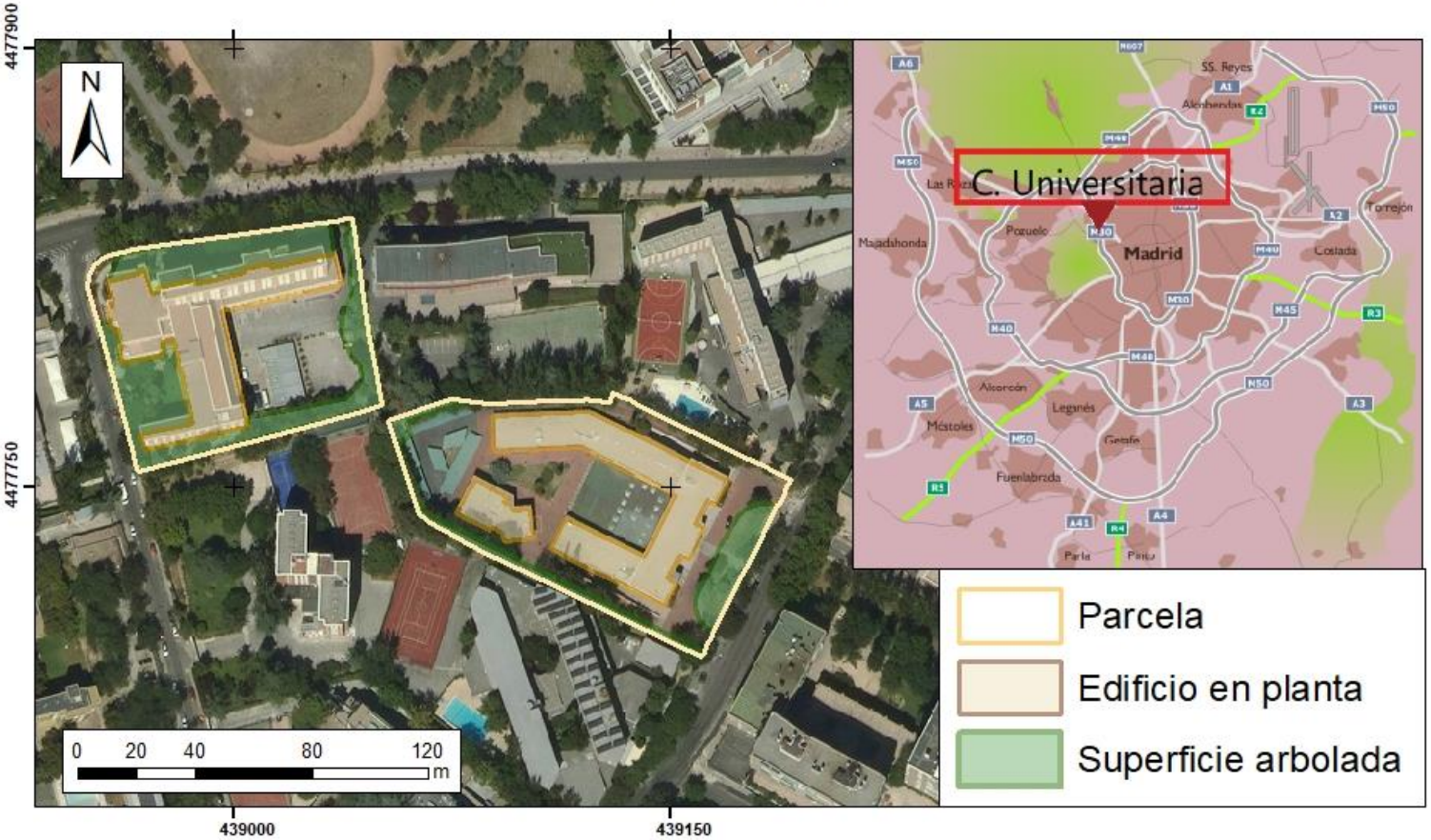
Huella Hídrica en las Organizaciones. Caso de la Universidad Politécnica de Madrid	
Plano de detalle ETSI MFMN. C. Leonardo Castro 01, Madrid, ES	
Autora: María Pérez Núñez	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural
Fecha: 05/09/2019	

E.T.S. de Ingenieros Navales



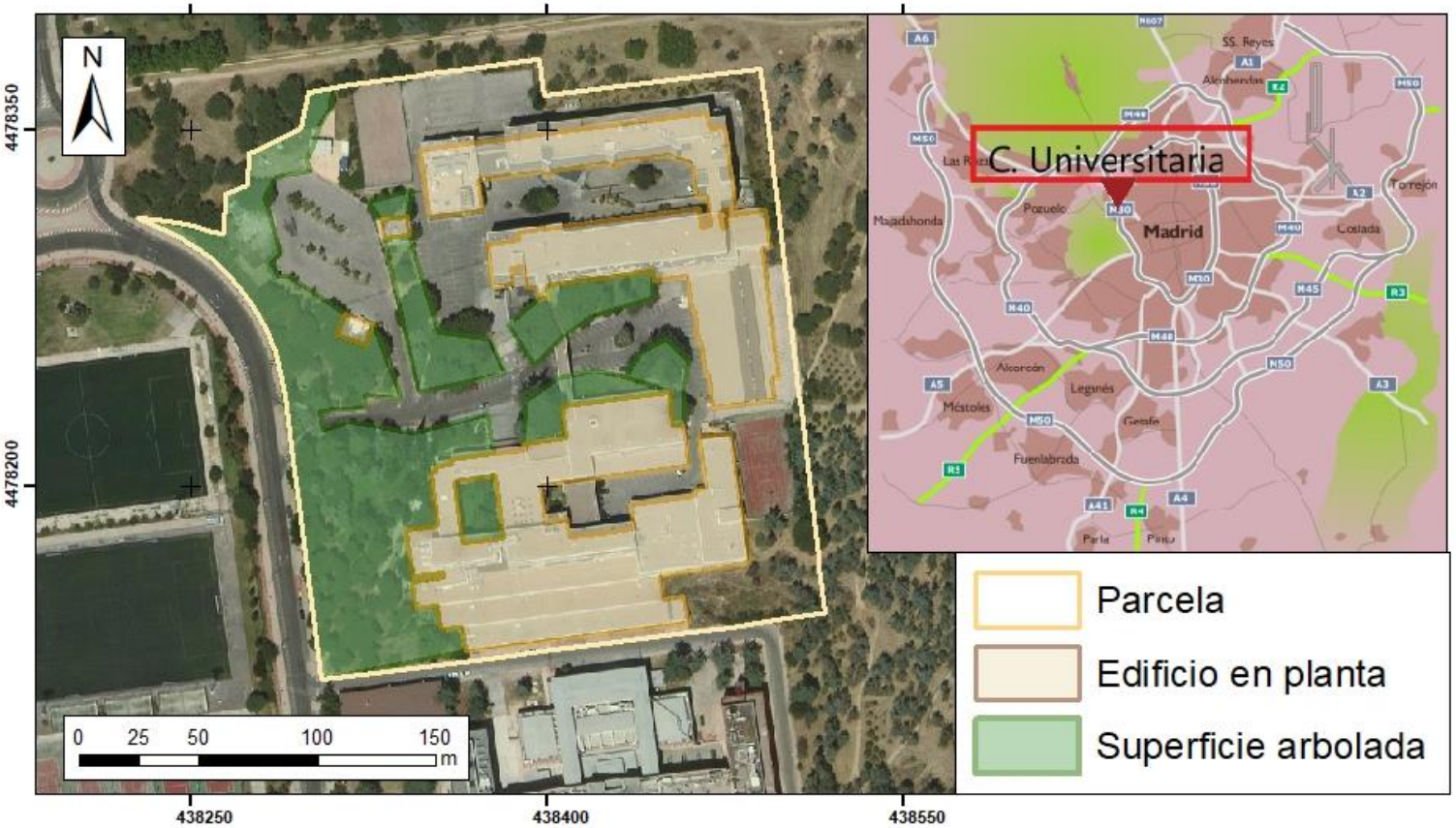
Huella Hídrica en las Organizaciones. Caso de la Universidad Politécnica de Madrid	
Plano de detalle ETSI Navales. Av. Memoria, 04, Madrid, ES	
Autora: María Pérez Núñez	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural
Fecha: 05/09/2019	

Rectorado (Edificios A y B)



Huella Hídrica en las Organizaciones. Caso de la Universidad Politécnica de Madrid	
Plano de detalle Rectorado. C. Ramiro de Maeztu 05 (A) y Ps. Juan XXIII, 01 (B), Madrid, ES	
Autora: María Pérez Núñez	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural
Fecha: 05/09/2019	

E.T.S. de Ingenieros de Telecomunicación

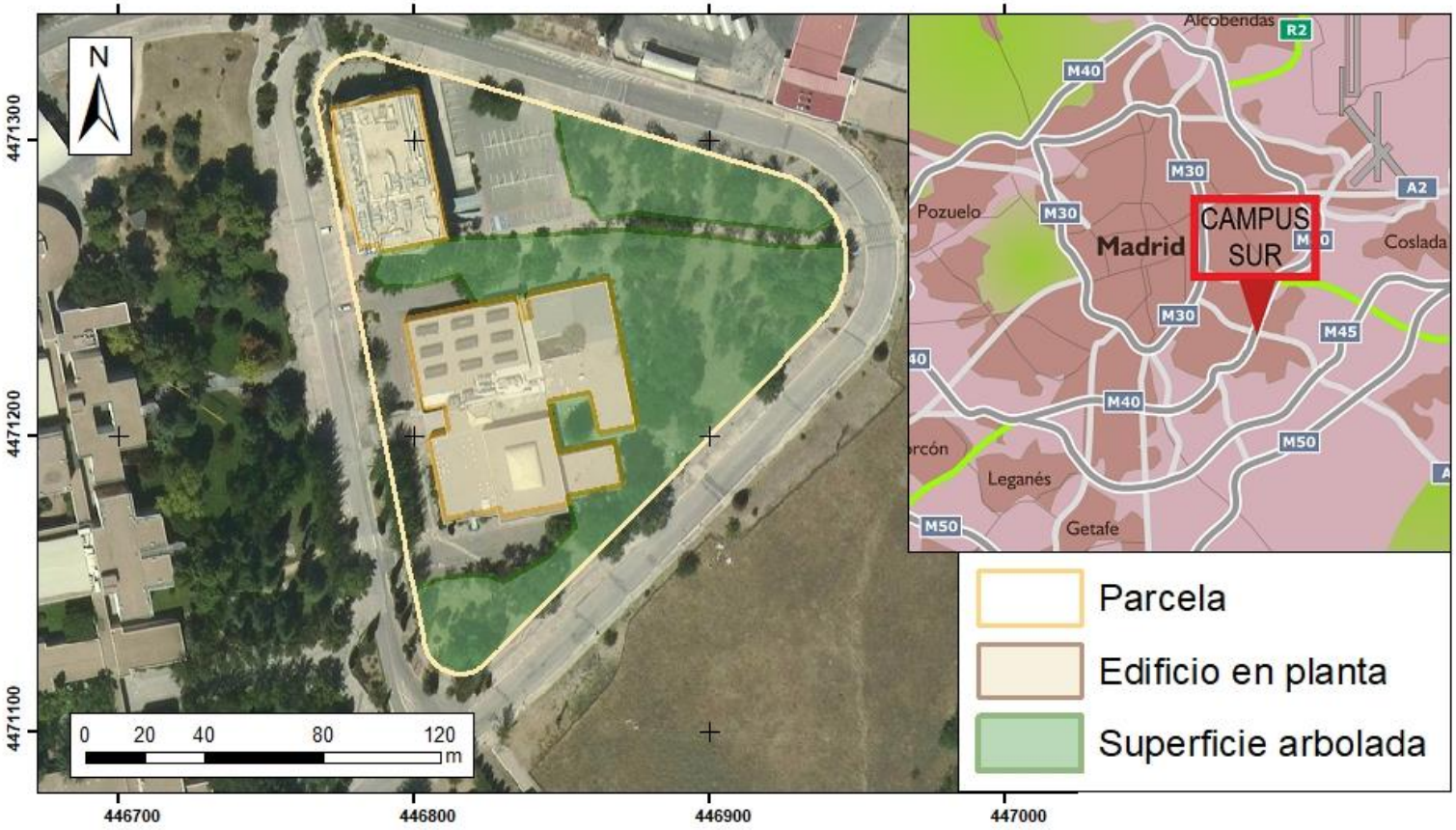


Huella Hídrica en las Organizaciones. Caso de la Universidad Politécnica de Madrid	
Plano de detalle ETSI Telecomunicaciones. Av. Complutense, 30, Madrid, ES	
Autora: María Pérez Núñez	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural
Fecha: 05/09/2019	

CAMPUS SUR UPM

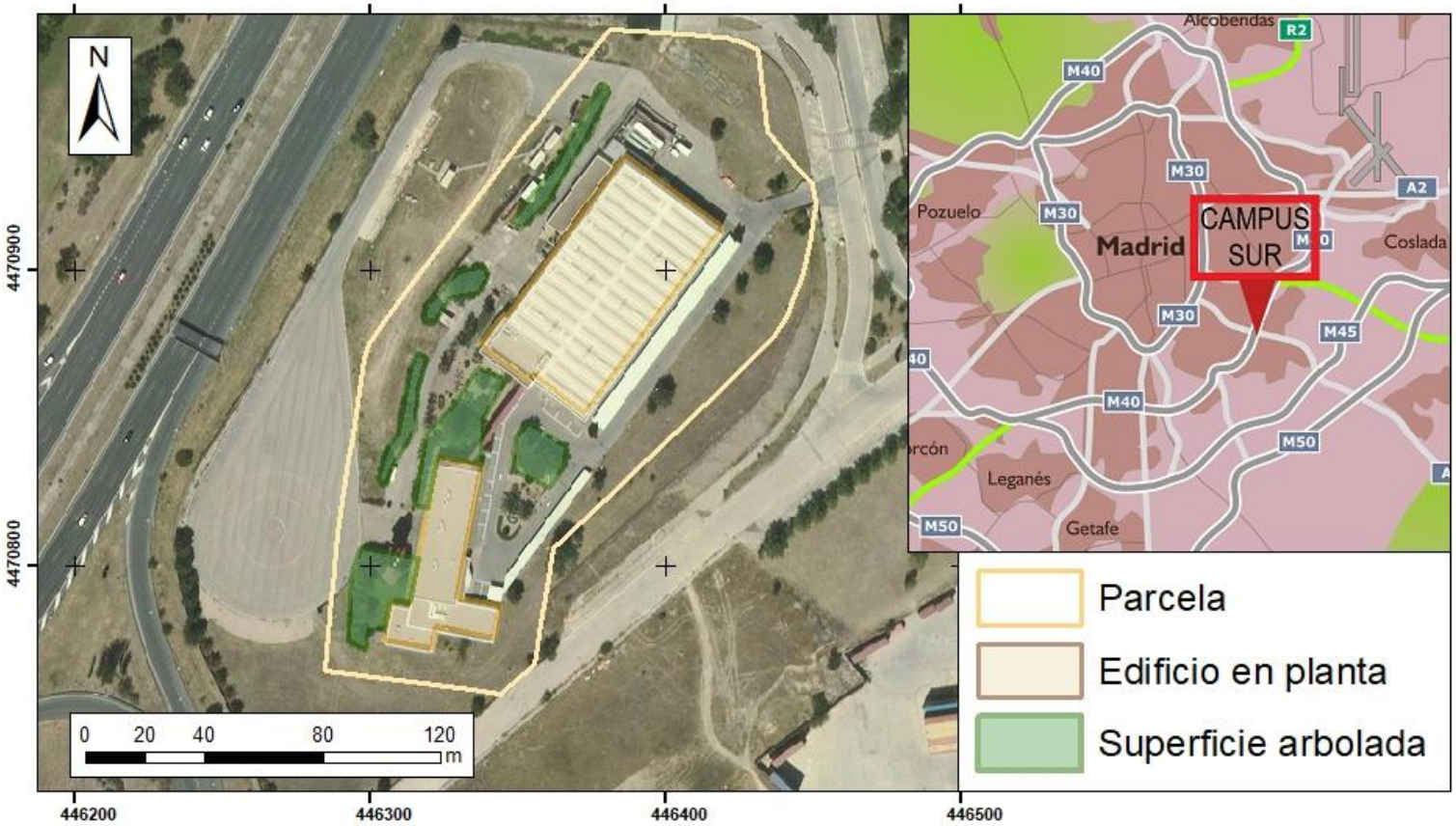
Huella Hídrica en las Organizaciones. Caso de la Universidad Politécnica de Madrid	
Plano de detalle Campus Sur UPM, Carretera de valencia s/n, Madrid, ES	
Autora: María Pérez Núñez	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural
Fecha: 05/09/2019	

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



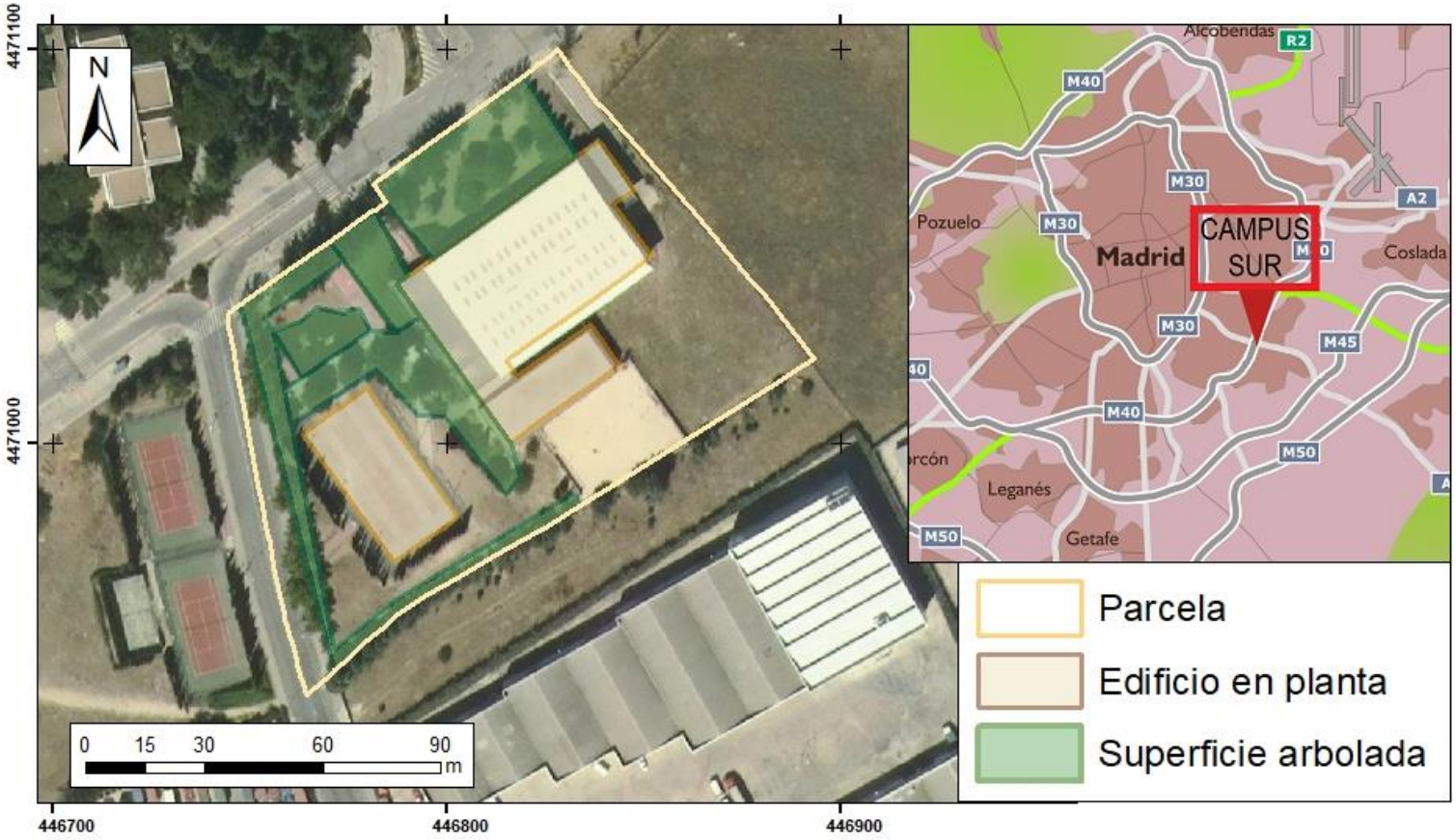
Huella Hídrica en las Organizaciones. Caso de la Universidad Politécnica de Madrid	
Plano de detalle CITSEM, Av. Mediterraneo, 74, Pte. Vallecas, Madrid, ES	
Autora: María Pérez Núñez	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural
Fecha: 05/09/2019	

Instituto de Investigación del Automóvil (INSIA)



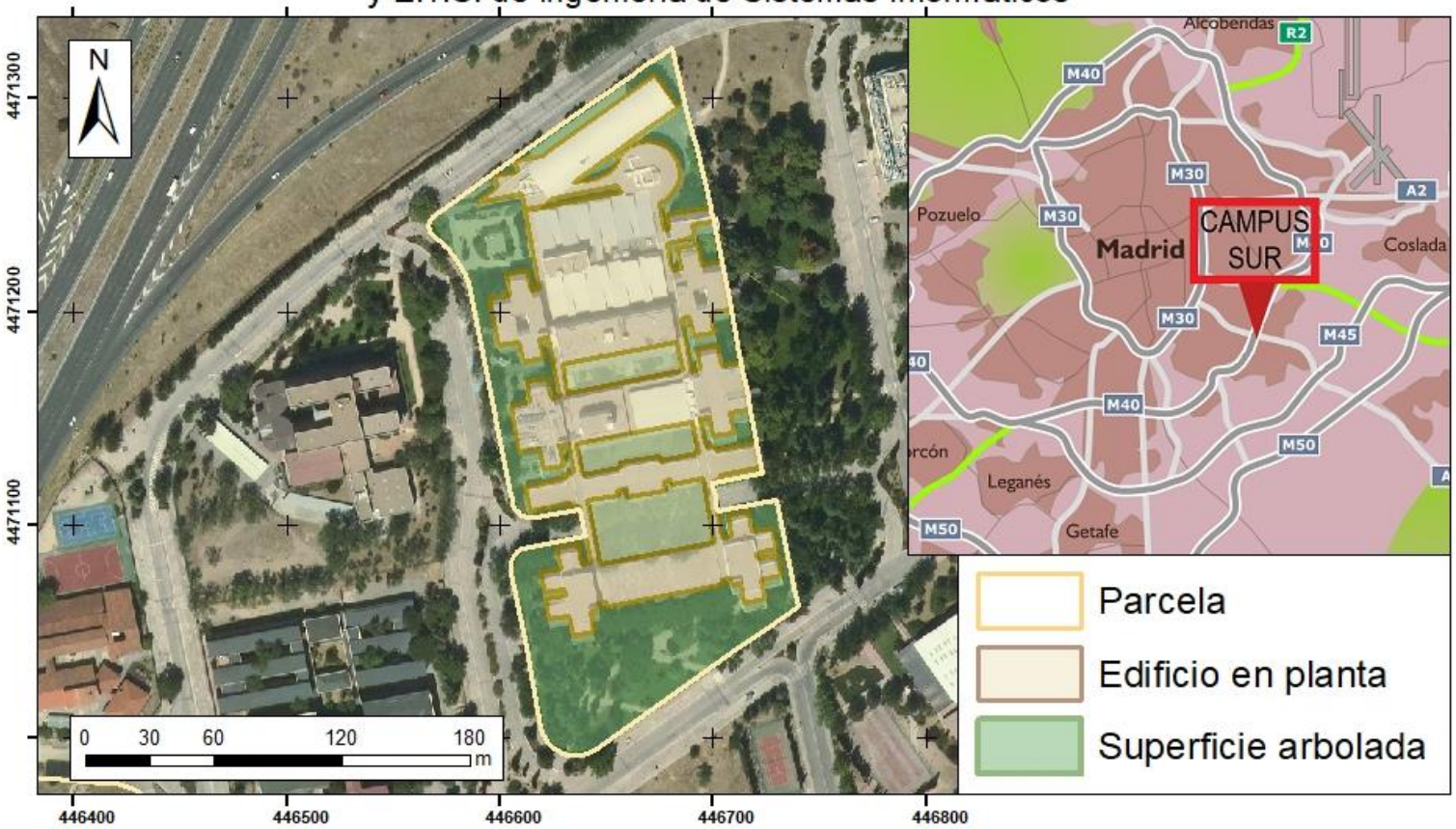
Huella Hídrica en las Organizaciones. Caso de la Universidad Politécnica de Madrid	
Plano de detalle INSIA. Av. Politécnica, 06, Madrid, ES	
Autora: María Pérez Núñez	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural
Fecha: 05/09/2019	

Polideportivo C. Sur



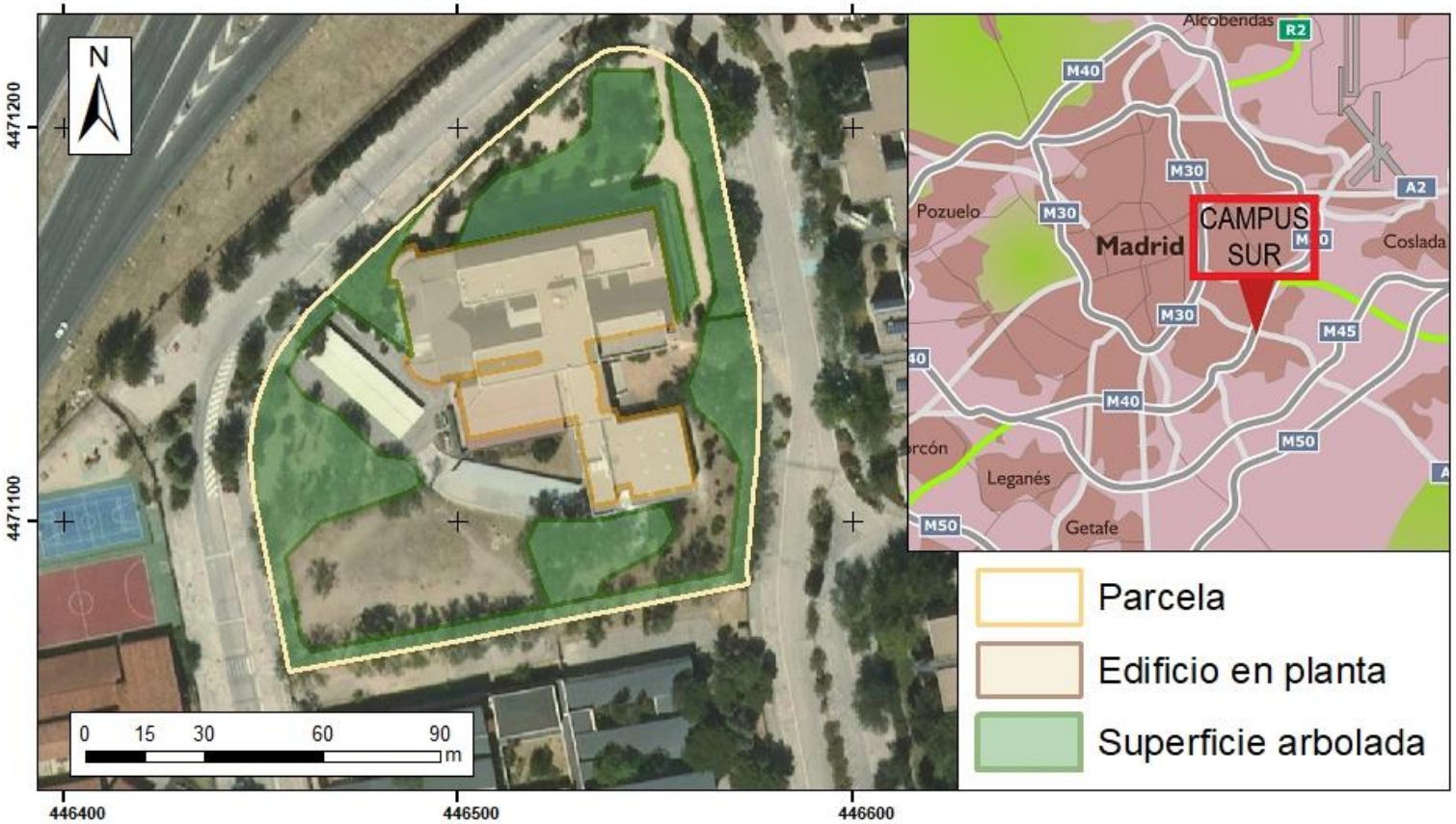
POLITÉCNICA / MONTES Y MEDIO NATURAL	Huella Hídrica en las Organizaciones. Caso de la Universidad Politécnica de Madrid
	Plano de detalle Polideportivo, C. Arboleda, 01, Madrid, ES
Autora: María Pérez Núñez	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural
Fecha: 05/09/2019	

E.T.S. de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación
y E.T.S. de Ingeniería de Sistemas Informáticos



Huella Hídrica en las Organizaciones. Caso de la Universidad Politécnica de Madrid	
Plano de detalle ETSI Telecomunicaciones y S. Informaticos. Av. Politécnica, 01, Madrid, ES	
Autora: María Pérez Núñez	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural
Fecha: 05/09/2019	

E.T.S. de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía

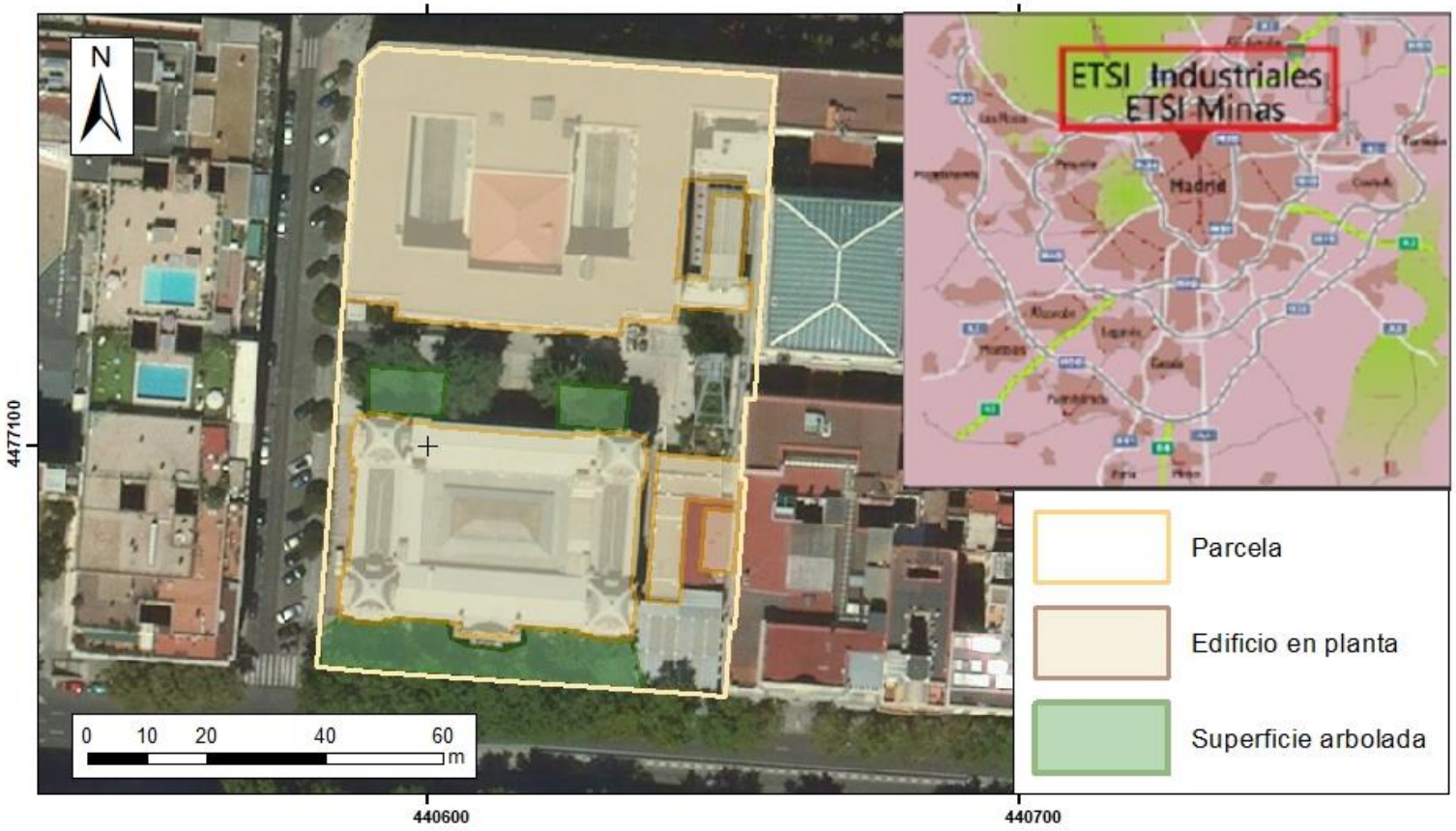


Huella Hídrica en las Organizaciones. Caso de la Universidad Politécnica de Madrid	
Plano de detalle ETSI Topografía, C. Mercator, 02, Madrid, ES	
Autora: María Pérez Núñez	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural
Fecha: 05/09/2019	

CAMPUS MADRID CIUDAD (ETSI MINAS E INDUSTRIALES)

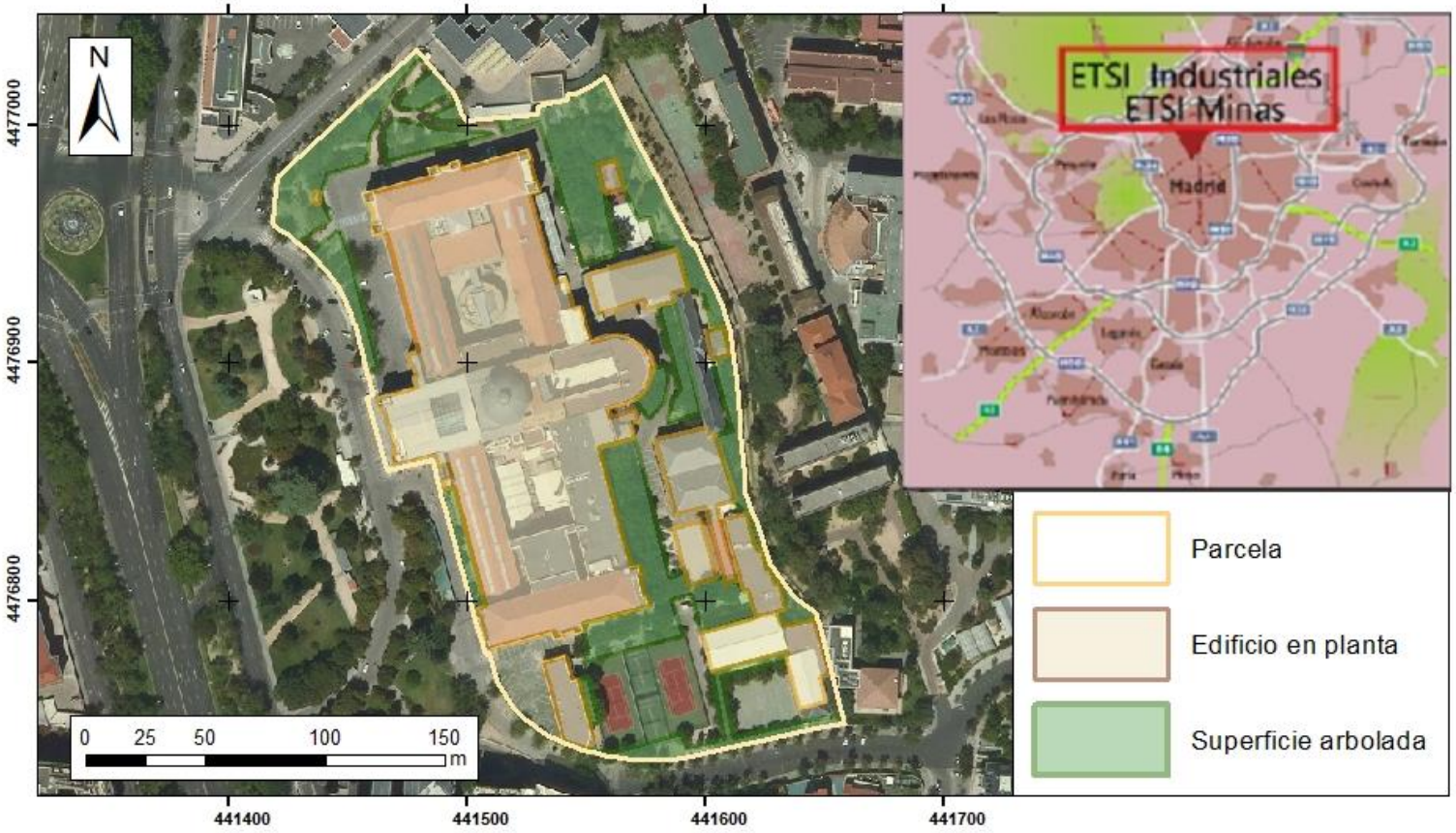
Huella Hídrica en las Organizaciones. Caso de la Universidad Politécnica de Madrid	
Plano de detalle Campus Madrid Ciudad, ETSI Minas e Industriales. Madrid, ES	
Autora: María Pérez Núñez	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural
Fecha: 05/09/2019	

E.T.S. de Ingenieros de Minas y Energía



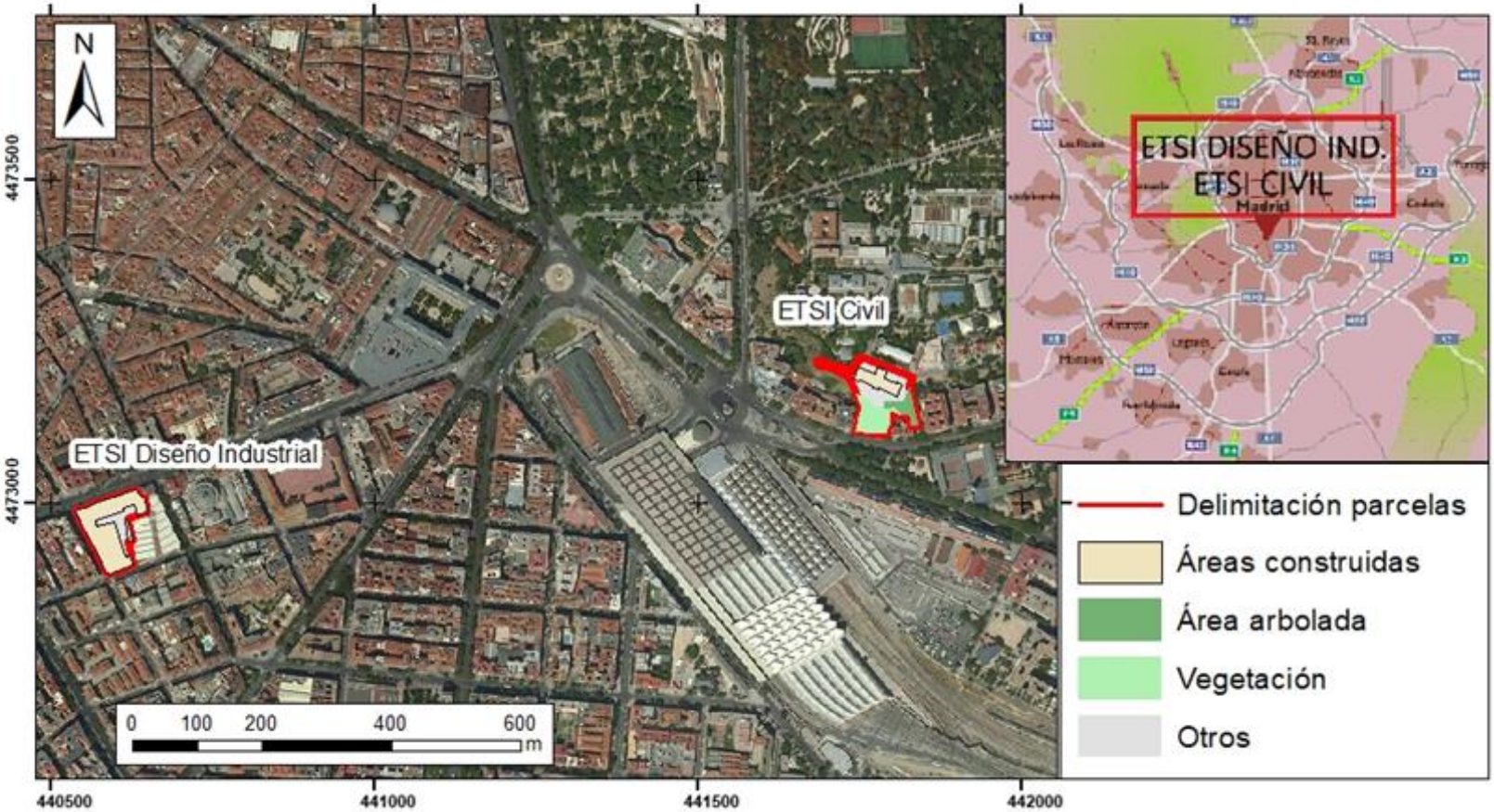
Huella Hídrica en las Organizaciones. Caso de la Universidad Politécnica de Madrid	
Plano de detalle ETSI Minas, C. Rios Rosas, 21, Madrid, ES	
Autora: María Pérez Núñez	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural
Fecha: 05/09/2019	

E.T.S. de Ingenieros Industriales



Huella Hídrica en las Organizaciones. Caso de la Universidad Politécnica de Madrid	
Plano de detalle ETSI Industriales, C. Jose Guterrez Abascal, 02, Madrid, ES	
Autora: María Pérez Núñez	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural
Fecha: 05/09/2019	

CAMPUS MADRID CIUDAD (ETSI CIVIL Y DISEÑO INDUSTRIAL)

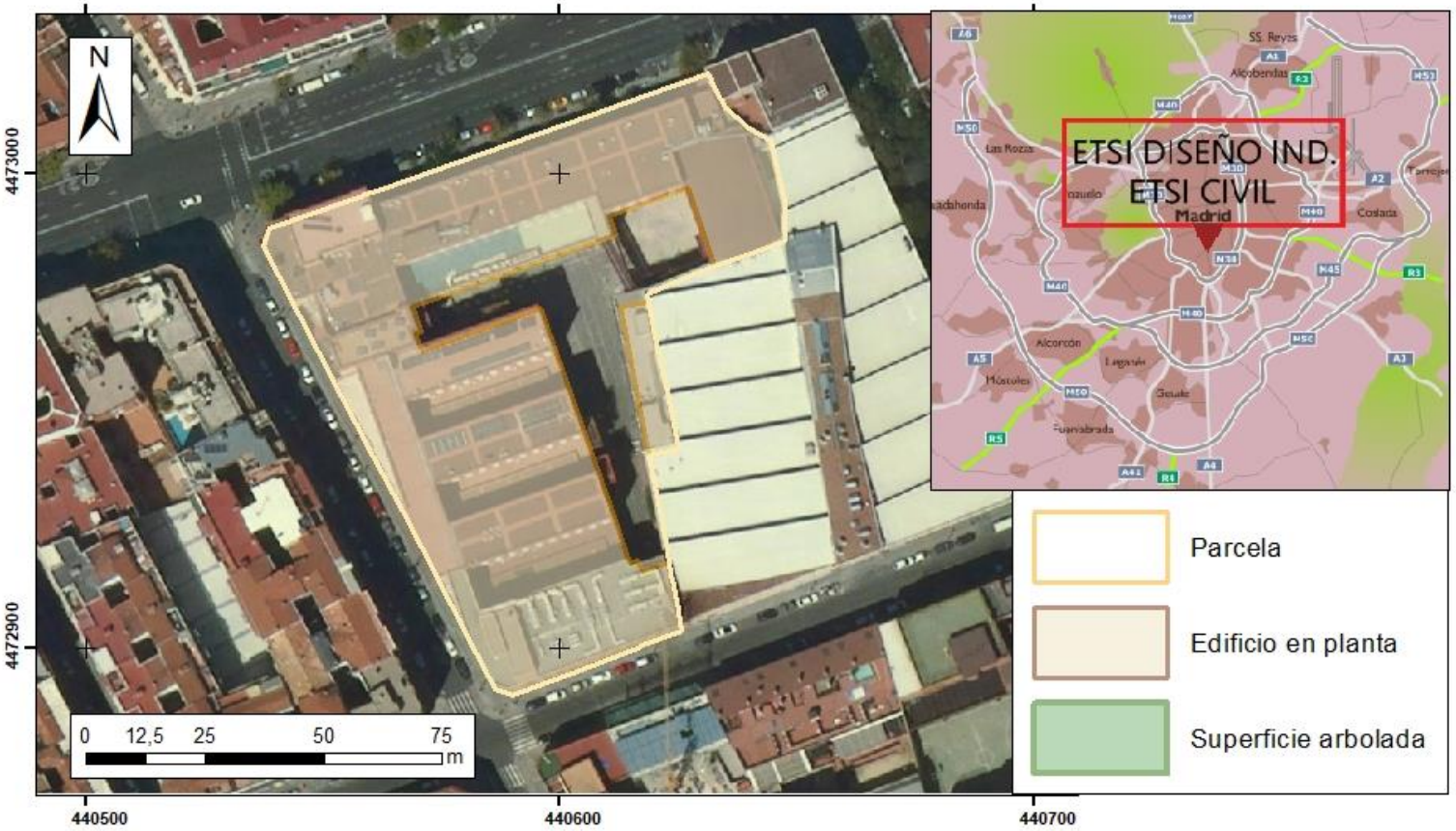


Huella Hídrica en las Organizaciones. Caso de la Universidad Politécnica de Madrid	
Plano de detalle Campus Madrid Ciudad, ETSI Civil y Diseño Industrial. Madrid, ES	
Autora: María Pérez Núñez	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural
Fecha: 05/09/2019	

E.T.S. de Ingeniería Civil

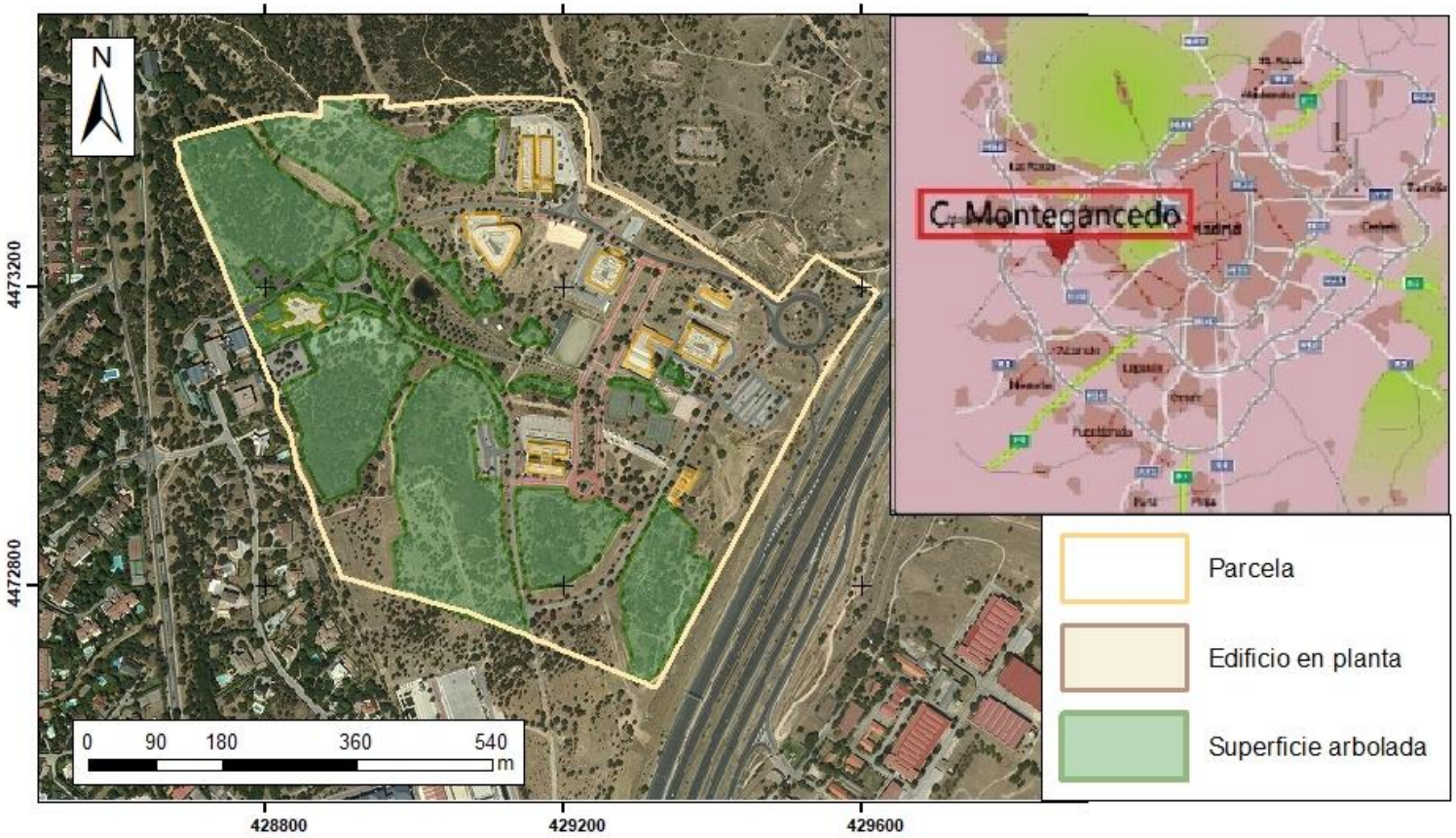
Huella Hídrica en las Organizaciones. Caso de la Universidad Politécnica de Madrid	
Plano de detalle ETSI Civil, Ps. Infanta Isabel 03, Madrid, ES	
Autora: María Pérez Núñez	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural
Fecha: 05/09/2019	

E.T.S. de Ingeniería y Diseño Industrial



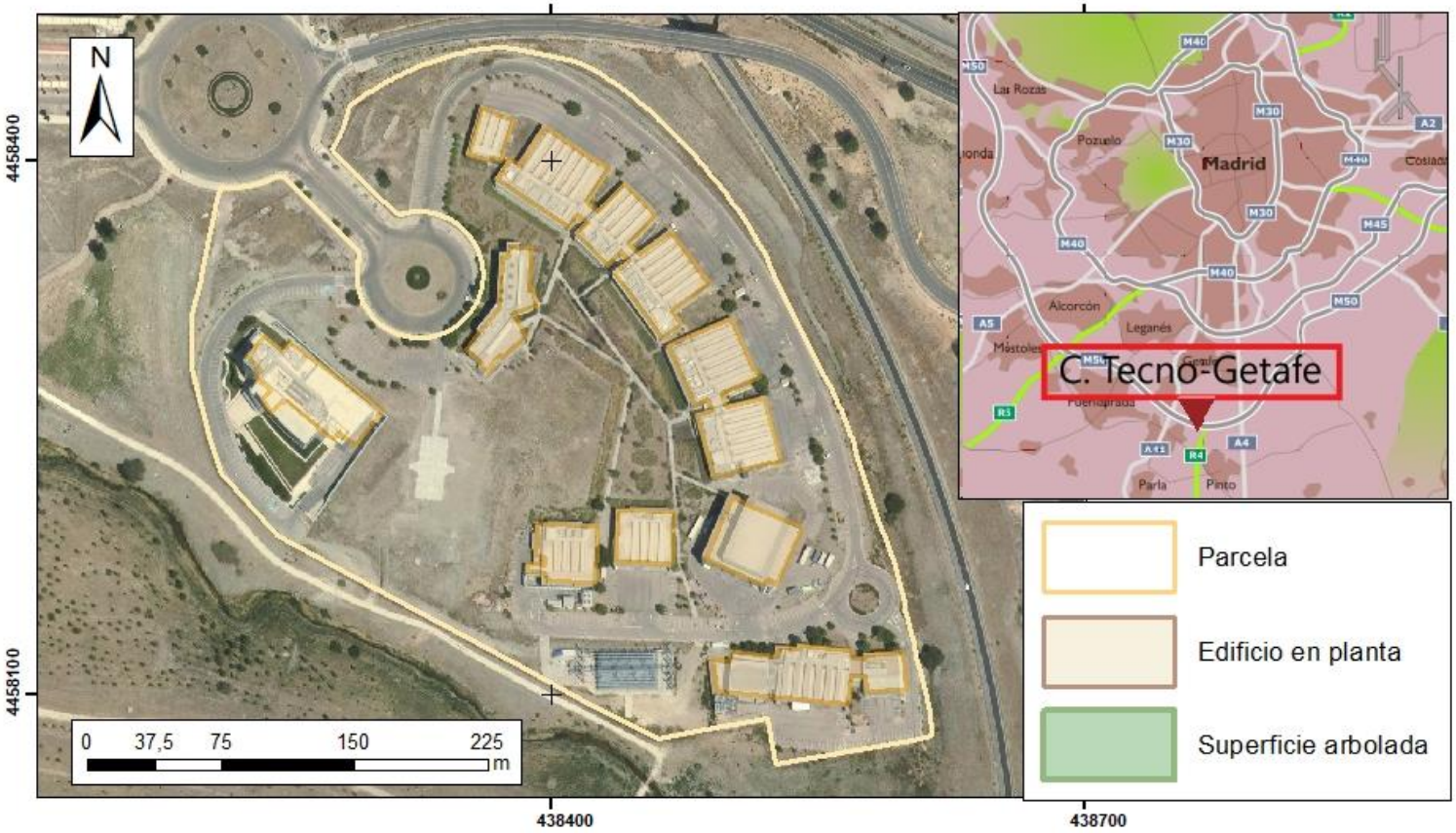
Huella Hídrica en las Organizaciones. Caso de la Universidad Politécnica de Madrid	
Plano de detalle ETSI Diseño industrial, Rd. Valencia, 03, Madrid, ES	
Autora: María Pérez Núñez	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural
Fecha: 05/09/2019	

Campus de Montegancedo



Huella Hídrica en las Organizaciones. Caso de la Universidad Politécnica de Madrid	
Plano de detalle Campus Montegancedo, C. Badajoz, 348, Madrid, ES	
Autora: María Pérez Núñez	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural
Fecha: 05/09/2019	

Campus ParqueTecno-Getafe



Huella Hídrica en las Organizaciones. Caso de la Universidad Politécnica de Madrid	
Plano de detalle Campus Parque Tecno-Getafe, C. Eric Kandel, 01, Madrid, ES	
Autora: María Pérez Núñez	Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural
Fecha: 05/09/2019	

Anexo III: Fichas catastrales

Anexo IV: Informe de cuantificación

Anexo V: Informe ejecutivo